

VIDA À CIDADE ENTERRADA

DUTOS DE LUZ PARA ILUMINAÇÃO E AUXÍLIO NO DESENVOLVIMENTO DE
VEGETAÇÃO EM ESPAÇOS SUBTERRÂNEOS



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA
NÍVEL MESTRADO

YASMIN DE ALMEIDA BYSTRONSKI

VIDA À CIDADE ENTERRADA

DUTOS DE LUZ PARA ILUMINAÇÃO E AUXÍLIO NO DESENVOLVIMENTO DE
VEGETAÇÃO EM ESPAÇOS SUBTERRÂNEOS

PORTO ALEGRE

Julho, 2019

Yasmin de Almeida Bystronski

VIDA À CIDADE ENTERRADA

DUTOS DE LUZ PARA ILUMINAÇÃO E AUXÍLIO NO DESENVOLVIMENTO DE
VEGETAÇÃO EM ESPAÇOS SUBTERRÂNEOS

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura, pelo Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Arq^a. Prof^a. Dr^a. Betina Tschiedel Martau

PORTO ALEGRE

Julho, 2019

CIP - Catalogação na Publicação

Bystronski, Yasmin de Almeida
VIDA À CIDADE ENTERRADA - DUTOS DE LUZ PARA
ILUMINAÇÃO E AUXÍLIO NO DESENVOLVIMENTO DE VEGETAÇÃO
EM ESPAÇOS SUBTERRÂNEOS / Yasmin de Almeida
Bystronski. -- 2019.
289 f.
Orientadora: Betina Tschiedel Martau.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa
de Pós-Graduação em Arquitetura, Porto Alegre, BR-RS,
2019.

1. Luz solar. 2. Duto de luz. 3. Vegetação em
subsolos. 4. Espaços subterrâneos. 5.
Sustentabilidade. I. Martau, Betina Tschiedel, orient.
II. Título.

YASMIN DE ALMEIDA BYSTRONSKI

VIDA À CIDADE ENTERRADA

DUTOS DE LUZ PARA ILUMINAÇÃO E AUXÍLIO NO DESENVOLVIMENTO DE
VEGETAÇÃO EM ESPAÇOS SUBTERRÂNEOS

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura, pelo Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 10 de Julho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Aldomar Pedrini – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof^a. Dr^a Beatriz Maria Fedrizzi

Prof^a. Dr^a Cláudia Piantá Costa Cabral – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradecer traz à tona o sentimento de que não estamos e nem seguiremos sozinhos, e leva meu pensamento e meu coração a lembrar de todos aqueles que tornaram possível a concretização deste trabalho. Esta pesquisa foi impulsionada pela presença de vocês durante esta trajetória, e também pela teimosia em acreditar em nossa capacidade de cuidar melhor e revitalizar a única casa que temos neste universo, chamada Terra.

Aos meus pais e meu irmão, agradeço a dedicação, o esforço, o amor e a paciência para me educar e formar meu caráter. Vocês são meus exemplos. Obrigada pai e mãe pela adoração à arte e às ciências, isso certamente levou-me a buscar o conhecimento apresentado neste trabalho. Ge, obrigada pelo aprendizado, paciência e motivação na conclusão desta etapa. Amo vocês.

À Betina, agradeço as incansáveis orientações, a dedicação em nos encorajar frente aos desafios, à oportunidade de aprofundar meu conhecimento acerca de um tema que tanto me fascina e pelo exemplo de professora, desde a graduação. A paixão que tens pelo teu trabalho certamente me motivou a explorar a área da pesquisa, que hoje é tão necessária para minha satisfação e realização pessoal.

Ao Lucas Konzen, aos alunos da disciplina de Direito Municipal e às bolsistas de Iniciação Científica da Betina (Ana, Rafa e Mari), obrigada por me proporcionarem um dos mais belos sentimentos durante o mestrado: a gratidão ao se compartilhar conhecimento e motivar àqueles que nos escutam.

Amigos e familiares, obrigada pelo apoio, motivação e compreensão diante da minha ausência durante o período de execução desta pesquisa. Amigas da faculdade que reencontrei nesta etapa, amigas que o mestrado me deu, Clarissa Bredow, Helena Bender, Katia Marchetto, Katiele Radünz, Priscila Madeira, Rachel Adolpho, Roberta Michells, Simone Bystronski, Vanessa Francisco e Viviane Von Marèes, vocês foram essenciais no meu dia a dia para a realização desta dissertação de mestrado, cada uma da sua forma e no seu momento.

Dr^a. Beatriz Fedrizzi, Dr^a. Aquélis Emer e Waldo Costa Neto, agradeço toda dedicação e disponibilidade em tonar essa pesquisa multidisciplinar. Esse estudo não seria possível sem a ajuda de vocês. Henrique, agradeço a oportunidade e o acolhimento na cidade de Nova Iorque para viabilizar a visita ao projeto inspirador da Low Line.

Obrigada a todos fornecedores e colaboradores, em especial ao Ricardo, da Metalúrgica Feijó, e à equipe da Vidraçaria Ipanema, pelo esforço em produzir e criar os materiais solicitados para este estudo; à empresa Lucchi – Componentes e Soluções para Iluminação LED, pela doação de insumos; e à Alphacad, pelas infinitas impressões, sempre prontas na hora em que precisei.

Por fim, obrigada a todos envolvidos por terem motivado a força, a coragem e a persistência necessários para realizar esta pesquisa. Que a arquitetura seja mais saudável, mais iluminada, mais verde e mais humana. E que o Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura da UFRGS desenvolva interesse em financiar pesquisas na área de tecnologia da arquitetura, utilização de recursos naturais e sustentabilidade, a fim de incentivar o avanço destes temas, já tão valorizados mundo afora.

RESUMO

As cidades contemporâneas vivenciam a falta de estoques de área na superfície para suprir as suas crescentes demandas. Somado a isso, as previsões de aumento populacional para as próximas décadas apontam para a necessidade de se projetar mais espaços nas cidades. Esse contexto traz à luz o conceito de cidade compacta, que enfatiza o uso eficiente dos espaços e indica a utilização dos subsolos como uma alternativa de grande potencial para abrigar novas atividades, liberando a superfície para áreas de habitação, de lazer ao ar livre e espaços verdes. Porém as diversas experiências negativas dos usuários de ambientes abaixo da superfície trazem à tona a dificuldade de se projetar esses espaços. Diante disso, o uso de luz natural e de vegetação é apontado como estratégia que pode ser bastante eficiente na qualificação da experiência do ser humano em ambientes subterrâneos. As tecnologias capazes de conduzir a iluminação natural a longas distâncias compõem um sistema que capta, conduz e distribui a luz no interior da edificação – chamado também de dutos de luz ou *light-pipes*. Essas tecnologias são o objeto de estudo desta pesquisa, que tratou de realizar experimento na cidade de Porto Alegre a fim de verificar o comportamento e a capacidade de determinado sistema em suprir as necessidades de luz para a sobrevivência de determinadas espécies vegetais em espaços subterrâneos da cidade. Esse experimento foi composto de três fases, para as quais foram construídos modelos de escala reduzida (1/20). Na primeira, foram confeccionados cinco dutos com 0,05 m de diâmetro e 0,30 m de altura, revestidos internamente com diferentes materiais reflexivos a fim de verificar qual deles conduzia mais luz. O material mais eficiente foi utilizado na etapa seguinte, na qual foram testados dutos com 0,05 m de diâmetro e 0,30 m, 0,50 m, 1,00 m, 1,50 m de altura; posteriormente, foi construído o sistema de iluminação natural composto pelo duto de maior altura e o heliostato. Na fase seguinte, esse sistema foi testado em conjunto com a vegetação escolhida para este estudo (*Nephrolepis exaltata* Marisa e *Asparagus densiflorus Sprengeri*). Os dutos de luz apresentaram capacidade para iluminar a execução de tarefas simples em ambientes internos, e o heliostato aumentou significativamente a captação de luz natural em situação de céu claro, parcialmente encoberto e encoberto. As tecnologias utilizadas na terceira fase apresentaram capacidade em auxiliar parcialmente no desenvolvimento de vegetação em áreas subterrâneas, visto que não supriram integralmente o tempo de exposição à luz de que as plantas necessitam para se desenvolver de maneira saudável. O uso de lâmpadas elétricas e o aumento da eficiência dos dutos de luz são estratégias que podem melhorar essa situação e devem ser exploradas. Este trabalho poderá contribuir para a qualificação dos espaços existentes e daqueles que ainda serão construídos em áreas subterrâneas. Os dados levantados ainda podem ser utilizados como referência para estudos futuros sobre aspectos que eram desconhecidos: o comportamento e a aplicação desses sistemas no contexto da cidade de Porto Alegre. As informações deste trabalho representam alicerce para a implementação de dutos de luz na cidade, já que seu contexto de céu oferece condições favoráveis para seu emprego.

Palavras-chave: Luz solar. Duto de luz. Vegetação em subsolos. Espaços subterrâneos. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Contemporary cities face a lack of surface area to meet growing demand. In addition, population growth forecast to the next decades point to the need of designing extra spaces in cities. This context brings light to the concept of compact city, that emphasizes the efficient use of spaces and indicates the usage of underground as an alternative of great potential to shelter new activities, freeing the surface for housing, outdoor recreation and green areas. However, the various users' negative experiences underground show us the difficulty of designing such spaces. Therefore, the use of natural light and vegetation is indicated as a strategy that can be very efficient in qualifying the human experience in underground environments. Technologies capable of conducting natural light over long distances - also called light ducts or light pipes - make up systems that capture, conduct and distribute light within buildings. These technologies are the object of this research. Through an experiment in the city of Porto Alegre, the behavior and ability of a given system to meet the light needs for the survival of certain plant species in underground spaces of the city was verified. The experiment was composed of three steps, for which scale models (1/20) were constructed. In the first one, five ducts with 0,05 m diameter and 0,30 m height were built, internally coated with different reflective materials in order to verify which one led more light. The most efficient material was used in stage two, in which ducts with 0,05 m diameter and 0,30 m, 0,50 m, 1,00 m, 1,50 m height were tested; later, the natural lighting system composed of the duct of higher height and the heliostat was built. In step three, the system was tested with the vegetation chosen for this study (*Nephrolepis exaltata* Marisa and *Asparagus densiflorus Sprengeri*). The light pipes were able to illuminate enough to the execution of simple indoor tasks, and the heliostat significantly increased the capture of natural light in clear, partly overcast and overcast conditions. The technologies used in the third phase were able to partially assist the development of vegetation, since they did not fully supply the light exposure time needed by the plants to develop in a healthy way. The use of light bulbs and efficiency enhancement of light ducts are strategies that can improve this situation and should be explored. This work contributes to knowledge on the qualification of existing spaces and those that will still be built in underground areas. The collected data, and the challenges faced, can still be used as reference for future studies on aspects that were unknown: the behavior and the application of these systems in the context of the city of Porto Alegre. The information in this work are a foundation for the implementation of light pipes in the city, since its sky context offers favorable conditions for its use.

Key-words: Sunlight. Light pipe. Undergrounds plants. Underground spaces. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO DE CIDADES COMPACTAS QUE RESTRINGEM SUA AMPLIAÇÃO HORIZONTAL.	24
FIGURA 2 - ILUSTRAÇÃO COM PLANO PARA A RENOVAÇÃO DE PARIS UTILIZANDO ÁREA SUBTERRÂNEA SOB O RIO SENA, NOMEADA “PARIS-SOUS-SEINE” (COLEÇÃO PARTICULAR/ PAUL MAYMONT).	25
FIGURA 3 - IMAGENS DAS INSTALAÇÕES DA MARCA VANS SKATE NO SUBSOLO DE LONDRES.	25
FIGURA 4 - IMAGEM DO PROJETO DO CENTRO DE PESQUISA QUE SERÁ CRIADO NO SUBTERRÂNEO DE CINGAPURA.	26
FIGURA 5- PASSAGEM DE PEDESTRES SUBTERRÂNEA DO WORLD TRADE CENTER E ÁREAS DE PATINAÇÃO EXISTENTE NO CENTRO COMERCIAL ATRIUM LE 1000 NA CIDADE DE MONTREAL, CANADÁ.	27
FIGURA 6 – EXEMPLO DE ÁREAS DE CONEXÃO ENTRE SUBSOLO E SUPERFÍCIE NO EDIFÍCIO WORLD TRADE CENTER EM MONTREAL.	28
FIGURA 7 – SALÃO DOS ARCOS NO PORÃO DO TEATRO MUNICIPAL DE SÃO PAULO (À ESQUERDA) E ESTÉTICA LOCALIZADA EM SUBSOLO DE SHOPPING NA BARRA DA TIJUCA, NO RIO DE JANEIRO, COM VEGETAÇÃO INTERNA.	29
FIGURA 8- EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DE SUBSOLOS PARA CULTIVO DE HORTAS NO EDIFÍCIO PÁTIO MALZONI EM SÃO PAULO, BRASIL.	29
FIGURA 9- EXEMPLO DE LUGARES SUBTERRÂNEOS INSEGUROS: PASSAGEM DE PEDESTRES EM BRASÍLIA.	30
FIGURA 10- RETRATO DAS CONDIÇÕES INSALUBRES DE LONDRES NA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.	32
FIGURA 11- IMAGEM DE PROPAGANDA DA GENERAL ELETRIC (EMPRESA FABRICANTE DE LÂMPADAS) NA ÉPOCA, ENFATIZANDO O TRIUNFO DAS LUZES NOTURNAS DE NOVA IORQUE E O EDIFÍCIO SEAGRAM COMO EXEMPLO REAL DESTES SHOW DE LUZES.	34
FIGURA 12- FUNCIONAMENTO DO RELÓGIO BIOLÓGICO HUMANO.	36
FIGURA 13- EXEMPLO DE ÁREA URBANA COM ESPAÇOS DE VEGETAÇÃO, CENTRAL PARK EM NOVA IORQUE, EUA.	39
FIGURA 14- TRECHO DA CIDADE DE NOVA IORQUE, EUA, ENCURRALADO PELAS HABITAÇÕES E OS USUÁRIOS.	40
FIGURA 15 – EXEMPLO DE FLORESTA SOMBRIA E MAIS FECHADA, LOCALIZADA NA REGIÃO DA FLORESTA NEGRA, NA ALEMANHA.	43
FIGURA 16- EXEMPLO DE PAISAGEM NATURAL A CÉU ABERTO, PRAIA DA FERRUGEM, SANTA CATARINA, BRASIL.	43
FIGURA 17- EXEMPLOS DE AGRICULTURA URBANA EM TERRAÇOS NOS EUA (À ESQUERDA) E NO BRASIL (À DIREITA).	46
FIGURA 18- EXEMPLO DE EXECUÇÃO DE ÁREAS VERDES E DE LAZER EM ÁREAS URBANAS SUBUTILIZADAS.	46
FIGURA 19- EXEMPLO DE HOSPITAL COM JARDIM INTERNO EM FORTALEZA, BRASIL.	48
FIGURA 20- EXEMPLO DE CONTATO COM A NATUREZA DESDE A CONCEPÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO E NO TRATAMENTO DOS PACIENTES EM HOSPITAL EM SÃO LUÍS, BRASIL.	49
FIGURA 21- IMAGEM ILUSTRATIVA DO PROJETO DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE ATRAVÉS DA FOTOSSÍNTESE VEGETAL.	49
FIGURA 22- QUADRO DA QUANTIDADE DE ÁREA NECESSÁRIA DE VEGETAÇÃO PARA GERAR ENERGIA PARA DETERMINADOS APARELHOS ELETRÔNICOS.	50
FIGURA 23 – EXEMPLOS DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE LUZ: DE TOPO E LATERAIS.	52
FIGURA 24 – EXEMPLO DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO CONDUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE LUZ NATURAL.	52
FIGURA 25 – MAPA DO TRAJETO DO METRÔ ESTUDADO PARA PORTO ALEGRE.	54

FIGURA 26 – EXEMPLO DE ÁREAS COMERCIAIS SEM CONTATO COM EXTERIOR E COM PERMANÊNCIA DE FUNCIONÁRIOS, LOCALIZADAS NO SUBSOLO DO MOINHOS SHOPPING, PORTO ALEGRE.	55
FIGURA 27 – EXEMPLO DE ÁREA SUBTERRÂNEA ONDE APENAS OS TRABALHADORES PRÓXIMOS À PORTA DE ACESSO POSSUEM CONTATO (PARCIAL) COM O MEIO EXTERNO.	55
FIGURA 28 – EXEMPLOS DE SCCDLN UTILIZADOS EM PROJETOS DA EMPRESA HELIOBUS.	56
FIGURA 29 – EXEMPLO DE SISTEMA MAIS COMPLEXO COM CONDUÇÃO DA LUZ POR EM CURVAS. A – COLETOR. B – CONCENTRADOR/ COLETOR. C – SISTEMAS PARA REFLEXÃO EM CURVA DA LUZ. D – LENTES DE RETRANSMISSÃO DA LUZ. E – TUBO DE CONDUÇÃO DA LUZ. F – SISTEMA DIVISOR DOS RAIOS DE LUZ. G – LUMINÁRIA SOLAR/ DIFUSOR.	57
FIGURA 30 – EXEMPLOS DE DOMUS EM POLICARBONATO E DOMUS PRISMÁTICO.	59
FIGURA 31 – EXEMPLO DE ESPELHO ESTÁTICO E ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO.	59
FIGURA 32 – EXEMPLO DE ESPELHOS MÓVEIS.	60
FIGURA 33 – EXEMPLO DE CONJUNTO COM HELIOSTATO (A), ESPELHO FIXO CENTRALIZADO (B) E ELEMENTO DE CONDUÇÃO (C).	60
FIGURA 34 – EXEMPLOS DE CAPTADOR COMPOSTO POR LENTES CAPAZES DE FILTRAR OS RAIOS ULTRAVIOLETAS E CAPTADOR COMPOSTO POR 64 LENTES DE FRESNEL, QUE REDIRECIONAM A LUZ PARA CABOS DE FIBRA ÓPTICA QUE CONDUZEM A LUZ NATURAL PARA O INTERIOR DA EDIFICAÇÃO.	61
FIGURA 35 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE PAINÉIS CORTADOS A LASER.	61
FIGURA 36 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE PAINÉIS CORTADOS A LASER EM FACHADAS, E CORTE ESQUEMÁTICO DO COMPORTAMENTO DO RAIOS SOLAR AO PASSAR PELO MATERIAL.	62
FIGURA 37 – ESQUEMA DE CONDUÇÃO VERTICAL DA LUZ SOLAR E SUA DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL PARA OS AMBIENTES DE CADA PAVIMENTO.	63
FIGURA 38 – EXEMPLO DE MATERIAL ALTAMENTE REFLEXIVO (SPECTRALIGHT DA EMPRESA SOLATUBE) E SUA POSSÍVEL APLICAÇÃO.	63
FIGURA 39 – EXEMPLO DE DUTOS COM LENTES INTERNAS PARA TRANSMISSÃO DA LUZ (À ESQUERDA) E ESQUEMA DE DUTO PRISMÁTICO OCO (À DIREITA).	64
FIGURA 40 – EXEMPLOS DE DISTRIBUIÇÃO DA LUZ AO LONGO DO CABO DE FIBRA ÓPTICA.	64
FIGURA 41 – EXEMPLO DE GUIA SÓLIDA E DE GUIAS LÍQUIDAS, RESPECTIVAMENTE.	65
FIGURA 42 – EXEMPLOS DE ESTRATÉGIAS PARA CONTROLE DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DO RAIOS SOLAR NO SISTEMA CONDUTOR.	65
FIGURA 43 – EXEMPLOS DE LUMINÁRIAS SOLARES INSTALADAS PELA EMPRESA NORTE-AMERICANA SOLATUBE.	66
FIGURA 44 – LOCALIZAÇÃO DO PROJETO NA AVENIDA DELANCEY, EM NOVA IORQUE, EUA.	69
FIGURA 45 – IMAGEM DO ANTIGO TERMINAL DE METRÔ, EXEMPLO DE VAZIOS URBANOS EM SUBSOLOS.	69
FIGURA 46 – PERSPECTIVA ILUSTRATIVA DO PROJETO.	70
FIGURA 47 – REFLETORES E CONCENTRADORES DE LUZ SOLAR, LOCALIZADOS NA COBERTURA DA EDIFICAÇÃO QUE ABRIGARÁ O FUTURO PARQUE SUBTERRÂNEO.	71
FIGURA 48 – CONCENTRADOR QUE CONDUZ A LUZ PARA O CABO DE FIBRA ÓPTICA.	71
FIGURA 49 – ESQUEMA DA CONDUÇÃO DA LUZ PARA O SUBSOLO POR MEIO DE FIBRA ÓPTICAS.	72
FIGURA 50 – IMAGENS DO FORRO REFLEXIVO, DAS LUMINÁRIAS SOLARES (CONECTADAS AOS CABOS DE FIBRA ÓPTICA QUE VÊM DA COBERTURA) E DOS REFLETORES INTERNOS QUE SERÃO UTILIZADOS NO FUTURO PARQUE SUBTERRÂNEO.	72
FIGURA 51 – IMAGENS DO SISTEMA COMPLEMENTAR COM LÂMPADAS ELÉTRICAS DE CRESCIMENTO PARA VEGETAÇÃO. À ESQUERDA, IMAGEM ILUSTRANDO AS LUMINÁRIAS UTILIZADAS, E À DIREITA A LÂMPADAS COM COLORAÇÃO ROSADA (EM CIMA) E AZULADA (EMBAIXO).	73
FIGURA 52 - SISTEMA DE ILUMINAÇÃO COMPLEMENTAR COM DUTOS TRANSPARENTES QUE TRANSPORTAM A LUZ AO LONGO DO SEU CUMPRIMENTAM (ATRAVÉS DE LENTES) E DISSIPAM-NA PARA O AMBIENTE.	73

FIGURA 53 – IMAGEM DA LOWLAB: FASE EXPERIMENTAL DO PROJETO.	74
FIGURA 54 - IMAGEM ILUSTRANDO A DIVERSIDADE DE ESPÉCIES VEGETAIS TESTADAS NO EXPERIMENTO DA LOW LINE, LOWLAB, VISITADO PELA AUTORA EM FEVEREIRO DE 2017. NA IMAGEM AMBÉM É POSSÍVEL PERCEBER A LUZ NATURAL REFLETIDA NAS PLANTAS.	75
FIGURA 55 - IMAGEM COLETADA NA LOWLAB ILUSTRANDO AS ESPÉCIES DE MARANTA BARRIGA-DE-SAPO, ASPLENIO E GIBOIA (À ESQUERDA), E UMA ESPÉCIE DE BROMÉLIA (À DIREITA).	76
FIGURA 56 – EXEMPLO DE ESPAÇOS SUBTERRÂNEOS OBSOLETOS E SUBUTILIZADOS EM CIDADES BRASILEIRAS: ESTAÇÃO DE METRÔ PEDRO 2º NA CAPITAL PAULISTA.	76
FIGURA 57 - IMAGENS DOS DUTOS NA ESTAÇÃO DE METRÔ POTSDAMER PLATZ.	77
FIGURA 58 – CORTE ESQUEMÁTICO (À ESQUERDA) E IMAGENS DA TECNOLOGIA APLICADAS NAS ÁREAS EXTERNA E INTERNA (À DIREITA).	78
FIGURA 59 – IMAGENS DO CAPTADOR, CONDUTOR E DISSIPADOR DE LUZ NATURAL.	79
FIGURA 60 – CORTE ESQUEMÁTICO E IMAGENS DO CONJUNTO.	80
FIGURA 61 – ESTRUTURA EM STEEL FRAME E OS PAINÉIS PRISMÁTICOS DO SISTEMA.	80
FIGURA 62 – CORTE E IMAGENS DOS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E DE CONDUÇÃO.	81
FIGURA 63 - IMAGENS DOS EXEMPLARES A (PASSAGEM DE PEDESTRES SUBTERRÂNEA ONCHUNCHUNA), B (EDIFÍCIO INDUSTRIAL DA EMPRESA POSCO), C (CENTRO ESPORTIVO COPPER BOX OLYMPIC ARENA) E D (GINÁSIO DO EXERCITO CELME), RESPECTIVAMENTE.	87
FIGURA 64 – EXEMPLO DE DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES EM MODELO DE ESCALA REDUZIDA E DE MALHA PARA MARCAÇÃO E CONTROLE DOS DADOS.	91
FIGURA 65 – EXEMPLOS DE TIPOS DE CÉU.	93
FIGURA 66 – ESQUEMA DE HIDRATAÇÃO DE PLANTAS.	99
FIGURA 67 – EXEMPLOS DE SINTOMAS E SEUS DIFERENTES AGENTES CAUSADORES.	100
FIGURA 68 – DIAGRAMA DO EXPERIMENTO.	104
FIGURA 69 – À ESQUERDA, O SENSOR HOBO, À DIREITA, ESQUEMA DA CONEXÃO DO SENSOR COM O COMPUTADOR E O SOFTWARE.	105
FIGURA 70 – CABO CONECTOR E TELA DO SOFTWARE HOBOWARE PRO.	105
FIGURA 71 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO NO BAIRRO IPANEMA, ZONA SUL DA CIDADE DE PORTO ALEGRE.	106
FIGURA 72 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E O RESPECTIVO ENTORNO URBANO.	106
FIGURA 73– IMAGEM DO EXPERIMENTO EM PAPELÃO E DAS CONDIÇÕES DE CÉU DO DIA 5/8/16 (PARCIALMENTE NUBLADO).	107
FIGURA 74 – IMAGEM DOS SENSORES NO INTERIOR DO MODELO EM ESCALA REDUZIDA E DOS MATERIAIS UTILIZADOS NO TESTE PILOTO EM 5/8/16.	108
FIGURA 75 – FASE 1 DO EXPERIMENTO: ILUSTRAÇÃO DOS DUTOS CONDUTORES DE LUZ NATURAL E LOCALIZAÇÃO DOS SENSORES.	109
FIGURA 76 – FASE 1 DO EXPERIMENTO: À ESQUERDA, IMAGEM DOS 4 DUTOS DE LUZ DURANTE O TESTE DOS MATERIAIS REFLEXIVOS, E À DIREITA, CONDIÇÃO DO CÉU NO DIA - PARCIALMENTE NUBLADO.	109
FIGURA 77 – SEGUNDO TESTE DA FASE 1 DO EXPERIMENTO: COMPARAÇÃO ENTRE O MATERIAL ELEITO MAIS REFLEXIVO INICIALMENTE E O ALUMÍNIO TSV95100.	110
FIGURA 78 – FASE 2 DO EXPERIMENTO: DUTO COM ESPELHO MÓVEL E OS RESPECTIVOS SENSORES.	111
FIGURA 79 – ESTUDO DO MOVIMENTO VERTICAL DO SOL.	112
FIGURA 80 – IMAGEM DO HELIOSTATO MANUAL FIXADO NO TOPO DO DUTO DE LUZ PARA REALIZAÇÃO DOS TESTES DE REDIRECIONAMENTO DOS RAIOS SOLARES.	112
FIGURA 81 – IMAGEM DOS RAIOS SOLARES, REDIRECIONADOS PELO HELIOSTATO E CONDUZIDOS PELO DUTO DE LUZ, ILUMINANDO A BASE DE APOIO DOS CILINDROS METÁLICOS.	113

FIGURA 82 – IMAGEM DOS TRÊS SENSORES RESPONSÁVEIS PELA COLETA DE DADOS NESTA ETAPA DA FASE 2: UM AO FIM DO DUTO (ILUMINADO POR ELE NA IMAGEM), OUTRO NA SOMBRA E UM TERCEIRO COLETANDO A LUZ SOLAR DIRETA.	114
FIGURA 83 – IMAGENS DA MODELAGEM TRIDIMENSIONAL PARA ESTUDO E MONTAGEM DO SISTEMA DE HELIOSTATO ELETRÔNICO.	115
FIGURA 84 – IMAGEM DA MONTAGEM DO HELIOSTATO ELETRÔNICO (À ESQUERDA) E DOS PRIMEIROS TESTES MANUAIS (À DIREITA).	116
FIGURA 85 – IMAGENS DO SISTEMA ELETRÔNICO QUE MOVIMENTA O HELIOSTATO (À ESQUERDA) E DO TESTE REALIZADO COM O DUTO DE 0,30 M DE ALTURA (À DIREITA).	117
FIGURA 86 – IMAGENS DAS ESPÉCIES VEGETAIS SELECIONADAS PARA O EXPERIMENTO DESTA PESQUISA: À ESQUERDA, O <i>ASPARAGUS DENSIFLORUS SPRENGERI</i> (ASPARGO-PENDENTE), E À DIREITA, A <i>NEPHROLEPIS EXALTATA MARISA</i> (SAMAMBAIA-HAVAIANA).	118
FIGURA 87 – FASE 3 DO EXPERIMENTO: CORTE DO ESTUDO DE CASO 1 MOSTRANDO AS DIMENSÕES E AS PARTES QUE COMPÕE O SISTEMA, BEM COMO O SISTEMA DE VENTILAÇÃO POR CONVECÇÃO.	120
FIGURA 88 – FASE 3 EXPERIMENTO: PLANTA BAIXA DE EC1 E EC2 COM OS VASOS, A LOCALIZAÇÃO DOS SENSORES DE LUZ (RETÂNGULOS NA COR VERMELHA), QUE SE REPETE NOS TRÊS CASOS, DO TUBO DE VENTILAÇÃO E DA TAMPA DE ACESSO, VOLTADA PARA O SUL.	122
FIGURA 89 – MONTAGEM DOS VASOS, POSICIONAMENTO DOS SENSORES E DA GRELHA PARA AUXILIAR A AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DA VEGETAÇÃO.	123
FIGURA 90 – FASE 3 DO EXPERIMENTO: À ESQUERDA, IMAGEM DOS DUTOS E DO HELIOSTATO; À DIREITA, O VASO NO INTERIOR DE UMA DAS CAIXAS.	123
FIGURA 91 – ILUSTRAÇÃO DO TELEFONE MÓVEL COM A MARCAÇÃO DAS POSIÇÕES DOS VASOS PARA A FOTOGRAFIA DE PERFIL (PONTOS AMARELOS) E DE CIMA (PONTOS PRETOS).	126
FIGURA 92 – ILUSTRAÇÃO DA RELAÇÃO DIRETA ENTRE O CAIMENTO DA ALTURA SOLAR E AS ILUMINÂNCIAS TRANSPORTADAS PELOS DUTOS, E INVERSA QUANDO COMPARADOS À CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO DE LUZ PELOS CILINDROS (DADOS DO ALUMÍNIO TSV95100).	129
FIGURA 93 – ILUSTRAÇÃO DA RELAÇÃO DIRETA ENTRE O CAIMENTO DA ALTURA SOLAR E AS ILUMINÂNCIAS TRANSPORTADAS PELOS DUTOS, E INVERSA QUANDO COMPARADOS À CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO DE LUZ PELOS MESMOS DUTOS (DADOS DO DUTO COM ALTURA DE 0,30 M).	133
FIGURA 94 – GRÁFICO DE ILUMINÂNCIAS (LUX) DOS ESTUDOS DE CASO 1 E 2, NO DIA 19 DE AGOSTO, DIA DE CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO.	140
FIGURA 95– GRÁFICO DE ILUMINÂNCIAS (LUX) DOS ESTUDOS DE CASO 1 E 2, NO DIA 21 DE AGOSTO, DIA DE CÉU ENCOBERTO.	141
FIGURA 96– GRÁFICO DE ILUMINÂNCIAS (LUX) DOS ESTUDOS DE CASO 1 E 2, NO DIA 23 DE AGOSTO, DIA DE CÉU CLARO: ILUSTRAÇÃO DOS MOMENTOS EM QUE AS ILUMINÂNCIAS ULTRAPASSAM 300 LUX EM EC 1.	141
FIGURA 97 - GRÁFICO DE FOTOPERÍODO (PERÍODO COM ILUMINÂNCIAS ACIMA DE 300 LUX) DIÁRIO DOS ESTUDOS DE CASO 1 E 2, DAS RESPECTIVAS MÉDIAS OBTIDAS DURANTE O EXPERIMENTO, E DO FOTOPERÍODO DE PORTO ALEGRE.	142
FIGURA 98 - GRÁFICO ILUSTRANDO OS FOTOPERÍODOS OBTIDOS EM EC1 DURANTE OS 52 DIAS DE EXPERIMENTO.	143
FIGURA 99 - GRÁFICO ILUSTRANDO OS FOTOPERÍODOS OBTIDOS EM EC2 DURANTE OS 52 DIAS DE EXPERIMENTO.	144
FIGURA 100 – GRÁFICO DE DEMONSTRAÇÃO DO FOTOPERÍODO (HORAS) E DA MÉDIA ARITMÉTICA DAS ILUMINÂNCIAS (LUX) DE CADA DIA DO EXPERIMENTO.	144

FIGURA 101 – EVOLUÇÃO DA VEGETAÇÃO NOS TRÊS ESTUDOS DE CASO (EC1, EC2 E EC3): SEQUÊNCIA DE IMAGENS DO PRIMEIRO (18/08/18, SEMANA 0 – S0) E DO ÚLTIMO DIA DO EXPERIMENTO (7/10/18, SEMANA 7 – S7).	145
FIGURA 102 – ILUSTRAÇÃO DAS MANCHAS DE COR MARROM (NECROSE) NAS SAMAMBAIAS (À ESQUERDA) E DAS FOLHAS COM PIGMENTAÇÃO AMARELA (CLOROSE) NO ASPARGO (À DIREITA), AMBAS DE EC 2 E COLETADAS NA SEMANA 2 DO EXPERIMENTO.	146
FIGURA 103 – ILUSTRAÇÃO DO ASPARGO INGRESSANDO NO DUTO E DOS CAULES (COM QUASE 0,40 M), QUE FORAM CORTADOS NA SEMANA 5 DO EXPERIMENTO.	147
FIGURA 104 – ILUSTRAÇÃO DAS ESPÉCIES DE COGUMELOS OBSERVADAS EM EC 2 NA COLETA DA SEMANA 7.	148
FIGURA 105 – IMAGEM DA 5ª SEMANA DO EXPERIMENTO: ILUSTRAÇÃO DOS FUNGOS OBSERVADOS NO INTERIOR DAS CAIXAS.	149
FIGURA 106 – PONTOS BRANCOS OBSERVADOS NO ESTUDO DE CASO 3, NA QUINTA SEMANA DO EXPERIMENTO.	149
FIGURA 107 – ILUSTRAÇÃO DO FOCO DE LUZ DIRETA (À ESQUERDA) E INDIRETA (À DIREITA) REFLETIDAS PELO DUTO ALIADO AO USO DE HELIOSTATO DURANTE A MONTAGEM DA 3ª FASE DO EXPERIMENTO (14/08/18).	153
FIGURA 108 – IMAGEM DO ESPELHO REDIRECIONANDO A LUZ TRANSMITIDA PELO DUTO: POSSIBILIDADE PARA DISTRIBUIÇÃO DOS RAIOS SOLARES NO INTERIOR DO AMBIENTE ILUMINADO PELAS TECNOLOGIAS TESTADAS.	154
FIGURA 109 – IMAGEM DA ÁREA INTERNA DO DUTO REVESTIDO COM ALUMÍNIO VEGA 95, ILUSTRANDO O BRILHO E A REFLETIVIDADE DO MATERIAL.	156
FIGURA 110 – ILUSTRAÇÕES DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS DESTA PESQUISA, COLETADAS NA 3ª FASE DO EXPERIMENTO: SISTEMA DE ILUMINAÇÃO NATURAL CONSTITUÍDO DO HELIOSTATO FIXADO NO TOPO DO DUTO (À ESQUERDA), E AS ESPÉCIES VEGETAIS, REPRESENTADA PELO ASPARGO NESTA IMAGEM (À DIREITA).	157

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – EXEMPLOS DE SINTOMAS, DISSEMINAÇÃO, PREVENÇÃO E CONTROLE DE PATÓGENOS

101

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MATRIZ DESCRITIVA PARA ANÁLISE DE ESTUDOS DE CASO.	82
TABELA 2 – MATRIZ DESCRITIVA PARA ANÁLISE DE ILUMINÂNCIA (LUX) CAPTADA.	86
TABELA 3 – QUANTIDADE MÍNIMA DE PONTOS A SEREM MEDIDOS	91
TABELA 4 – CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE CÉU SEGUNDO A CIE ISO 15469 (2003).	94
TABELA 5 – CONTRIBUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES INTERNOS.	95
TABELA 6 - DESEMPENHO DOS MATERIAIS SELECIONADOS: ILUMINÂNCIAS (LUX) OBTIDAS NO DIA 18/12/16, DIA DE CÉU PARCIALMENTE NUBLADO.	127
TABELA 7 - DESEMPENHO DO ALUMÍNIO POLIDO X ALUMÍNIO TSV95100: ILUMINÂNCIAS (LUX) OBTIDAS NO DIA 23/07/17, DIA DE CÉU PARCIALMENTE NUBLADO.	129
TABELA 8 – ILUMINÂNCIAS (LUX) COLETADAS NO DIA 23/12/16, SOB CONDIÇÕES DE CÉU CLARO, MEDIDAS COM DATA LOGGERS – DUTO COM ALUMÍNIO POLIDO E HELIOSTATO.	130
TABELA 9 – ILUMINÂNCIAS (LUX) COLETADAS NO DIA 17/03/17, SOB CONDIÇÕES DE CÉU CLARO, MEDIDAS COM LUXÍMETRO – DUTO COM ALUMÍNIO POLIDO E HELIOSTATO.	131
TABELA 10 – ILUMINÂNCIAS (LUX) COLETADAS NO DIA 22/07/17, SOB CONDIÇÕES DE CÉU CLARO, DE QUATRO DUTOS COM ALTURAS DIFERENTES, MEDIDAS COM DATA LOGGERS.	132
TABELA 11 – DESEMPENHO DO HELIOSTATO NO DIA 31/03/17, POSICIONADO NO DUTO DE 30 CM DE ALTURA E REVESTIDO COM ALUMÍNIO POLIDO – ILUMINÂNCIAS (LUX) MENSURADAS COM LUXÍMETRO.	133
TABELA 12 - DESEMPENHO DO HELIOSTATO NO DIA 23/07/17, POSICIONADO NO DUTO DE 0,30 M DE ALTURA E REVESTIDO COM ALUMÍNIO TSV95100 – ILUMINÂNCIAS (LUX) MENSURADAS COM DATA LOGGERS.	134
TABELA 13 – MÉDIA ARITMÉTICA DAS ILUMINÂNCIAS (LUX) COLETADAS EM CADA DIA DA SEMANA 1 DO EXPERIMENTO.	135
TABELA 14 – MÉDIA ARITMÉTICA DAS ILUMINÂNCIAS (LUX) COLETADAS EM CADA DIA DA SEMANA 6 DO EXPERIMENTO.	137
TABELA 15 – ILUMINÂNCIAS (LUX) COLETADAS NA SEMANA 6 DO EXPERIMENTO NAS TRÊS SITUAÇÕES DE CÉU, ÀS 9H00, ÀS 12H00 E ÀS 15H00.	137
TABELA 16– ILUMINÂNCIAS (LUX) COLETADAS, DAS 8H00 ATÉ AS 17H00, NO 42º DIA DO EXPERIMENTO, SOB CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO.	139
TABELA 17 – MÉDIA ARITMÉTICA DAS ILUMINÂNCIAS (LUX) COLETADAS EM CADA DIA DA SEMANA 7 DO EXPERIMENTO.	139

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIE	Commission Internationale del'Eclairage
CLS	Captadores de Luz Solar
CDLS	Condutores e Distribuidores de Luz Solar
EC1	Estudo de Caso 1
EC2	Estudo de Caso 2
EC3	Estudo de Caso 3
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
ONU	Organização das Nações Unidas
SCCDLN	Sistemas de Captação, Condução e distribuição de Luz Natural
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UN	United Organization
WHO	World Health Organization

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - QUANTIDADE DE PONTOS DE MEDIÇÃO DE LUZ, ABNT NBR 15215-4.	90
EQUAÇÃO 2 – CÁLCULO DO FATOR DE LUZ DIURNA (FLD), ABNT NBR 15215-3.	94

SUMÁRIO

Capítulo 1 INTRODUÇÃO	20
1.1 JUSTIFICATIVA	20
1.2 OBJETIVOS	23
1.2.1 Objetivo Geral	23
1.2.2 Objetivos Específicos	23
Capítulo 2 A CIDADE ENTERRADA E O CONTATO COM OS ELEMENTOS NATURAIS	24
2.1 A CIDADE CONTEMPORÂNEA E O USO DOS ESPAÇOS SUBTERRÂNEOS	24
2.2 A IMPORTÂNCIA DA LUZ NATURAL PARA O SER HUMANO	32
2.3 A IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO PARA O SER HUMANO	38
2.4 LUZ NATURAL E VEGETAÇÃO PARA QUALIFICAÇÃO DA EXPERIÊNCIA DOS USUÁRIOS DE ARQUITETURAS SUBTERRÂNEAS DE PORTO ALEGRE	51
Capítulo 3 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO, CONDUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE LUZ NATURAL	56
3.1 CAPTADORES DE LUZ SOLAR (CLS)	58
3.2 CONDUTORES E DISTRIBUIDORES DE LUZ SOLAR	62
3.3 DIFUSORES - LUMINÁRIA SOLAR	66
3.4 METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE LUZ NATURAL	67
3.5 ESTUDOS DE CASO DA APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO, CONDUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE LUZ NATURAL	68
3.5.1 Low Line, Nova Iorque – EUA	68
3.5.2 Estação de Metrô Potsdamer Platz, Berlim – Alemanha, 2000	77
3.5.3 Edifício comercial Morgan Lewis Law Offices, Washington - EUA, 1998-2001	79
3.5.4 Edifício comercial e museu de arte Borusan Holdings, Istambul – Turquia	81
3.5.5 Comparação entre os estudos de caso	82
Capítulo 4 ESTUDOS DA LUZ NATURAL E DE VEGETAÇÃO EM MODELOS DE ESCALA REDUZIDA	89
4.1 COMPORTAMENTO E MEDIÇÃO DA LUZ NATURAL EM MODELOS DE ESCALA REDUZIDA	89
4.1.1 Critérios estabelecidos pela Norma Brasileira de Iluminação Natural – ABNT NBR 15215-4 (2005)	90
4.2 O CÉU E A LUZ DE CADA LUGAR: O CASO DE PORTO ALEGRE	92
4.2.1 Fontes de luz natural, tipos de céu e sua luz característica	92
4.2.2 Condições de céu de Porto Alegre	95
4.3 DUTOS DE LUZ EM ESCALA REDUZIDA	96
4.4 SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO VEGETAL EM MODELOS DE AMBIENTES SUBTERRÂNEOS	97

4.4.1 Substrato	98
4.4.2 Luz, temperatura, irrigação, adubação e propagação	98
4.4.3 Controle de doenças e pragas em plantas	100
4.4.4 Vegetação em modelos de escala reduzida	102
4.4.5 Metodologias para verificar o desempenho da vegetação em modelos de escala reduzida	103
Capítulo 5 MÉTODO	104
5.1 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA	104
5.1.1 Construção de modelos de escala reduzida e experimento piloto	105
5.1.2 Fase 1 – Definição do material reflexivo mais adequado	108
5.1.3 Fase 2 – Estudos dos dutos de luz, construção do heliostato, adequação do sistema de iluminação natural e definição das espécies vegetais	110
5.1.4 Fase 3 – Montagem do experimento e verificação do desempenho do conjunto	120
5.1.5 Coleta, análise e organização dos dados obtidos	124
Capítulo 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	127
6.1 FASE 1: DEFINIÇÃO DO MATERIAL REFLEXIVO MAIS ADEQUADO	127
6.2 FASE 2: ESTUDOS DOS DUTOS DE LUZ, MONTAGEM DO HELIOSTATO E ADEQUAÇÕES DO CONJUNTO	130
6.3 FASE 3: VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS DUTOS DE LUZ, DO HELIOSTATO E DA VEGETAÇÃO	135
6.3.1 Desempenho do heliostato e dos dutos de luz	135
6.3.2 Comportamento da vegetação	145
6.3.3 Discussão	150
Capítulo 7 CONCLUSÕES	158
REFERÊNCIAS	162
APÊNDICE	175
ANEXOS	259

O fim dos fins, meus senhores: o melhor é não fazer nada! O melhor é a inércia consciente! Pois bem, viva o subsolo! Embora eu tenha dito realmente que invejo o homem normal até a derradeira gota da minha bílis, não quero ser ele, nas condições em que o vejo (embora não cesse de invejá-lo. Não, não, em todo caso, o subsolo é mais vantajoso!). Ali, pelo menos, se pode... Eh! mas estou mentindo agora também. Minto porque eu mesmo sei, como dois e dois, que o melhor não é o subsolo, mas algo diverso, absolutamente diverso, pelo qual anseio, mas que de modo nenhum hei de encontrar! **Ao diabo o subsolo!** (DOSTIÉVSKI, 2001, p.54-55, grifado pela autora).

Capítulo 1 | INTRODUÇÃO

1.1 | JUSTIFICATIVA

Segundo o relatório de 2017 da United Nations (2017), a população mundial terá grande acréscimo nos próximos anos. Hoje mais da metade (55%) da população do planeta vive em cidades e estima-se que essa parcela chegará a 68% em 2050 (UN, 2018). O crescimento populacional nos grandes centros urbanos implica o aumento das demandas por infraestrutura, habitação, locais de lazer ao ar livre e áreas verdes.

Entretanto, os grandes centros urbanos têm se deparado com a falta de espaço para expansão de seu território a fim de atender às novas demandas decorrentes do aumento populacional (DELMASTRO, LAVAGNO, SCHRANZ, 2016; BESNER, 2002; DURMISEVIC, 1999). Quais as alternativas para a renovação dessas áreas? Como atender ao crescente contingente populacional sem desqualificar o ambiente urbano?

A busca por cidades mais sustentáveis e compactas tem levantado discussões acerca da otimização do uso do espaço urbano e de seu desenvolvimento (DUFFAUT, 2006; BESNER, 2002). Essa abordagem de cidade enfatiza a utilização eficiente do território urbano e aponta o uso do espaço subterrâneo como uma importante alternativa para a necessidade de expansão e de atendimento das novas demandas (DUFFAUT, 2006; BESNER, 2002; DURMISEVIC, 1999).

Áreas enterradas podem ser uma importante alternativa para diminuir congestionamentos, ruídos, altos níveis de poluição e falta de áreas verdes na superfície (DURMISEVIC, 1999). A utilização das áreas abaixo da superfície admite o aproveitamento das redes de infraestrutura já existentes, evitando os altos custos que os gestores teriam de investir para a ampliação em áreas ainda não urbanizadas. Além disso, o acesso à cidade torna-se mais eficiente, pois há maior quantidade de serviços em uma mesma área (BOBYLEV, 2009).

O uso de subsolos existentes, mas subutilizados, também é apontado como alternativa para a necessidade de renovação de áreas centrais já consolidadas em grandes metrópoles (BESNER, 2002; DURMISEVIC, 1999). É o caso, por exemplo, de Nova Iorque, nos Estados Unidos, onde uma antiga estação de bonde localizada abaixo da superfície dará lugar ao primeiro parque subterrâneo do mundo (THE LOW LINE, 2016). O aproveitamento do subterrâneo também alivia a superfície de novas edificações e permite que sejam utilizadas mais áreas verdes e de aproximação com a natureza ao ar livre (KALIAMPAKOS, BENARDOS, MAVRIKOS, 2016; BESNER, 2002; DURMISEVIC, 1999),

necessárias à qualidade de vida urbana (GRAHN, 1994; GRAHN, STIGSDOTTER, 2003) e que vêm sendo negligenciadas em prol de novas construções.

A utilização desse tipo de espaço está crescendo tanto internacionalmente como nacionalmente (KALIAMPAKOS, BENARDOS, MAVRIKOS, 2016; PACHECO, 2015; RODRIGUES, 2009). A ocupação de subsolos para implantação de estacionamentos e redes de infraestrutura e de transporte - como túneis e metrôs - tem se tornado uma realidade das capitais brasileiras, inclusive de Porto Alegre, onde há projeto para a implantação de metrô a fim de qualificar as redes de transporte público do município (PORTO ALEGRE, 2016). No país, o Comitê Brasileiro de Túneis (CBT, 2016), criado em 1990, tem como objetivo unir esforços para a divulgação da importância do uso de áreas subterrâneas no território nacional, o que demonstra a seriedade atribuída ao tema.

Ainda que seja ampla e crescente a utilização de subsolos, há estudos que revelam as frequentes experiências negativas dos usuários de ambientes subterrâneos, demonstrando a dificuldade de se projetar esses locais (DELMASTRO, LAVAGNO, SCHRANZ, 2016; KIM, KIM, 2010; DURMISEVIC, SARIYILIDIZ, 2001). Durmisevic (1999) traz a luz natural como uma alternativa para a qualificação de espaços enterrados, e Besner (2002) sugere a necessidade de se considerar o acesso dessa fonte de luz em tais ambientes. Em estudo realizado em Porto Alegre (FRANZ, MARTAU, 2016), foi realizada uma entrevista com moradores da cidade, que assinalaram a falta de aproximação com o meio natural como aspecto negativo dessas áreas e citaram a iluminação como fator importante para a melhoria dessa experiência. Outros estudos evidenciam que a aproximação dos usuários de ambientes construídos com elementos da natureza - como acesso a áreas verdes e visuais para vegetação - auxilia no seu bem-estar e qualidade de vida (GRAHN, 1994; GRAHN, STIGSDOTTER, 2003). Assim, o uso de luz natural e de vegetação oferece grande potencial para a qualificação dos espaços localizados em subsolos, aproximando seus usuários do meio natural.

Na superfície, essa interação é facilitada pelas aberturas diretas para o exterior, como janelas, que propiciam o contato visual e o acesso de luz natural, viabilizando também o uso de vegetação nos ambientes internos. Porém, em espaços enterrados, tais estratégias não são possíveis. A questão que se apresenta é: como levar a luz natural e possibilitar o uso de vegetação nos ambientes abaixo da superfície a fim de qualificá-los para tornar mais positivas as experiências dos seus usuários?

A utilização de dutos de luz – ou *light pipes* – vem crescendo no âmbito internacional (BOUBEKRI, 2014; AKHADOV *et al.*, 2014; MAYHOUB, CARTER, 2009; HANSEN, EDMONDS, BELL, 2009; ROSEMANN, KAASE, 2006; DE VECCHI *et al.*, 2004; ZHANG,

2002). Tal tecnologia é capaz de conduzir a luz natural por longas distâncias através de tubos condutores, trazendo à tona o conceito de luz líquida. Esses sistemas são compostos de três partes, responsáveis, respectivamente, pela captação, pela condução e pela distribuição da luz coletada (BOUBEKRI, 2014). Há pesquisas que demonstram o grande potencial desses sistemas para iluminar espaços profundos, como os subterrâneos (AKHADOV *et al.*, 2014; TAENGCHUM *et al.*, 2014; HANSEN, EDMONDS, 2015; HANSEN, 2006).

No Brasil, um país banhado por fonte de energia limpa e renovável, ainda há pouca pesquisa nessa área (TOLEDO, 2008; LUZ, 2009; MACÊDO, 2002; SOTO, 2010; ARRIGONE, MUTTI, 2008; SILVA, 2005; FANTINELLI, 2005) e se desconhece alguma que seja aplicada para sistemas de condução de luz natural a longas distâncias e relacionada ao uso de vegetação – o que evidencia uma das lacunas ainda existentes acerca do tema. Se essa tecnologia está sendo bastante difundida em países que possuem menor exposição à luz natural que o Brasil, por qual motivo ainda não se está usufruindo dessa vantagem em âmbito nacional? A pequena quantidade de estudos citados sobre esse objeto pode ser um dos motivos.

Os sistemas de iluminação natural necessitam de testes locais, pois dependem do sol e do céu de cada lugar. Os trabalhos acima citados referem-se a outros estados do país e se desconhece pesquisa acerca desses sistemas para a cidade de Porto Alegre. Daí a necessidade de estudo sobre as condições de uso dessas tecnologias em nível local. Frente a esse contexto, surgem alguns questionamentos. Como se comportam essas tecnologias no contexto da cidade de Porto Alegre? Qual o tipo de tecnologia mais adequada para levar luz natural a longas distâncias, em quantidade suficiente, a fim de viabilizar a utilização de áreas verdes nos espaços subterrâneos, cada vez mais crescentes na capital gaúcha? Quais as espécies vegetais capazes de se desenvolver em ambientes abaixo da superfície?

Esta pesquisa, portanto, teve como objetivo verificar a capacidade dos sistemas de captação de luz natural de levar essa fonte de energia em quantidade suficiente para o desenvolvimento de vegetação em ambientes enterrados na cidade de Porto Alegre, a fim de promover o bem-estar dos usuários dessas áreas. Para isso, foi avaliada a tecnologia mais apropriada a ser utilizada e foram estudadas as espécies vegetais mais adequadas para esses ambientes.

Ao fim deste estudo, pretende-se responder às perguntas colocadas e contribuir para o avanço científico em relação ao tema proposto. Acredita-se que os sistemas de iluminação natural podem oferecer grande capacidade de uso na cidade de Porto Alegre. Espera-se que a pesquisa verifique o potencial das tecnologias de iluminação

natural para viabilizar a criação de áreas verdes em locais antes pouco pensados, aproximando o homem e a natureza.

1.2 | OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar a capacidade de determinado sistema de captação e condução de luz natural em suprir as necessidades de luz necessárias para a existência de vegetação em espaços subterrâneos na cidade de Porto Alegre.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os potenciais e as limitações da utilização de captadores de luz solar;
- Identificar exemplares de sistemas de captação e de distribuição de luz natural passíveis de uso em subsolos;
- Avaliar o desempenho de modelos de dutos de iluminação natural sob as condições de céu de Porto Alegre;
- Identificar o sistema de captação e condução de luz solar mais adequado para aplicação no contexto da cidade de Porto Alegre e que possibilite seu experimento para verificação do desempenho no contexto local;
- Identificar espécies vegetais que possam sobreviver em espaços subterrâneos e testar seu desempenho na situação proposta;
- Contribuir para o tema proposto a fim de qualificar a experiência dos usuários das construções subterrâneas.

Capítulo 2 | A CIDADE ENTERRADA E O CONTATO COM OS ELEMENTOS NATURAIS

2.1 | A CIDADE CONTEMPORÂNEA E O USO DOS ESPAÇOS SUBTERRÂNEOS

A preocupação com o desenvolvimento e planejamento das cidades contemporâneas tem levantado discussões pelo mundo acerca dos problemas recorrentes do grande crescimento populacional (UN, 2017; UN, 2018) e da conseqüente necessidade de expansão de seu território. A pressão horizontal das cidades implicou seu crescimento vertical acima da superfície, que também chega ao limite para evitar a deterioração da qualidade dos seus espaços (DUFFAUT, 2006; BESNER, 2002; DURMISEVIC, 1999).

O aumento da concentração populacional nos grandes centros urbanos impulsiona a demanda por habitação, infraestrutura, áreas de lazer ao ar livre e de cultura. Essas transformações, somadas à crescente necessidade de um planejamento urbano sustentável como ponto de partida para tornar as cidades mais eficientes (DUFFAUT, 2006), trazem à tona o conceito de Cidade Compacta¹ (BESNER, 2001), que enfatiza o uso eficiente do espaço, de maneira que as cidades evitem alastrar-se na superfície (figuras 1 e 2) (ITA, AITES, 2012).

Figura 1 - Ilustração de cidades compactas que restringem sua ampliação horizontal.



Fonte: BONFIGLIOLI, 2011.

¹ *Cidade compacta* é o nome dado para uma forma de pensar a cidade de modo mais eficiente, no qual as distâncias percorridas devem ser diminuídas devido à concentração de maiores funções em uma mesma área. Cidades alastradas são mais custosas, pois demandam a extensão de infraestruturas urbanas. Dessa forma, o aproveitamento da infraestrutura existente e a concentração de atividades necessárias ao dia a dia podem ser uma solução para viabilizar econômica e sustentavelmente o crescimento dos grandes centros urbanos, promovendo a sua qualidade ambiental (BESNER, 2002; DURMISEVIC 1999).

Figura 2 - Ilustração com plano para a renovação de Paris utilizando área subterrânea sob o Rio Sena, nomeada “Paris-sous-Seine” (coleção particular/ Paul Maymont).



Fonte: foto da autora/ coleção particular de Paul Maymont exposta em Pavillon de l’Arsenal, Exposição Permanente “Paris, a city in the making”, Paris, França, 2018.

Tal abordagem de cidade traz o uso do subsolo como alternativa para os altos custos da ampliação de redes de infraestrutura nas cidades em desenvolvimento e para a deterioração dos centros antigos das grandes cidades, além de auxiliar na sua renovação, ao dar nova função aos espaços subterrâneos abandonados (figura 3) (DURMISEVIC, 1999; ITA WORKING GROUP, 2012; KURTH, 2015). Em Londres, por exemplo, antigos túneis subterrâneos de linhas ferroviárias abrigam um centro cultural de uma marca de artigos esportivos (figura 3) (ARCHDAILY, 2015). O local multiuso reúne diversas atividades como pista de skate, cafeteria, cinema e galeria de arte.

Figura 3 - Imagens das instalações da marca VANS Skate no subsolo de Londres.



Fonte: ARCHDAILY, 2015

As áreas abaixo da superfície oferecem capacidade para acomodar os novos espaços necessários à melhora da qualidade de vida urbana, aproveitando de maneira mais eficiente o crescimento vertical das cidades e evitando o aumento da poluição e da carência de zonas verdes nos ambientes acima da superfície (KISHII, 2016; ITA, AITES, 2012; KIM, KIM, 2010; DURMISEVIC, 1999). Esses locais também oferecem potencial de uso quando da ocorrência de catástrofes naturais (como tornados, furacões) e ataques terroristas (KURTH, 2012; NELSON, 2016). Em Cingapura, que enfrenta a falta de áreas para edificação na superfície, há projeto para a construção de um centro de pesquisa subterrâneo, o que permitirá a permanência de áreas livres e verdes na superfície e garantirá a proteção do centro (figura 4) (YANG, 2013). O projeto em questão prevê aberturas para acesso da luz natural, o que possibilita a utilização de vegetação aliada a arquiteturas enterradas.

Figura 4 - Imagem do projeto do centro de pesquisa que será criado no subterrâneo de Cingapura.



Fonte: YANG, 2013, crédito JTC Corporation.

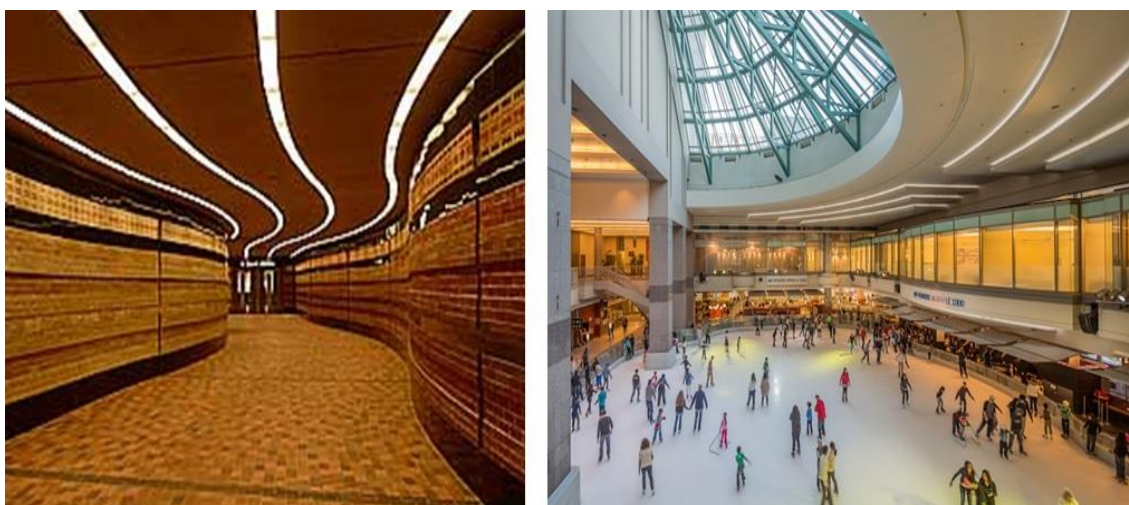
Embora esse recurso alivie a superfície, é preciso ser considerado o impacto ambiental causado no próprio espaço enterrado. Essas áreas são habitadas por uma série de organismos vivos, estudados pela chamada “biologia subterrânea”, capazes de sobreviver na ausência total ou parcial de luz natural, de vegetação e de outros elementos encontrados ao ar livre (TAKANO, 2016). Além do cuidado com a fauna, flora e recursos hídricos subterrâneos, as escavações dessas áreas têm de ser acompanhadas pelo poder público, para que seja investigada a existência de resquícios arqueológicos, preservando os registros históricos locais, quando for o caso.

Diante da crescente ocupação dos subsolos, nota-se o esforço de engenharias para solucionar os problemas decorrentes da utilização dessas áreas e buscar mecanismos que diminuam os impactos e os custos monetários (NELSON, 2016). A necessidade de grande investimento financeiro é trazida à tona quando se discute a construção de espaços enterrados, visto que esses custos são explícitos. Entretanto, quando comparado aos custos implícitos (benefícios que geram na superfície e para a qualidade de vida nas cidades, do ponto de vista ambiental e social, respectivamente), novamente o uso do subterrâneo ganha força e evidencia sua competência para promover a melhoria da qualidade urbana (KALIAMPAKOS, BENARDOS, MAVRIKOS, 2016).

O crescente aproveitamento de espaços enterrados, no âmbito internacional, traz à luz o conceito de urbanismo subterrâneo, que assinala a necessidade de se planejar e controlar o desenvolvimento dessas áreas aliado ao planejamento urbano da superfície (BOBYLEV, 2009). O sucesso do uso do espaço subterrâneo também está atrelado à necessidade de se controlar e ordenar o aproveitamento dessas áreas (DUFFAUT, 2006; DURMISEVIC, SARIYILDIZ, 2001; KURTH, 2012).

Cidades como Helsinki, Cingapura, Brisbane, Istambul, Toronto e Montreal apresentam exemplos efetivos de urbanismo subterrâneo (DELMASTRO, LAVAGNO, SCHRANZ, 2016). Montreal, no Canadá, possui diversas passagens de pedestres enterradas, além de uma cidade subterrânea com diversas ligações entre superfície e subsolos (figuras 5 e 6). Nas áreas abaixo da superfície há inúmeros comércios, serviços e recintos de infraestrutura e lazer. É importante salientar que o uso de subsolos no Canadá se deve muito ao clima de baixíssimas temperaturas ao qual as cidades estão submetidas.

Figura 5– Passagem de pedestres subterrânea do World Trade Center e áreas de patinação existente no centro comercial Atrium Le 1000 na cidade de Montreal, Canadá.



Fonte: TOURISME MONTRÉAL, 2016.

Figura 6 – Exemplo de áreas de conexão entre subsolo e superfície no edifício World Trade Center em Montreal.



Fonte: CENTRE DE COMMERCE MONDIAL MONTRÉAL, 2016

Se considerada a sua capacidade quanto a condicionamento térmico, os ambientes situados em subsolos também podem ser eficientes energeticamente, um fator relevante para auxílio na criação de cidades mais sustentáveis. Esse fenômeno é chamado de inércia térmica². Edificações em contato com o solo podem usá-lo como estratégia de projeto para redução de perda e gastos térmicos, visto que o solo possui características que permitem manter uma temperatura mediana com alterações insignificantes, mesmo com as flutuações diárias que ocorrem acima de sua superfície (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2013; BROWN, DEKAY, 2004).

Construções subterrâneas podem melhorar nosso meio ambiente urbano aliviando a pressão na superfície, desenvolvendo melhores redes de transporte público, reduzindo o barulho, deixando mais áreas verdes nos centros antigos e reduzindo as distâncias através de uma melhor concentração das funções. Construir cidades mais compactas pode vir a ser uma importante etapa para um desenvolvimento sustentável³ (DURMISEVIC, 1999, traduzido e adaptado pela autora).

No Brasil, é crescente o número de construções subterrâneas (KALIAMPAKOS, BENARDOS, MAVRIKOS, 2016). Há grande quantidade de áreas de infraestrutura - como túneis, metrô e estacionamentos -, zonas antigas de cidades que abrigam novos usos e áreas comerciais com usuários que permanecem por longas horas nesses locais (figura 7). Também já são encontrados casos de hortas subterrâneas, reforçando o aumento da

² Inércia térmica é a capacidade que um corpo possui de manter constante ou pouco variável a sua temperatura (LAMBERTS *et al*, 2013; RODRIGUES, 2009).

³ Texto original: “Building underground can improve our urban environment by relieving the pressure on the surface, developing better public-transport networks, reducing noise, leaving more green areas in city centres intact and reducing distances by better concentration of functions. Achieving more compact cities can become an important part of sustainable development” (DURMISEVIC, 1999, p. 244).

demanda por espaços em subsolos (CICLO VIVO, 2016). A figura 8 apresenta exemplo desse tipo de cultivo, no qual lâmpadas elétricas são utilizadas para promover o desenvolvimento da vegetação.

Figura 7 – Salão dos Arcos no porão do Teatro Municipal de São Paulo (à esquerda) e estética localizada em subsolo de shopping na Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro, com vegetação interna.



Fonte: TRAMONTINA, TERRON, 2016



Fonte: CORBIOLI, 2014.

Figura 8– Exemplo de utilização de subsolos para cultivo de hortas no edifício Pátio Malzoni em São Paulo, Brasil.



Fonte: cortesia de RACHEL ADOLPHO.

No contexto brasileiro, também é percebido que a regulação de subsolos, por parte do poder público, é carente e desarticulada, embora a cidade de Porto Alegre ainda seja considerada exemplo de gestão dessas áreas (PACHECO, 2015). Há pesquisas que corroboram a necessidade de mais atenção sobre esse assunto no país, demonstrando o crescente interesse de pesquisadores na área, o que pode ser um ponto de partida para que o tema alcance os administradores públicos com mais força (CAMPOS *et al.*, 2006; RODRIGUES, 2009).

Embora represente grande potencial para a evolução do planejamento urbano das cidades, ainda há diversos aspectos a serem estudados para a melhoria da sua qualidade espacial. Frequentemente, quando estimuladas a refletir acerca do uso do espaço subterrâneo, as pessoas demonstram certa ansiedade e preocupação. Há estudos (KIM, KIM, 2010; DURMISEVIC, SARIYILDIZ, 2001) que revelam grande índice de insatisfação, nos aspectos psicológicos e fisiológicos, quanto à experiência dos usuários nos recintos abaixo da superfície. Esses índices comprovam a dificuldade de se projetar obras subterrâneas que proporcionem conforto ao indivíduo, o que, de modo geral, resulta em grande rejeição a esses locais quando propostos para uso mais prolongado.

Por diversas vezes o subsolo é relacionado a eventos fúnebres e a locais insalubres, de difícil orientação ou que podem colapsar estruturalmente. A falta de segurança é um fator apontado frequentemente e também é vivenciado por usuários brasileiros de passagens subterrâneas de pedestres, como as existentes em São Paulo (BRENDLER, 2016) e Brasília (BRASIL NOTÍCIA, 2014; ARNHOLD, 2018) (figura 9). Iluminação ineficiente, falta de manutenção e de limpeza demonstram a precariedade e a falta de controle dessas áreas e contribuem para o aumento das sensações de medo e de insegurança dos usuários. Em alguns casos, as passagens são bastante estreitas e, quando associadas aos fatores anteriormente citados, podem provocar sensação de encurralamento, contribuindo para a experiência negativa dos pedestres.

Figura 9– Exemplo de lugares subterrâneos inseguros: passagem de pedestres em Brasília.



Fonte: BRASIL NOTÍCIA, 2014.

Em Porto Alegre, foi realizado um breve estudo (FRANZ, MARTAU, 2016) sobre a percepção de uma amostra geral da população acerca de espaços localizados em

subsolos. A falta de contato com o ambiente natural foi apontada como um aspecto desagradável de áreas enterradas. Constatou-se ainda que a iluminação é a estratégia mais apontada pelos entrevistados como alternativa para a qualificação desses ambientes.

O uso da luz do sol apresenta-se como um recurso capaz de promover a melhoria dos aspectos qualitativos nos subsolos construídos ao garantir iluminação e contato com o meio natural, fatores tão requisitados. O emprego da luz natural, em quantidades adequadas, permite a utilização de certos tipos de vegetação nesses locais, somando esforços para a conexão entre os usuários e o mundo exterior. Sendo assim, fica evidente a importância de se investir em estudos que contribuam para a melhora da experiência dos usuários nos locais abaixo da superfície, principalmente quanto ao aproveitamento de elementos naturais, como a luz solar e a vegetação.

No entanto a utilização de áreas subterrâneas pode se tornar uma alternativa ineficiente, se os aspectos relativos à percepção humana não forem considerados em conjunto com os construtivos. Deve-se levar em conta, ainda, que os espaços abaixo da superfície jamais serão iguais àqueles localizados acima desta, com os quais os seres humanos estão naturalmente acostumados.

Diante disso, ressalta-se a importância da escolha das atividades que serão levadas a essas áreas, onde alguns aspectos de habitabilidade - como ventilação e iluminação naturais, contato com a dinâmica exterior e com a paisagem - exigem maior esforço para serem alcançados, geralmente implicando custo monetário mais elevado – um potencial excludente de populações de menor poder aquisitivo. Entretanto, se o uso dos espaços abaixo da superfície se destina a atividades de serviços e atividades públicas, a união de esforços facilita e possibilita a sua realização.

Sendo assim, nesta pesquisa adota-se posicionamento positivo para a utilização dessas áreas, desde que os aspectos construtivos e tecnológicos estejam aliados à percepção dos usuários – quando a atividade a ser estabelecida se destinar a eles. Diante desse contexto, entende-se que arquiteturas voltadas para habitação devem prioritariamente constituir-se acima da superfície, exceto as áreas residenciais de uso menos frequente, como garagens.

Obviamente, aspectos como iluminação natural e presença de vegetação - que implicam investimentos financeiros e tecnológicos - poderiam inviabilizar o projeto em locais de infraestrutura onde ocorre apenas acesso eventual de pessoas. Portanto, os aspectos aqui tratados quanto à percepção humana não devem ser generalizados a todos os subsolos, mas sim àqueles em que ocorre a permanência dos usuários.

A arquitetura é uma ferramenta para o bem-estar humano e somente cumpre seu papel quando atua para esse fim - quando o objetivo é o usuário, e não simplesmente o ato de construir e edificar, ou de apenas lucrar. Cidades compactas e sustentáveis são um importante caminho para viabilizar a qualidade de vida nas áreas urbanas, mas jamais se deve esquecer que os humanos precisam viver, e não apenas sobreviver.

2.2 | A IMPORTÂNCIA DA LUZ NATURAL PARA O SER HUMANO

Há indícios da importância da integração entre luz natural e o espaço que abriga o homem desde as primeiras grandes construções do mundo (ESPÍ, 1999). Nas civilizações mais antigas - como as do Egito, Grécia e Roma -, são encontrados vestígios da relação entre a arquitetura e o sol, que passa a fazer parte de espaços construídos até o século XVIII (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2013; HOBDA, 2006).

Com a Revolução Industrial, a população das cidades aumenta abruptamente. A arquitetura vive uma grande transformação, na qual a técnica e os novos materiais frequentemente passam a ser priorizados, produzindo ambientes construídos sem grande preocupação com o resultado estético do espaço ou com as necessidades dos indivíduos. A rápida e crescente demanda por construções para atender os novos trabalhadores da indústria cria um ambiente caracterizado por precárias condições de higiene (figura 10) (BENEVOLO, 2009). É quando ocorre a ruptura entre técnica e arte, e a luz natural, elemento que trazia emoção e habitabilidade para a arquitetura e que passa a ser negligenciado nos projetos (BOUBEKRI, 2014; LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2013; HOBDA, 2006).

Figura 10– Retrato das condições insalubres de Londres na Revolução Industrial.



Fonte: BENEVOLO, 2009, p. 560.

No final do século XIX, a invenção da primeira lâmpada incandescente comercializável, criada pelo norte-americano Thomas Edison, traz novamente luz à arquitetura, desta vez de forma elétrica (BOUBEKRI, 2014). Somente no início do século XX, o emprego da luz do sol é retomado como elemento protagonista na arquitetura, com o surgimento do Movimento Moderno. Um dos precursores desse movimento foi o arquiteto e urbanista francês Tony Garnier, que enfatizava o aproveitamento dos aspectos naturais - como a luz solar, a ventilação e a aproximação com a vegetação - na sua "*Cité Industrielle*", influenciando o arquiteto e urbanista franco-suíço Le Corbusier, um dos mais importantes arquitetos dessa época (FRAMPTON, 2008; HOBDAÏ, 2006).

Distribuindo energia cósmica, os efeitos do sol são ao mesmo tempo físicos e morais, e foram demasiadamente negligenciados em tempos recentes. Os resultados disso podem ser vistos no cemitério e nos sanatórios (Le Corbusier *apud* HOBDAÏ, 2006, p. 97)⁴.

Le Corbusier citava a falta da conciliação entre o sol e o ambiente construído como uma das causas para os altos índices de tuberculose registrados na época. Em virtude disso, ele ressaltava a importância desse elemento natural, além da ventilação natural, na arquitetura. A ventilação natural, dependendo do clima, esfria demasiadamente o ambiente interno, enquanto a luz natural e a aproximação com a vegetação – através de visuais para exterior, por exemplo – são as estratégias mais viáveis para qualificar a edificação, devido à sua simplicidade, e, portanto, passam a ser utilizadas com maior frequência.

A partir daí, muitos arquitetos modernistas começam a exaltar o uso da iluminação natural e a aproximação com a natureza como recurso importante para promover a higiene dos espaços internos e o bem-estar físico e mental dos usuários. A luz do sol passa a ser vista, até os dias de hoje, não somente como um meio de enfatizar as formas e a estética, mas como elemento de manutenção da saúde humana – modificando novamente o rumo da arquitetura (BOUBEKRI, 2014; FRAMPTON, 2008; HOBDAÏ, 2006; MARTAU, 2009).

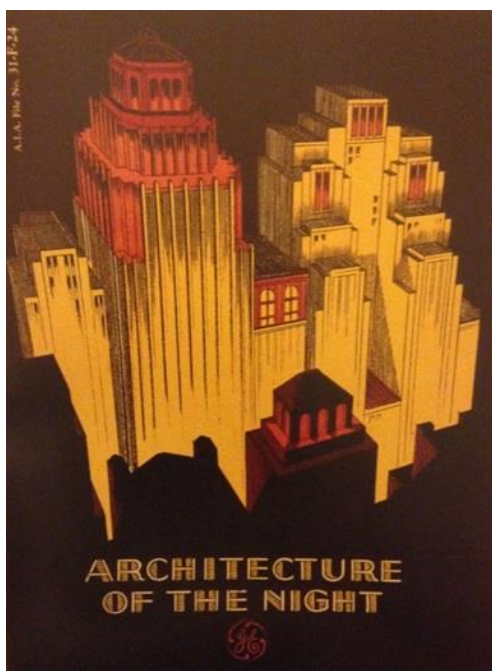
Vale ressaltar a importante contribuição deixada pelo luminotécnico Richard Kelly⁵. Ele valorizou a arquitetura internacional norte-americana através de seus projetos de iluminação elétrica, que banhavam com um *show* de luzes a vida noturna de cidades

⁴ Texto original: "Dolling out cosmic energy, the sun's effects are both physical and moral, and they have been too much neglected in recent times. The results of that neglect can be seen in cemetery and sanatorium" (HOBDAÏ, 2006, p. 97).

⁵ Richard Kelly executou assessorias inclusive no Brasil, como o projeto de iluminação da estátua do Cristo Redentor, localizada na cidade do Rio de Janeiro (RJ) e finalizada em 1964 (NEUMANN, 2010). Essa escultura é um marco referencial na cidade, representando a influência da arte de iluminar, que o profissional espalhou na arquitetura da época.

como Nova Iorque, onde se situa um dos exemplares modernistas mais famosos, o edifício Seagram, projetado pelo arquiteto alemão Ludwig Mies van der Rohe⁶ e finalizado em 1957 (figura 11) (NEUMANN, 2010). Kelly trabalhou em conjunto com outros importantes arquitetos do movimento moderno, como Louis Kahn, Philip Johnson e Eero Saarinen, o que denota sua influência na arquitetura daquela época.

Figura 11– Imagem de propaganda da General Electric (empresa fabricante de lâmpadas) na época, enfatizando o triunfo das luzes noturnas de Nova Iorque e o edifício Seagram como exemplo real deste show de luzes.



Fonte: NEUMANN, 2010, p. 17.



Fonte: ARCHDAILY, 2012.

O aproveitamento da luz elétrica toma um novo rumo e se torna parte importante do projeto da edificação. Ela começa a ser amplamente utilizada, não só como meio para se executar de modo adequado as tarefas diárias, mas também como ferramenta capaz de provocar sentimentos e definir atmosferas nos ambientes, tornando-se objeto de arte. Com a crise energética da década de 1970, no entanto, a arquitetura é levada a rever o emprego da luz elétrica. A evolução da tecnologia possibilitou, então, o desenvolvimento de lâmpadas que necessitavam de menor quantidade de energia elétrica (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2013), e a luz natural passou a ser vista também como um recurso para tornar os edifícios mais sustentáveis (BOUBEKRI, 2014).

Atualmente, os avanços da tecnologia disponibilizam aos projetistas novos *softwares* capazes de prever o comportamento da luz solar e elétrica de forma mais precisa (STERNER, 2016). Essas ferramentas têm modificado novamente a maneira de projetar,

⁶ Ludwig Mies van der Rohe foi um dos importantes nomes da arquitetura moderna (FRAMPTON, 2008).

na medida em que fornecem dados antes não acessíveis, como desempenho térmico do edifício e localização das áreas onde pode ocorrer excesso de luz natural ou sombreamento devido à falta desta. Os dados podem ser relativos a um horário específico de luz solar em um dia ou podem abranger a quantidade média ou total ao longo do ano, por exemplo. As ferramentas que auxiliam o modo de projetar utilizando a luz natural viabilizam a aproximação entre arquitetura e essa fonte de luz.

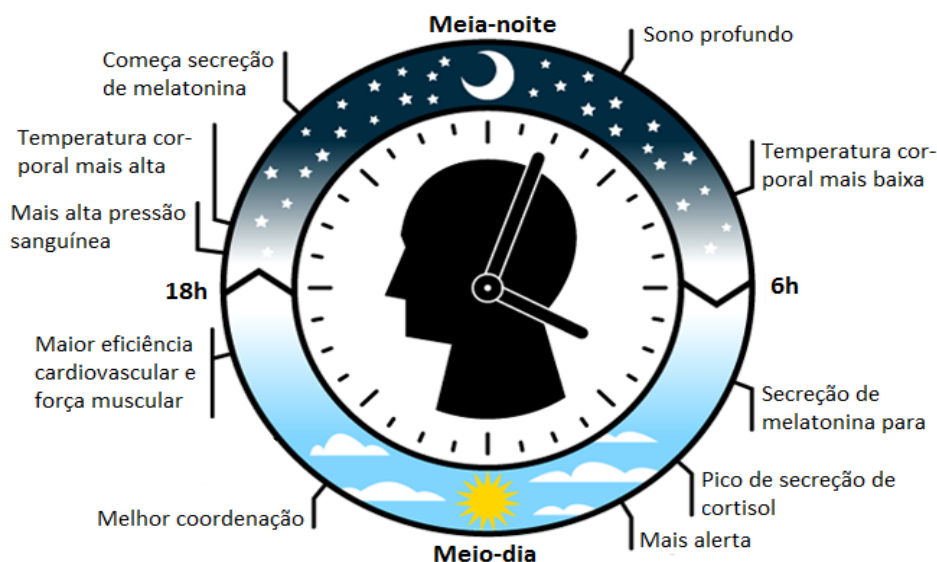
A preocupação com o desempenho das edificações se torna crescente devido ao panorama mundial, que clama por cidades mais sustentáveis diante da escassez de recursos e das previsões do aumento populacional. O desempenho do edifício, todavia, não é mais visto somente do ponto de vista energético, mas também em relação à capacidade de influenciar o bem-estar dos seus usuários. Segundo Boubekri (2014), tem aumentado a consciência a respeito do impacto do ambiente construído na vida dos seres humanos. Essa preocupação remete, novamente, à importância de se ter elementos naturais presentes na arquitetura, pois eles são capazes de provocar a melhora e a manutenção da saúde humana. A luz natural é vista, mais uma vez, como aliada da arquitetura para promover a saúde e o bem-estar dos seus usuários. Seres humanos saudáveis produzem mais e têm melhor desempenho nas suas atividades (BOUBEKRI, 2014; BOYCE, HUNTER, HOWLETT, 2003), o que, do ponto de vista econômico, também passa a ser importante para os gestores de empresas, por exemplo.

Atualmente, encontra-se grande quantidade de pesquisas que têm por objetivo o estudo da influência da luz natural na vida do homem (HOBDA, 2006; MARTAU, 2009; BOYCE, HUNTER, HOWLETT, 2003; HARB, HIDALGO, MARTAU, 2015; BOUBEKRI, 2014). Sabe-se, por exemplo, que a exposição da pele à luz solar estimula a produção de vitamina D, importante regulador da manutenção da saúde humana. No início dos anos 2000, cientistas descobriram que no olho também há um conjunto de células sensíveis à luz do dia (BRAINARD *et al.*, 2001; HANNIBAL *et al.*, 2002). Essas células localizam-se na retina e são responsáveis por regular o relógio biológico humano. Esse relógio é chamado de Ciclo Circadiano e controla diversos processos, entre eles a secreção de hormônios importantes, como a melatonina e o cortisol, responsáveis pelo ciclo de sono (dormir) e de vigília (acordar), indispensáveis para o equilíbrio e a adaptação do homem ao meio (figura 12).

A luz natural é o fator que mais influencia nesse processo, pois, conforme a quantidade de exposição, é secretado mais ou menos hormônio (MARTAU, 2009; HOBDA, 2006). O contato com a luz natural durante o dia e a necessidade de escuro à noite são

importantes para a regulação do ciclo biológico humano (HARB, HIDALGO, MARTAU, 2015; FUKSA, 2010; ROOS, 2015).

Figura 12– Funcionamento do relógio biológico humano.



Fonte: PILZ, 2014 adaptado de GLADSTONE INSTITUTES, 2016.

A interferência no Ciclo Circadiano por um período prolongado pode acarretar diversos problemas de saúde, tais como alteração do metabolismo, perda da qualidade do sono e aumento do nível de estresse, além de estar relacionada à ocorrência de doenças cardiovasculares, de câncer e de transtornos de humor, como a depressão (HARB, HIDALGO, MARTAU, 2015; HOBDA, 2006). Isso evidencia a importância do uso da luz natural na arquitetura, visto que a iluminação elétrica não contém as propriedades capazes de estimular o relógio biológico dos seres vivos com tamanha eficiência. Essas propriedades são encontradas na luz solar, que oferece o mais completo espectro de cores e, conseqüentemente, diferentes comprimentos de onda - característica responsável por influenciar o equilíbrio da saúde dos indivíduos, pois tem efeitos distintos no corpo humano, e por promover a melhor qualidade visual para a percepção do olho humano (MARTAU, 2009).

Essa característica faz da luz do sol a única fonte eletromagnética visível que possui o espectro mais benéfico ao ser humano. Ela é capaz, também, de variá-lo de acordo com as diferentes horas do dia, as diferentes estações do ano e as diferentes condições de clima – dinamismo essencial para o equilíbrio e manutenção dos seres vivos, o qual não consegue ser reproduzido com tamanha eficiência pela luz elétrica (MARTAU, 2009; BOYCE, HUNTER, HOWLETT, 2003). Cabe lembrar que, do mesmo modo, as plantas necessitam contato com a luz natural para regular o seu relógio biológico, e isso também deve ser considerado ao se projetar espaços com vegetação (SANCHEZ,

GOMES, 2016). Há pesquisas que apresentam tecnologias existentes capazes de variar a intensidade e o espectro da luz elétrica no interior das edificações (ROOS, 2015), porém ainda não se comparam ao espectro da luz do sol e exigem um custo maior devido à automação necessária.

Luz artificial é somente um pequeno momento na luz... Eu não consigo definir um espaço realmente como tal a menos que eu tenha luz natural. E é cada atmosfera criada ao longo do dia e as estações do ano que estão constantemente ajudando você a reconhecer um espaço como tal [...]. E a luz artificial [...] perde esta grande oportunidade⁷ (Louis Kahn *apud* MILLET, 1996, p. 161, traduzido e adaptado pela autora).

Em estudo recente realizado no Brasil (HARB, HIDALGO, MARTAU, 2015), concluiu-se que pessoas que trabalham em locais sem contato com a luz natural possuem maiores índices de cortisol e menores índices de melatonina à noite, se comparados aos das que exercem sua profissão em ambientes em contato com o exterior. A pesquisa mostrou que as alterações dessas taxas hormonais têm relação com a presença de sintomas depressivos e de baixa qualidade do sono. O estudo enfatiza ainda o aumento da probabilidade de esses indivíduos desenvolverem, no futuro, doenças relacionadas à falta de contato com a luz natural no período diurno. Os resultados indicam que o contato com a luz natural durante o dia é necessário para as necessidades fisiológicas do ser humano, e a sua falta pode acarretar disfunções no organismo humano, corroborando a importância de se levar iluminação natural aos espaços subterrâneos a fim de qualificar esses ambientes para seus usuários, principalmente aqueles que irão permanecer por longos períodos em áreas enterradas.

O uso da luz natural, quando possível, tem efeito positivo, desde o fornecimento de informações sobre o lado externo do mundo, trazendo dinâmica ao subsolo devido às mudanças de intensidade de luz e, em alguns casos, a contribuição para a melhora na orientação⁸ (DURMISEVIC, 1999, p. 242, traduzido e adaptado pela autora).

A arquitetura é feita para promover o bem-estar do homem, que necessita estar em contato com o meio que lhe é natural. A conexão entre a natureza e o ambiente construído é, portanto, essencial. Os avanços tecnológicos das últimas décadas, somados às descobertas acerca da importância da luz natural para a manutenção da saúde humana, impulsionam mais uma vez a evolução da maneira de construir. A

⁷ Texto original: "Artificial light is only a single moment in light. ... I can't define a space really as a space unless I have natural light. And that because the moods which are created by the time of day and seasons of the year are constantly helping you in evoking that [...]. And artificial light [...] loses one a great deal" (Louis Kahn *apud* MILLET, 1996, p. 161).

⁸ Texto original: "Using natural light as much as possible has a positive effect, since it gives information about the outside world, brings dynamic in underground due to light intensity changes and in some cases can contribute to better orientation" (DURMISEVIC, 1999, p. 242)

arquitetura incorpora novas formas e faz uso da tecnologia para levar iluminação natural ao interior das edificações. Os dutos de luz (*light pipes*) fazem parte desse panorama. Esses sistemas são desenvolvidos para a captação e condução da luz solar e representam uma importante alternativa para a iluminação dos espaços abaixo da superfície, que serão tratados neste estudo.

Há autores que ainda são cautelosos quanto ao uso dos subsolos e citam como uma das preocupações o aumento da utilização de iluminação elétrica e, conseqüentemente, o incremento do gasto energético (RÖNKA, RITOLA, RAUHALA, 1998; NISHI *et al.*, 2000). Esse aspecto traz, mais uma vez, a luz natural e o uso de dutos de luz como alternativa para aumentar a eficiência da edificação e demonstra a importância da evolução dos estudos nessa área.

A utilização da luz natural também precisa atentar para os aspectos negativos que o seu emprego inadequado pode provocar. A luz direta do sol é bem-vinda em alguns casos, como no uso de vegetação que exija esse tipo de luz. Para os seres humanos, contudo, esse contato, dependendo da quantidade de exposição, pode gerar danos ao tecido epitelial e até mesmo ao sistema visual. O ofuscamento⁹ também tem de ser evitado para que não provoque desconforto e dificuldade de execução das tarefas visuais humanas.

É preciso atenção, ainda, aos ganhos indesejados de carga térmica, fator potencializado com a utilização da luz direta do sol, uma vez que o raio luminoso também transporta esse tipo de energia. Essas questões podem ser controladas com a utilização de tecnologias e materiais adequados, a fim de proporcionar um lugar com luz natural de qualidade. A adoção de luz indireta, ou difusa, também se apresenta como uma alternativa, todavia a sua capacidade de transmissão a longas distâncias pode ser uma limitação.

2.3 | A IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO PARA O SER HUMANO

Como citado anteriormente, vários estudos comprovam a necessidade de aproximação dos seres humanos com o meio natural para a manutenção da sua saúde e do seu bem-estar (GRAHN, 1994; GRAHN, STIGSDOTTER, 2003; GRAHN, STIGSDOTTER, 2002; GRINDE, PATIL, 2009; BEUTE, KORT, 2014). Nesses estudos são apresentados diversos fatores da vida humana - como estresse, ansiedade, capacidade de concentração, maior ocorrência de doenças - que podem ser benéficamente influenciados pelo maior

⁹ Ofuscamento é a ocorrência de brilho excessivo da luz, que provoca dificuldade e incômodo visual, e pode, até mesmo, causar danos ao olho humano. Esse brilho excessivo provém de fonte luminosa ou da reflexão do raio luminoso (BOUBEKRI, 2014).

contato com a vegetação ou visuais de paisagens naturais (figura 13). Isso denota o grande potencial do seu uso para qualificar as experiências dos usuários de ambientes urbanos, como os subterrâneos.

Figura 13– Exemplo de área urbana com espaços de vegetação, Central Park em Nova Iorque, EUA.



Fonte: foto da autora.

De acordo com Grahn (1994), o contato com áreas verdes, por exemplo, é estimado pelos humanos desde os tempos antigos. Pouco antes da Era Cristã, Roma vivenciava rápido crescimento populacional e saturação da cidade. Nessa época, pensadores apontavam a necessidade de valorização do contato com áreas verdes visando aliviar o estresse urbano e promover o bem-estar e a saúde dos cidadãos. Segundo Grinde e Patil (2009), os primeiros hospitais europeus eram contemplados com jardins devido aos benefícios que poderiam causar na recuperação dos pacientes.

Do mesmo modo como ocorreu com a luz natural, a presença de áreas verdes nas grandes cidades sofreu grande declínio com o advento da Revolução Industrial e o rápido adensamento das cidades, que necessitavam de espaço extra a fim de atender às demandas da nova dinâmica urbana (figura 14). Questões de habitabilidade, como disponibilidade de espaços abertos, qualidade de vida urbana e saúde pública, tornaram-se motivo de preocupação e passaram a ser um dos grandes focos dos gestores públicos e de profissionais, como arquitetos e urbanistas, desde o século XVIII (GRAHN, 1994).

Figura 14– Trecho da cidade de Nova Iorque, EUA, encurralado pelas habitações e os usuários.



Fonte: JACOB RIIS 2016.

A presença de áreas ao ar livre e de lugares arborizados possibilita a renovação e a ventilação do ar, o acesso da luz natural e locais para circulação, cultura e lazer. Esse conjunto de estratégias auxilia na higienização e na promoção da qualidade de vida urbana. Embora atualmente viva em cidades e edificações, o homem tem necessidade de estar perto da natureza, que lhe confere bem-estar e que faz parte do seu habitat natural.

Para sobreviver e se reproduzir na natureza, o ser humano deve ser capaz de procurar alimento e água, e de proteger a si e a sua prole dos predadores e das intempéries. Isto significa que os humanos devem ser capazes de identificar as possibilidades e os obstáculos no ambiente natural [...]. Isso requer que os indivíduos compreendam as mensagens da natureza, muitas vezes numa fração de segundos [...]. Essa mensagem pode ser simplesmente uma espontânea e inconsciente resposta a um estímulo natural de perigo ou segurança. [...] O cérebro tem dois tipos de atenção: a *atenção direta*, que é parte do nosso centro cognitivo superior, e a *tênue atração*, que está ligada à área antiga do cérebro. A natureza contém muito pouca informação que pode ser classificada e avaliada [...]. Assim, os nossos centros cognitivos superiores podem descansar, enquanto as regiões antigas do cérebro são estimuladas¹⁰ (GRAHN, STIGSDOTTER, 2003, p. 4, traduzido e adaptado pela autora).

¹⁰ Texto original: “To survive and reproduce in the wild, humans must be able to look for food and water, and protect themselves and their offspring from predators and the elements. This means that humans must be able to read the possibilities and obstacles of the natural environment [...]. This requires that individuals grasp the messages of nature, often in a fraction of a second. [...] This message may be a matter of a spontaneous and unconscious response to natural stimuli signaling danger or safety. [...] The

A necessidade que o homem tem de aproximação com esses ambientes está relacionada às suas memórias genéticas ancestrais, sendo ele, portanto, hereditariamente adaptado ao meio natural (GRAHN, 1994). Uma das explicações para esse fato é que a mente humana possui dois tipos de atenção: a direta (voluntária) e a indireta (involuntária). A direta está ligada à parte cognitiva do cérebro, responsável por atender às demandas mentais diárias, e possui limite de atuação (RAANAAS *et al.*, 2011). Seu uso constante pode levar à fadiga mental, ocasionando estresse do indivíduo.

A atenção indireta, ou “atração tênue”, é processada mais rapidamente no cérebro (DIJKSTRA, PIETERSE, PRUYN, 2008) e é ativada através da visualização ou do contato com paisagens da natureza. Essa atenção está relacionada à memória ancestral que o ser humano possui e entra em ação instintivamente, sem exigir esforço (GRAHN, STIGSDOTTER, 2003). Quando ativada, ela restaura a atenção direta, permitindo que esta “descanse”, o que provoca a quebra do ciclo de estresse do indivíduo e o restabelecimento da sua capacidade mental (GRINDE, PATIL, 2009).

O contato com paisagens naturais também é capaz de instigar pensamentos e emoções positivas, auxiliando na renovação do bem-estar dos seres humanos, o que demonstra a influência desses elementos não somente no âmbito fisiológico, mas também no psicológico (TSUNETSUGO *et al.*, 2013; BRINGSLIMARK, HARTIG, PATIL, 2007; DIJKSTRA, PIETERSE, PRUYN, 2008).

Nesse sentido, segundo Grinde e Patil (2009, p. 4), “a falta de plantas sugere um ambiente não natural e potencialmente inseguro”, sugerindo que cidades desprovidas de ambientes arborizados oferecem, portanto, grande potencial para o aumento do estresse dos indivíduos que ali vivem. A vida nas cidades traz uma série de eventos e de informações que o homem não apresenta capacidade para lidar naturalmente, exigindo-lhe esforços constantes. Diante desse contexto, o estresse é trazido à tona como um mal da sociedade moderna e é relacionado à ocorrência de diversos distúrbios de saúde (GRAHN, STIGSDOTTER, 2003), como aumento de doenças cardiovasculares, de desordens mentais, de ansiedade, de mau-humor, de tensão e diminuição da capacidade de concentração e de produção (TSUNETSUGO *et al.*, 2013; BRINGSLIMARK, HARTING, PATIL, 2007).

brain has two types of attention: directed attention, which is part of our higher cognitive centers, and soft fascination, which is linked to the old parts of the brain. Nature contains very little information that must be sorted and assessed [...]. Our higher cognitive centers can therefore rest, while the old regions of the brain are stimulated”¹⁰ (GRAHN, STIGSDOTTER, 2003, p. 4).

A saúde pública deve ser preocupação dos administradores dos centros urbanos; um exemplo disso é o que ocorre na Suécia, onde têm sido feitos altos investimentos financeiros para o tratamento da depressão (GRAHN, STIGSDOTTER, 2003). Essa disfunção está relacionada ao grande nível de estresse vivenciado nas cidades contemporâneas, o qual também pode provocar diversas alterações hormonais no corpo humano.

Se o estado de estresse se mantém constante, provoca doenças e efeitos negativos na saúde mental e física dos indivíduos. Por outro lado, a existência de áreas verdes públicas e de fácil acesso nas cidades pode auxiliar no processo de renovação do bem-estar (GRAHN, STIGSDOTTER, 2003), promovendo sensação de segurança que, por sua vez, possibilita ao corpo humano relaxar e restaurar-se para enfrentar novamente os desafios diários dos grandes centros urbanos. A falta de acessibilidade, a precariedade ou a inexistência dessas áreas, contudo, são um entrave à qualidade de vida nas áreas urbanas.

A memória genética está tão fortemente presente que apenas o emprego de imagens e filmes de natureza é capaz de provocar efeitos positivos na mente humana. Grahn (1994) aponta que imagens de paisagens provocam sensação de relaxamento e são mais atrativas que as de cidades sem verde, e que pessoas com determinado nível de estresse rapidamente relaxam ao visualizar filmes com esse tema. Grinde e Patil (2009) também destacam o grande potencial que a visualização de paisagens naturais pode ter na promoção da saúde humana, principalmente para os usuários de ambientes internos das edificações.

Dijkstra, Pieterse e Pruyn (2008) utilizaram imagens de dois ambientes internos (quarto de hospital) que apresentavam, respectivamente, vegetação e quadro com paisagem urbana, valendo-se do estímulo visual a fim de verificar os efeitos na redução do estresse dos voluntários. O ambiente com presença de espécies vegetais teve maior influência na redução do estresse e também foi considerado mais atrativo.

Dependendo da imagem, o efeito pode não ser tão eficaz. Por exemplo, imagens de florestas sombrias e mais fechadas (figura 15) não apresentam resultado igualmente benéfico tanto quanto imagens de paisagens com maior visibilidade do céu e mais iluminadas (figura 16) (GRAHN, 1994). Neste momento, aproveita-se para convidar o leitor a refletir acerca das sensações vivenciadas ao visualizar as imagens apresentadas na sequência.

Figura 15 – Exemplo de floresta sombria e mais fechada, localizada na região da Floresta Negra, na Alemanha.



Fonte: BORGES, 2014.

Figura 16– Exemplo de paisagem natural a céu aberto, Praia da Ferrugem, Santa Catarina, Brasil.



Fonte: foto da autora.

O uso de imagens é uma alternativa que pode ser aplicada em locais onde a visualização e o contato com a paisagem não são possíveis. Em espaçonaves utilizadas na exploração de áreas fora da órbita terrestre, foram experimentadas imagens de elementos naturais para promover a diminuição do nível de estresse dos astronautas, obtendo-se resultados satisfatórios (GRAHN, 1994). Ainda assim, ressalta-se que os retratos de paisagens não substituem os efeitos do contato com a natureza e da vivência próxima a ela. Esses ambientes proporcionam experiência mais estimulante, pois instigam outros sentidos como o olfato, a audição e o tato, além de promover a benéfica exposição à luz natural. No caso de praças e parques, há a possibilidade, ainda, de realizar exercícios, participar de atividades culturais e ter o contato com ar fresco, que atuam também na diminuição do estresse (GRAHN, STIGSDOTTER, 2003).

Wolch, Byrne e Newell (2014) destacam os efeitos positivos da aproximação com áreas verdes, como aumento da percepção de segurança e de pertencimento, promoção de interação social e diminuição do déficit de atenção em crianças. Os autores também evidenciam a relação de áreas verdes urbanas com a diminuição dos índices de obesidade, um dos grandes desafios da saúde mundial (WHO, 2018), na medida em que possibilitam a prática de exercício em locais mais atrativos e contemplativos.

Tsunetsugu *et al.* (2013) apontam que paisagens urbanas impactam de forma diferente quando comparadas a paisagens naturais. Nesse estudo, constatou-se piora do humor das pessoas em apenas 15 minutos de exposição à paisagem urbana. Quando despendido em contato com paisagens naturais, esse mesmo intervalo de tempo mostrou-se capaz de trazer benefícios à saúde dos humanos, como redução dos níveis de estresse e de ansiedade, melhora no humor e diminuição da pressão arterial. O resultado do estudo converge para a necessidade da existência de áreas vegetadas distribuídas uniformemente nas cidades, a fim de que todos consigam acessá-las em pequeno intervalo de tempo e, assim, usufruir das suas vantagens.

Pessoas que passam longos períodos em áreas com natureza e afastadas da cidade aumentam a capacidade dos sentidos como o olfato e a visão, além de apresentarem melhora na capacidade de concentração (GRAHN, 1994). Entretanto, é preciso ressaltar que a vida nos grandes centros urbanos é um fenômeno instalado e irreversível, ainda mais diante das previsões do aumento populacional. Sendo assim, cabe aos gestores públicos e aos profissionais da área a união de esforços para planejar e organizar as cidades da melhor forma possível, promovendo a aproximação com o meio natural e priorizando o bem-estar e a qualidade de vida dos cidadãos.

[...] O corpo [humano], conscientemente e inconscientemente, apresenta uma variedade de informações que favorece o estresse ou a recuperação. Deve, portanto, ser possível projetar um ambiente que contribui para uma condição positiva de saúde e bem-estar¹¹ (GRAHN, STIGSDOTTER, 2003, p. 3, traduzido e adaptado pela autora).

Além da grande importância para a saúde e para a manutenção do bem-estar humano, as áreas verdes também desempenham função relevante no desenvolvimento das cidades. A vegetação contribui para a melhoria de fatores como a qualidade do ar, amenizando a poluição; a contenção de águas das chuvas; o sombreamento de áreas muito quentes; a atenuação de ruídos e das temperaturas; a manutenção do microclima e, portanto, do ecossistema urbano (WOLCH, BYRNE, NEWELL, 2014). Para ser efetiva, todavia, sua aplicação tem de ser adaptada a cada atividade e à cultura local, a fim de promover um ambiente urbano saudável e atrativo, mas também seguro, equilibrado e de fácil manutenção.

No entanto, áreas verdes, quando bem projetadas e cuidadas, valorizam o entorno, elevando o custo de aquisição dos imóveis, o que implica a exclusão de uma parcela da população que não dispõe de condições econômicas para adquiri-los. Esse fenômeno gera um paradoxo para o planejamento urbano, que precisa conter a especulação imobiliária ao passo que necessita estimular a existência dessas áreas. Nesse sentido, Wolch, Byrne e Newell (2014) afirmam que a busca por cidades mais sustentáveis e igualitárias também estabelece a necessidade da união de esforços entre os gestores públicos, os planejadores urbanos, os profissionais envolvidos e a própria população para distribuir de modo mais uniforme a vegetação nas áreas públicas dos centros urbanos, promovendo um meio urbano saudável e atrativo para todos e que, ao mesmo tempo, esteja de acordo com a necessidade de cada grupo de usuários.

A utilização de agricultura urbana e de jardins comunitários também se apresenta como recurso interessante, visto que aproveita a grande vantagem que esses elementos oferecem para o suprimento da alimentação humana. Como exemplo, pode-se citar um restaurante na cidade norte-americana de Nova Iorque, que mantém a sua própria horta - a cor verde e o espaço aberto contrastam com o ambiente edificado (figura 17) (RIVERPARK FARM, 2016). No Brasil, o terraço de um edifício localizado no centro densamente construído de Porto Alegre (figura 17) abriga uma horta urbana mantida por um grupo participante de movimentos sociais da cidade (COLUSSI, 2016). A utilização do espaço urbano para a produção de alimentos também pode ser atrativa para as áreas de concentração de população de menor renda, visto que, além de gerar

¹¹ Texto original: “[...] the body, consciously and unconsciously, integrates a variety of information that supports either stress or recovery. It should, then, be possible to design an environment that contributes to a positive condition of health and well-being” (GRAHN, STIGSDOTTER, 2003, p. 3).

subsídios para seu sustento, é capaz de atrair moradores de áreas mais abastadas para a compra de alimentos frescos e saudáveis.

Figura 17– Exemplos de agricultura urbana em terraços nos EUA (à esquerda) e no Brasil (à direita).



Fonte: ARCHITIZER, 2016



Fonte: COLUSSI, 2016

Readequar espaços abandonados ou subutilizados existentes nas cidades também possibilita a criação de novas áreas verdes (WOLCH, BYRNE, NEWELL, 2014). Um dos exemplos talvez mais conhecidos mundialmente é a *High Line*, em Nova Iorque, EUA (figura 18). O parque linear foi instalado em uma antiga linha aérea de trem que estava abandonada, favorecendo a manutenção do ecossistema local e promovendo espaço de qualidade para a prática de exercícios, contemplação da natureza e eventos culturais.

Figura 18– Exemplo de execução de áreas verdes e de lazer em áreas urbanas subutilizadas.



Fonte: ARCHDAILY, 2013

Groenewegen *et al.* (2006) desenvolveram uma pesquisa na Holanda para verificar a influência do contato com áreas verdes na promoção da saúde, do bem-estar e da segurança social humana. Além de fatores já mencionados anteriormente, como a redução do estresse, constatou-se que o contato com áreas vegetadas também pode ter relação com o aumento da segurança social e com a diminuição de sentimentos como raiva e frustração e de atitudes agressivas e criminais.

Áreas vegetadas evocam sentimento de segurança quando passam por manutenções adequadas e periódicas, voltadas a manter sua limpeza e aparência estética para que continuem atrativas. Áreas arborizadas com aspecto degradado e vegetação sem corte (que pode, inclusive, transformar-se em obstáculo visual e físico) são capazes de provocar sentimento oposto nos usuários, afastando-os e abrindo espaço para a marginalidade, como tráfico de drogas e ocorrência de outros crimes. O sentimento de segurança é trazido à tona quando áreas de praças e parques propiciam espaço para a interação social, aproximando os usuários do seu recinto, mas desde que o local seja atrativo. Portanto, o potencial benéfico dos locais com vegetação está atrelado à capacidade de os seus administradores de mantê-los atrativos, limpos e bem iluminados. Do contrário, serão criadas mais áreas para depreciação do território e da qualidade de vida urbana.

Até o momento, tratou-se do uso de elementos naturais em áreas urbanas e de seus benefícios para a saúde humana. Mas, voltando o olhar para a escala de uma edificação, quais as possibilidades e os efeitos dessa interação? Estudos relatam outros benefícios que o contato com elementos naturais pode causar nos seres humanos em recintos internos. Em locais de trabalho, por exemplo, constataram-se diminuição do estresse e aumento da produtividade dos usuários da edificação quando há visual para área exterior (GRAHN, 1994; BOYCE *et al.*, 2003; HARB, HIDALGO, MARTAU, 2015). Raanaas *et al.* (2011) verificaram (em ambiente criado para experimento) que a presença de plantas, associada a pequenos intervalos entre tarefas, pode colaborar para o aumento da capacidade cognitiva dos humanos, melhorando sua atenção nas atividades a serem executadas. A presença de vegetação em locais de trabalho reais também foi relacionada ao aumento da produtividade e à diminuição de faltas por motivo de saúde (BRINGSLIMARK, HARTIG, PATIL, 2007).

Não é somente nos ambientes profissionais que tais benefícios podem ser percebidos. Pacientes hospitalares, por exemplo, demonstraram recuperação mais rápida e diminuição da pressão arterial, além da melhora da saúde mental e hormonal, quando submetidos a contato com a natureza. (GRAHN, 1994). Em quarto de hospital destinado a pacientes em recuperação pós-cirúrgica, a presença de vegetação no local foi

relacionada à diminuição do tempo de internação, do uso de analgésicos, de ocorrência de dor, ansiedade e fadiga, bem como ao aumento de pensamentos positivos e de satisfação em relação ao ambiente (PARK, MATTSON, 2009).

Em recintos internos, a presença de vegetação tem a capacidade de tornar o ambiente mais saudável e agradável, como no caso de hospitais (PARK, MATTSON, 2009). Um exemplo é a rede brasileira de hospitais de reabilitação Sarah Kubitschek, projetada pelo renomado arquiteto João Filgueiras Lima¹², cujos croquis arquitetônicos tinham a vegetação como importante elemento de composição (figuras 19 e 20). Quando utilizada adequadamente, a vegetação é capaz de promover a renovação e a melhoria da qualidade do ar, fator importante em locais com alta concentração de microrganismos - como hospitais - e de poluição - como estações de metrô. Entretanto, deve-se ter especial cuidado na escolha das espécies vegetais para que não elas provoquem alergias e desconforto aos usuários, nem atraiam insetos, predadores e outros seres vivos indesejáveis.

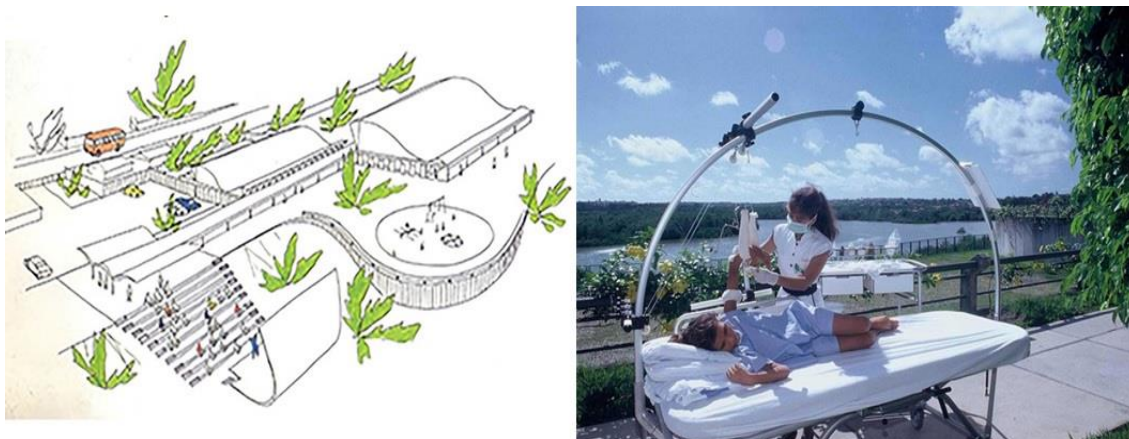
Figura 19– Exemplo de hospital com jardim interno em Fortaleza, Brasil.



Fonte: REDE SARAH DE HOSPITAIS DE REABILITAÇÃO, 2016.

¹² Lelé, ou João Filgueiras Lima, foi um grande nome da arquitetura moderna brasileira e frequentemente projetava edificações aliando o ambiente interno ao uso de vegetação e luz natural, na busca por uma arquitetura mais eficiente energeticamente e mais sustentável.

Figura 20– Exemplo de contato com a natureza desde a concepção do projeto arquitetônico e no tratamento dos paciente em hospital em São Luís, Brasil.



Fonte: REDE SARAH DE HOSPITAIS DE REABILITAÇÃO, 2016.

Diante da crise energética mundial e da busca por cidades mais sustentáveis, o emprego de vegetação também instiga estudos quanto ao seu potencial para produção de energia limpa e renovável, somando seus benefícios para a vida humana. A estudante Elena Mitrofanova e o bioquímico Paolo Bombelli¹³ criaram uma fachada composta por módulos cerâmicos que acomodam espécies vegetais responsáveis pela produção de eletricidade através da fotossíntese (figura 21) (ARCHDAILY, 2016).

Figura 21– Imagem ilustrativa do projeto de geração de eletricidade através da fotossíntese vegetal.

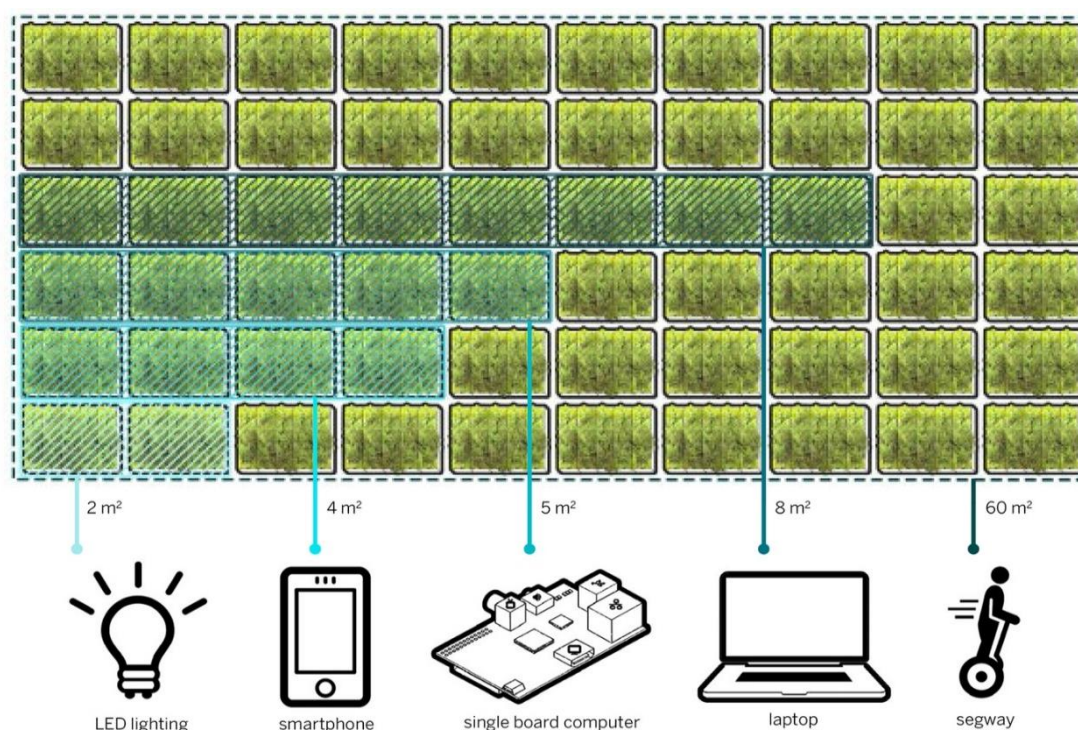


Fonte: ARCHDAILY, 2016.

¹³ Elena Mitrofanova é estudante do Institute for Advanced Architecture of Catalonia (Barcelona, Espanha) e o pós-doutor Paolo Bombelli é bioquímico e pesquisador da Universidade de Cambridge (Cambridge, Inglaterra) (ARCHDAILY, 2016).

Esse sistema é capaz de gerar energia para a utilização de lâmpadas de LED e carregar aparelhos eletrônicos, como celular ou *notebooks*. São necessárias, porém, grandes áreas de vegetação para se produzir eletricidade (figura 22), o que pode levar à limitação ou à inviabilização do projeto caso não sejam disponibilizados espaço e condições ambientais necessários para sua aplicação. Também deve ser avaliado o custo da implementação desse projeto, a fim de verificar se a eletricidade gerada compensará os esforços despendidos para sua implementação. Ainda assim, ressalta-se a relevância do estudo, pois ele instiga a busca por tecnologias capazes de viabilizar a sua larga aplicação.

Figura 22– Quadro da quantidade de área necessária de vegetação para gerar energia para determinados aparelhos eletrônicos.



Fonte: ARCHDAILY, 2016.

Nota-se que diversos estudos sustentam a aproximação com a natureza como fator benéfico para o bem-estar físico e mental do homem e como elemento capaz de proporcionar a melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas. A presença de vegetação revela-se uma alternativa com grande potencial para minimizar as frequentes experiências negativas dos usuários de lugares subterrâneos, principalmente dos trabalhadores que permanecem por longos períodos nessas áreas. É preciso haver, entretanto, a manutenção regular da vegetação para manter o local seguro e atrativo, estimulando seu aproveitamento e a interação social. Ressalta-se também que a escolha das espécies deve ser criteriosa a fim de facilitar o cuidado e afastar o risco de irritações alérgicas nos usuários.

2.4 | LUZ NATURAL E VEGETAÇÃO PARA QUALIFICAÇÃO DA EXPERIÊNCIA DOS USUÁRIOS DE ARQUITETURAS SUBTERRÂNEAS DE PORTO ALEGRE

Conforme apontado anteriormente, o uso do espaço subterrâneo é crescente no cenário brasileiro. Entretanto, esses ambientes ainda necessitam de estratégias de projeto que qualifiquem as experiências dos seus usuários. Somado a isso, encontramos um país em estado crítico quando levada em consideração a crise energética pela qual passa (SUGIMOTO, 2014; INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2014; GARCIA, 2015; PAMPLONA, 2017). Essa situação ocorre em Porto Alegre, que, além disso, também teve aumento de mais de 40% das tarifas de utilização de energia elétrica recentemente (QUINTANA, 2017; COMUNELLO, 2018). Diante desse quadro, o emprego da luz natural representa uma alternativa para enfrentar essas dificuldades.

Como apresentado anteriormente, um dos aspectos causadores de desconforto nos usuários de espaços subterrâneos é a carência de estratégias que conectem o indivíduo ao seu meio natural. Na superfície, o nosso elemento-guia desde o início da vida humana é, sem dúvida alguma, a luz do sol, que nos orienta quanto ao tempo, ao clima e à sua localização, quando possível.

A presença de vegetação também é capaz de conectar os seres vivos ao mundo do qual fazem parte, ativando sua memória ancestral e a renovação do bem-estar humano. Entretanto, para alguma espécie vegetal sobreviver em espaços subterrâneos, necessita-se ao menos uma iluminância¹⁴ de 300 lux durante o fotoperíodo¹⁵, que, em Porto Alegre, por exemplo, varia entre 14h04min e 10h13min (KAMPF, 2005). Como levar a luz natural a esses espaços profundos? Como ter a quantidade de luz suficiente nessas condições para que a vegetação sobreviva?

Na superfície, os elementos de passagem de luz natural, como aberturas laterais ou zenitais, são mais facilmente projetados. Quando mergulhamos em arquiteturas enterradas e sem contato com a superfície, é necessário lançar mão de maior tecnologia, voltando os esforços para o projeto de elementos capazes de captar a luz e conduzi-la a muitos metros de profundidade.

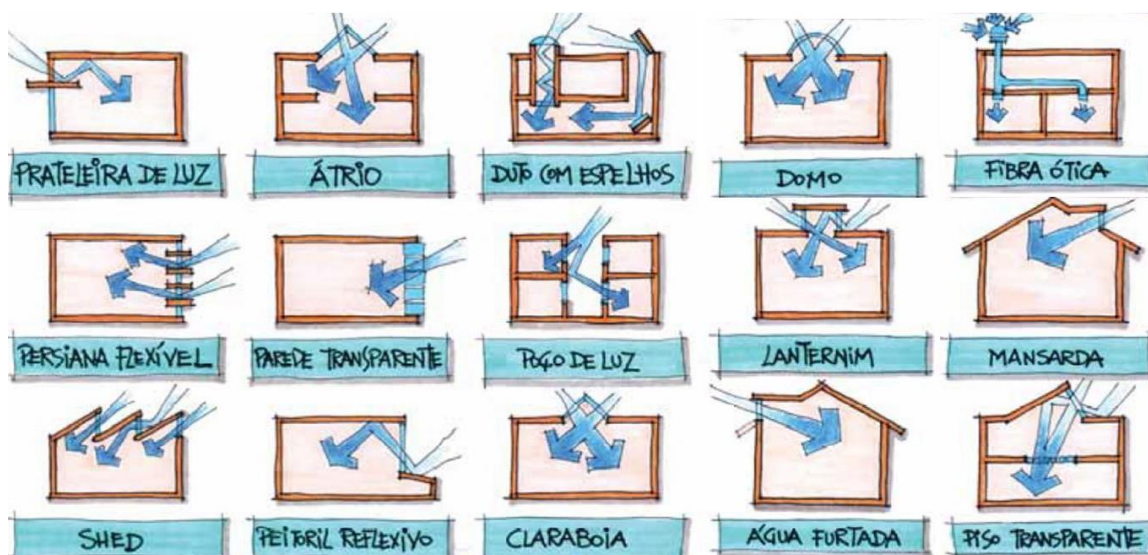
A partir das constatações acima, formulam-se alguns questionamentos que a revisão teórica deste trabalho pretende responder: como conduzir a luz natural e distribuí-la para as zonas abaixo da superfície? Quais são as tecnologias hoje disponíveis aos arquitetos?

¹⁴ Iluminância é a quantidade de luz que chega a uma superfície e é medida em lux.

¹⁵ Fotoperíodo é a quantidade de horas que compreende a fase diurna, ínterim em que há exposição à luz natural. Esse período varia de acordo com a localização geográfica e com o período do ano.

Segundo Russel (2008), o acesso da luz natural ao interior das edificações pode ser realizado por sistemas de captação de luz de topo ou laterais (Figura 23). O objeto de estudo desta pesquisa será o sistema de captação de topo, pois é a maneira possível de uso para os espaços subterrâneos profundos.

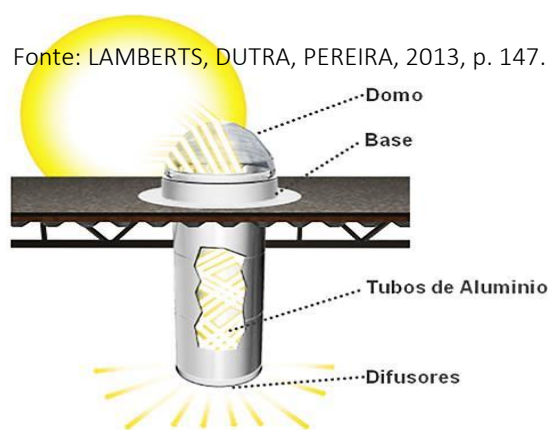
Figura 23 – Exemplos de sistemas de captação de luz: de topo e laterais.



Fonte: LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2013, p. 147, adaptado pela autora.

Os sistemas de captação de luz no sentido vertical são classificados em: elementos de passagem (zenitais) e elementos condutores da luz (TOLEDO, 2008). Segundo Luz (2009), os sistemas que conduzem a iluminação natural apresentam grande capacidade de transporte da luz a pontos distantes do local onde ela está sendo captada, tendo, portanto, vasto potencial de aplicação nas zonas subterrâneas afastadas da superfície. Esses elementos captadores e condutores de luz natural também são conhecidos como dutos de luz ou *light pipes*, em inglês (figura 24).

Figura 24 – Exemplo de sistema de captação condução e distribuição de luz natural.



Fonte: LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2013, p. 147.

Fonte: MARKUS, 2018.

As tecnologias disponíveis para captação e condução da luz natural a longas distâncias e que são passíveis de aplicação em espaços subterrâneos podem incluir sistemas híbridos, nos quais se utiliza luz natural em conjunto com a luz elétrica (MAYHOUB, CARTER, 2008; HANSEN, EDMONDS, 2003; LUZ, 2009; BOUBEKRI, 2014). Inicialmente, notam-se três itens importantes na escolha da tecnologia mais apropriada: o tipo de céu ao qual estará submetido o captador de luz, a quantidade de luz desejada no destino final e a distância a ser percorrida até o destino final – os dois últimos referem-se à escolha do tipo de condutor de luz natural.

Quanto ao tipo de céu, é preciso ressaltar a importância de estudos locais sobre esse tipo de tecnologia, pois cada latitude e longitude apresentam características de iluminação natural e de fotoperíodo diferentes. Esses aspectos implicam o diferenciado comportamento da luz do sol em cada lugar. É necessário, portanto, estudo específico que vise identificar o conjunto de tecnologias mais apropriado e eficiente para atender a cada particularidade do ambiente a ser analisado.

Os sistemas de captação e condução da luz do sol já são utilizados em diversos países europeus (BOUBEKRI, 2014), onde a predominância de dias nublados é recorrente. Qual o motivo para não serem utilizados no Brasil, onde se tem esse recurso em abundância? Uma das razões pode ser o número escasso de estudos referentes a esse assunto, o que também instiga a presente pesquisa.

Este trabalho tem por objetivo abordar o contexto da cidade de Porto Alegre e explorar o comportamento de sistemas de captação e condução de luz no âmbito em que a capital gaúcha está inserida. Há poucos estudos a respeito de dutos de luz no país, e os analisados tratam de dutos com pequena distância de transporte de luz natural (ARRIGONE, MUTTI, 2008; SILVA, 2005; TOLEDO, 2013; SOTO, 2010; FANTINELLI, 2005). Luz (2009), entretanto, explorou dutos mais profundos, mas os resultados obtidos apresentaram baixa eficiência. Nesse caso, os dutos não possuíam um sistema de captação que pudesse aumentar o desempenho do conjunto. No Brasil, até o presente momento, desconhecem-se estudos que associem esses dois elementos, bem como pesquisas sobre o comportamento dessas tecnologias associadas ao uso de vegetação. Esses sistemas também não foram testados no âmbito da cidade de Porto Alegre, evidenciando lacunas existentes acerca do tema.

Essa tecnologia poderia ser utilizada nas estações de metrô, meio de transporte que vem sendo implantado nas grandes cidades do país e que foi estudado e discutido para implementação em Porto Alegre (figura 25) (PORTO ALEGRE, 2016). Também há estudos para a implantação de estacionamentos subterrâneos na capital gaúcha, os quais poderão usufruir dos benefícios dessas tecnologias (SIMON, 2010, 2011a, 2011b).

Esses estudos foram realizados em áreas centrais e históricas da cidade: o Largo Glênio Peres (situado em frente ao Mercado Público) e o Parque Ramiro Souto (próximo ao Auditório Araújo Viana, no Parque Farroupilha, importantes símbolos da cultura local). O intuito desses projetos seria aliviar as ruas para a utilização dos pedestres e trazer maior fluidez ao trânsito (VARGAS, 2017). Essa estratégia também viabilizaria a criação de novos espaços na superfície para a realização de atividades de lazer, escassas nessa área.

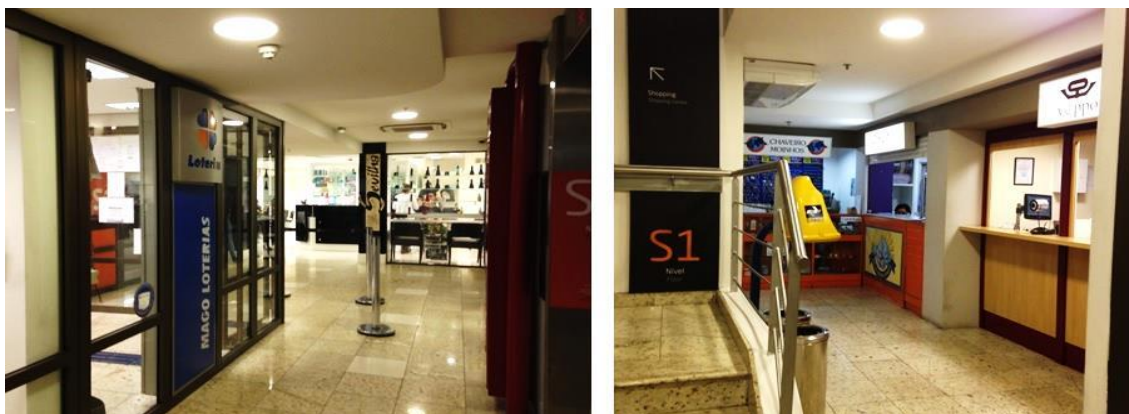
Figura 25 – Mapa do trajeto do metrô estudado para Porto Alegre.



Fonte: PORTO ALEGRE, 2016.

Em Porto Alegre, existem ambientes subterrâneos onde há estabelecimentos comerciais e de serviços sem contato visual com o meio exterior, o que atesta a necessidade de se repensar esses projetos e aponta o risco iminente de saúde dos funcionários, que permanecem por longas horas nesses locais. Pode-se citar, por exemplo, o Moinhos Shopping, onde diversas lojas no subsolo compartilham o pavimento com estacionamentos e outras infraestruturas do centro comercial (figura 26). Outro exemplo é o Departamento Municipal de Água e Esgoto da cidade, que tem parte de seus técnicos trabalhando diariamente em área subterrânea. Nesse caso, apenas os trabalhadores que ficam próximos à porta de acesso à edificação têm contato com a área externa (figura 27).

Figura 26 – Exemplo de áreas comerciais sem contato com exterior e com permanência de funcionários, localizadas no subsolo do Moinhos Shopping, Porto Alegre.



Fonte: a autora.

Figura 27 – Exemplo de área subterrânea onde apenas os trabalhadores próximos à porta de acesso possuem contato (parcial) com o meio externo.



Fonte: foto da autora.

A ventilação nos ambientes citados é um aspecto muito importante a ser destacado, mas atualmente há tecnologias que respondem com qualidade à ventilação mecânica de locais internos e, portanto, esse tópico não será objeto da pesquisa. Esses sistemas de ventilação podem, inclusive, fazer parte do processo de captação e condução da luz natural, através de uma tecnologia híbrida, vindo a servir de elemento para futuras pesquisas.

Capítulo 3 | SISTEMAS DE CAPTAÇÃO, CONDUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE LUZ NATURAL

Os Sistemas de Captação, Condução e Distribuição de Luz Natural (SCCDLN¹⁶) funcionam como canalizadores de luz, conduzindo-a a longas distâncias como se fosse líquida. A luz é captada no ambiente externo e levada até o interior da edificação através de dutos que possuem alta refletância internamente, característica que permite a condução da luz de maneira eficiente até seu destino final. Tais sistemas são capazes de promover a iluminação natural de locais profundos e onde o uso de janelas é inapropriado ou de difícil execução, como nos espaços subterrâneos.

Na figura 28, podem-se observar exemplos desses sistemas. À esquerda, tem-se um esquema de funcionamento de um heliostato - captadores espelhados que se posicionam conforme o movimento do sol para desviar a luz na direção do duto, distribuindo-a no interior da edificação. Na imagem da direita, vê-se um exemplo de captação de luz solar por meio de abertura (zenital) na cobertura, que permite a passagem da iluminação natural para o duto que a conduz ao longo da edificação, iluminando espaços profundos e espaços sem janelas.

Figura 28 – Exemplos de SCCDLN utilizados em projetos da empresa Heliobus.

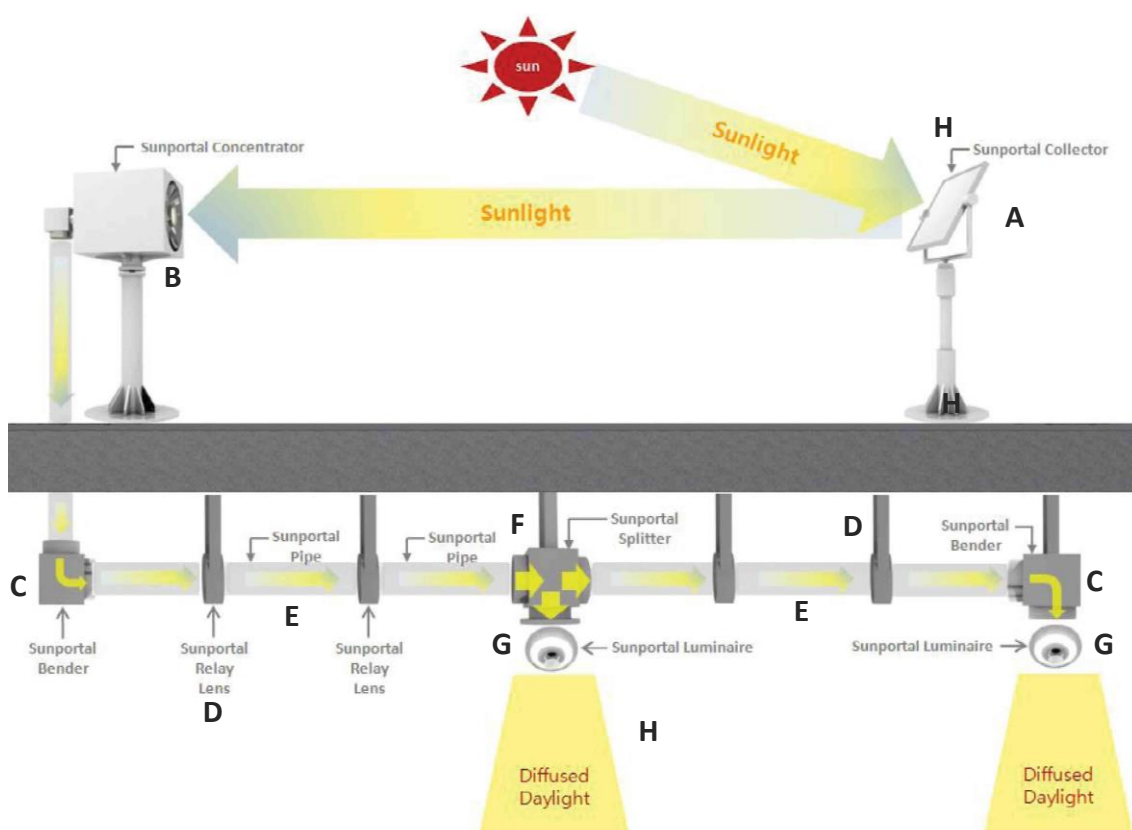


Fonte: HELIOBUS, 2016.

¹⁶ Sigla criada pela autora.

Os SCCDLN são, geralmente, compostos por três elementos: o coletor, normalmente localizado na cobertura da edificação; o condutor, formado pelos dutos que conduzirão e distribuirão a luz; e o difusor, também chamado de luminária solar, responsável pela emissão de luz (BOUBEKRI, 2014). Cada um desses componentes pode ter formas e materialidades diferentes, permitindo, portanto, diversidade na combinação de cada uma dessas partes a fim de formar o sistema mais apropriado para o local onde será utilizado. Dependendo da complexidade do conjunto, pode ser necessária a adição de mais componentes para compor um sistema adequado (figura 29).

Figura 29 – Exemplo de sistema mais complexo com condução da luz por em curvas. A – Coletor. B – Concentrador/ coletor. C – Sistemas para reflexão em curva da luz. D – Lentes de retransmissão da luz. E – Tubo de condução da luz. F – Sistema divisor dos raios de luz. G – Luminária solar/ difusor.



Fonte: LIGHTEFX, 2016, adaptado pela autora.

Um dos fatores importantes a ser considerado em países de clima quente, como o Brasil, é a capacidade de o sistema escolhido evitar que, em conjunto com a luz natural, seja transmitida também carga de energia térmica, prejudicando o desempenho da edificação. O espectro da luz solar possui raios ultravioleta e infravermelhos, que, embora invisíveis ao olho humano, penetram na edificação, sobrecarregando os sistemas de condicionamento de ar (LUZ, 2009). Existem sistemas captadores que filtram a carga de calor ou que redirecionam para o duto condutor apenas a luz visível, deixando grande parte dos raios indesejados no ambiente externo, como se pode

verificar nos produtos da empresa norte-americana Solatube (2016), por exemplo. O problema também pode ser minimizado com o uso dessas mesmas estratégias no final do percurso do duto condutor.

Ao projetar um SCCDLN, é indispensável verificar o local disponível na cobertura das edificações para instalação dos captadores, bem como a área acessível para a passagem dos dutos condutores de luz solar. A fim de apresentar maior eficiência (dependendo da quantidade de luz desejada no final do trajeto do duto condutor), alguns captadores necessitam de maior área para coleta de luz solar, aspecto que deve ser considerado na decisão do tipo de sistema adequado para cada situação.

Outro aspecto relevante é o peso que o sistema agrega à estrutura da edificação, o qual deve ser previsto pelo projetista. No caso de edificações preexistentes, pode-se optar pela escolha de sistemas executados com materiais mais leves, se for necessário. Além disso, é importante evitar que o SCCDLN seja um local de acesso de insetos, de neve, de chuva, de ruídos do ambiente externo, ou de qualquer outro elemento indesejado no interior da edificação (ZHANG, 2002).

A seguir foram abordadas as tecnologias existentes mais difundidas comercialmente e mais encontradas no referencial teórico utilizado, visando traçar um panorama geral do estado da arte desse tipo sistema de iluminação natural.

3.1 | CAPTADORES DE LUZ SOLAR (CLS)

Os Captadores de Luz Solar (CLS) são responsáveis pela coleta da luz natural e a pela sua transmissão para os dutos condutores. Eles ficam posicionados geralmente na cobertura da edificação, mas podem também localizar-se em alguma fachada.

A eficiência da captação da luz natural depende da geometria do captador, da quantidade de luz que se deseja captar, do ângulo dos raios solares e do tipo de luz natural que ocorre no local (ROSEMAN, KAASE, 2006; BOUBEKRI, 2014). A luz do céu de cada lugar pode ser difusa (quando há maior ocorrência de céu coberto) ou direta (quando os dias de céu limpo ocorrem em maior proporção, havendo a captação da luz direta do sol).

Os CLS podem apresentar-se nas seguintes formas:

- Domus em policarbonato, que permite a passagem da luz para o duto, ou domus prismático, que concentra os raios solares (figura 30);

Figura 30 – Exemplos de domus em policarbonato e domus prismático.



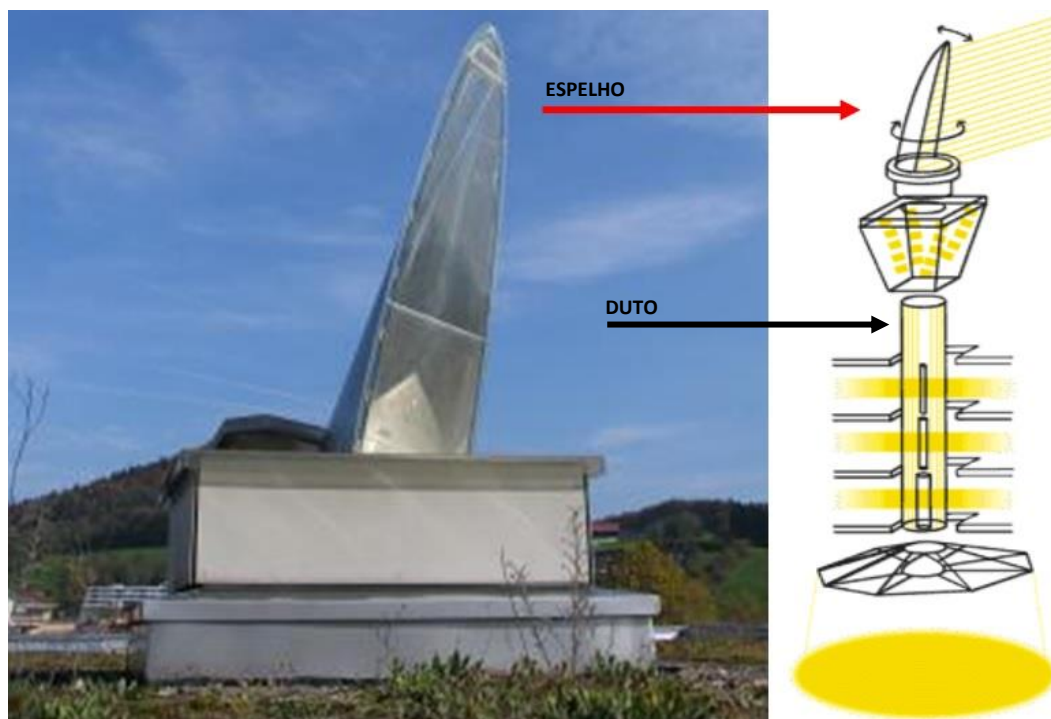
Fonte: BOUBEKRI, 2014, p. 85.



Fonte: ACUITY BRANDS, 2016.

- Sistema estático de espelhos, que promove a concentração e o redirecionamento da luz captada para o duto condutor (figura 31);

Figura 31 – Exemplo de espelho estático e esquema de funcionamento.



Fonte: HELIOBUS, 2016b.

Fonte: MELBOURNE CITY,

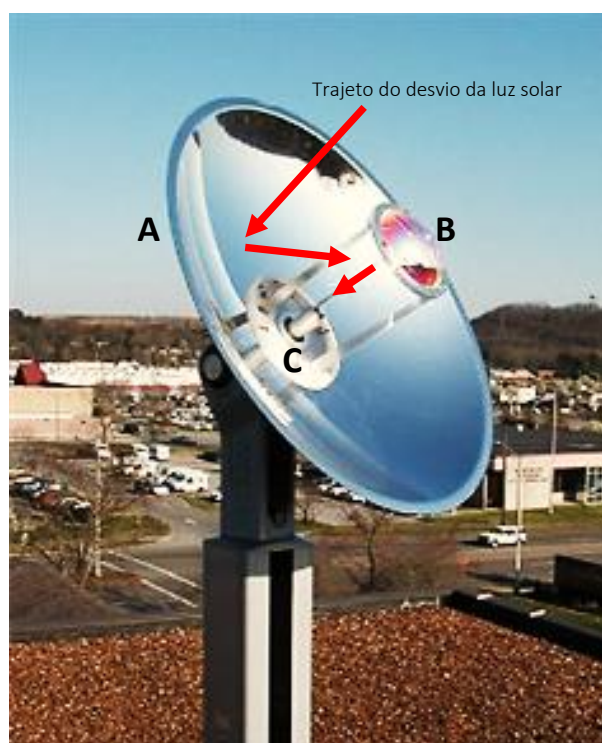
- Sistema de espelhos móveis que se movimentam de acordo com o ângulo dos raios solares e também podem promover a concentração e o redirecionamento da luz captada para o duto condutor – heliostatos (figuras, 32 e 33);

Figura 32 – Exemplo de espelhos móveis.



Fonte: HASAN, 2009.

Figura 33 – Exemplo de conjunto com heliostato (A), espelho fixo centralizado (B) e elemento de condução (C).



Fonte: BRIGHTEN YOUR HOME, 2016.

- Sistema de lentes ópticas, capazes de desviar a luz ou de concentrá-la em um ponto focal (figura 34);

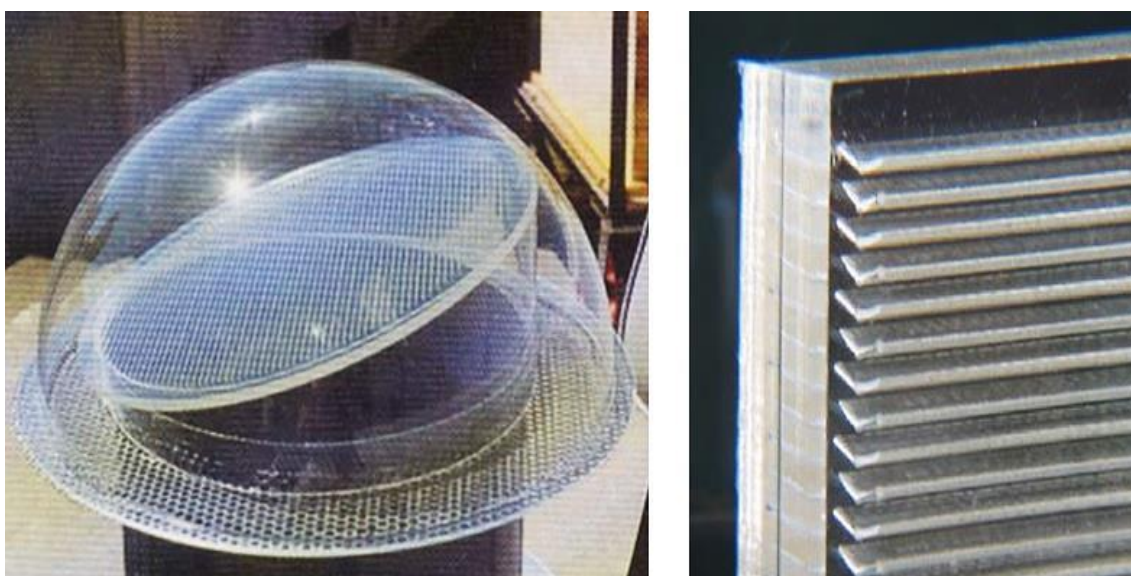
Figura 34 – Exemplos de captador composto por lentes capazes de filtrar os raios ultravioletas e captador composto por 64 lentes de Fresnel, que redirecionam a luz para cabos de fibra óptica que conduzem a luz natural para o interior da edificação.



Fonte: BRIGHTEN YOUR HOME, 2016.

- Desviador de luz composto por painéis cortados a laser (também chamados de prismas), nos quais o material do painel é fundido no local do corte, produzindo uma superfície altamente refletiva que redireciona a luz direta do sol (MACÊDO, 2002) (figuras 35 e 36). Esse sistema pode ser móvel ou fixo.

Figura 35 – Exemplos de aplicação de painéis cortados a laser.

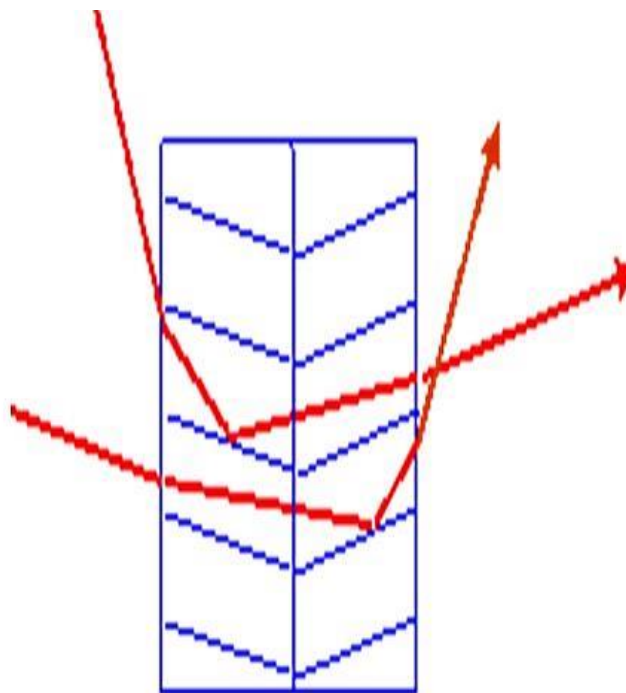


Fonte: SOLARTRAN, 2016.

Figura 36 – Exemplos de aplicação de painéis cortados a laser em fachadas, e corte esquemático do comportamento do raio solar ao passar pelo material.



Fonte: SITECO, 2016.



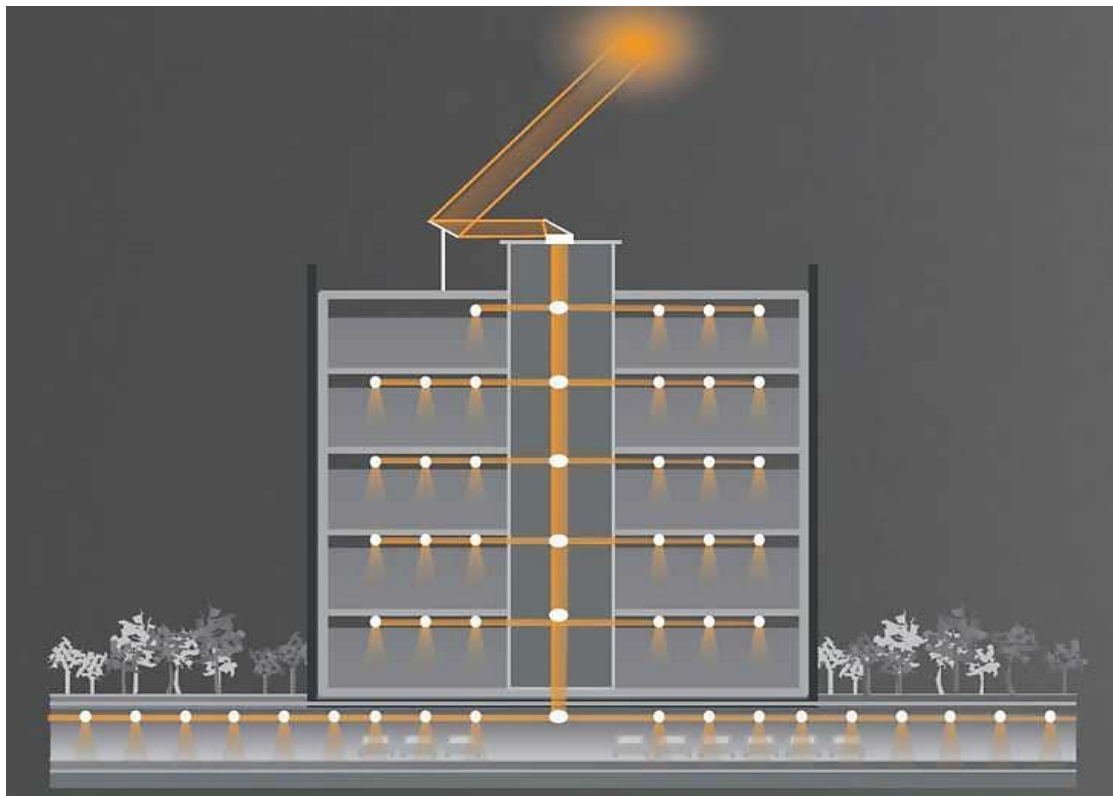
Fonte: SOLARTRAN, 2016.

Segundo Mayhoub e Carter (2009), os sistemas tubulares de captação de luz constituem-se na tecnologia de maior sucesso comercial e são efetivos para locais com predominância de luz difusa e luz direta. Em dias de céu claro e limpo, predomina a luz direta e podem-se atingir níveis de iluminância de 100.00 lux; em dias nublados, esse valor cai para 1/10-1/5 e predomina a luz difusa (BOUBEKRI, 2014). Os dois tipos de luz propagam-se de maneiras diferentes e, portanto, exigem tecnologias de captação adequadas para cada caso.

3.2 | CONDUTORES E DISTRIBUIDORES DE LUZ SOLAR

A luz solar captada é conduzida ao interior da edificação através de dutos que percorrem verticalmente os pavimentos e que podem se conectar com dutos horizontais, ramificando-se para distribuir a iluminação natural aos ambientes de cada andar (figura 37) (MACÊDO, 2002). A eficiência dos Condutores e Distribuidores (CDLS) depende da geometria, da refletância interna do duto e do ângulo de incidência do sol na entrada do elemento condutor (BOUBEKRI, 2014; LUZ, 2009; MACÊDO, 2002).

Figura 37 – Esquema de condução vertical da luz solar e sua distribuição horizontal para os ambientes de cada pavimento.



Fonte: SOLARTRAN, 2016.

Para compor o sistema de CDLS pode-se utilizar (BOUBEKRI, 2014; LUZ, 2009):

- Dutos de luz ocos e revestidos internamente com espelhos, material metálico (como o alumínio anodizado) ou película refletora – todos com alto índice de refletância, chegando a 99% (figura 38);

Figura 38 – Exemplo de material altamente reflexivo (Spectralight da empresa Solatube) e sua possível aplicação.



Fonte: SOLATUBE, 2016b.



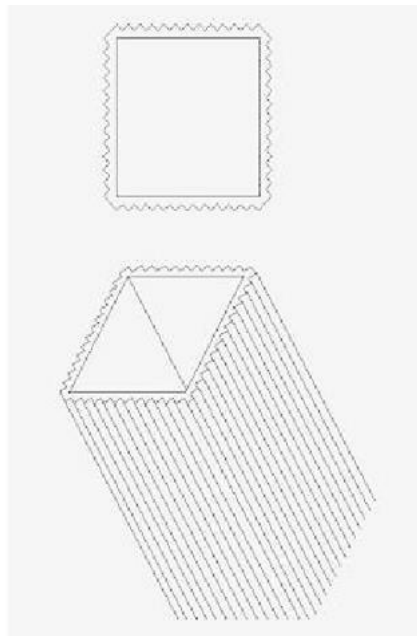
Fonte: BLOMMING ROCK, 2010.

- Dutos ocos com lentes e/ou espelhos (figura 39);
- Dutos prismáticos ocios (figura 39);

Figura 39 – Exemplo de dutos com lentes internas para transmissão da luz (à esquerda) e esquema de duto prismático oco (à direita).



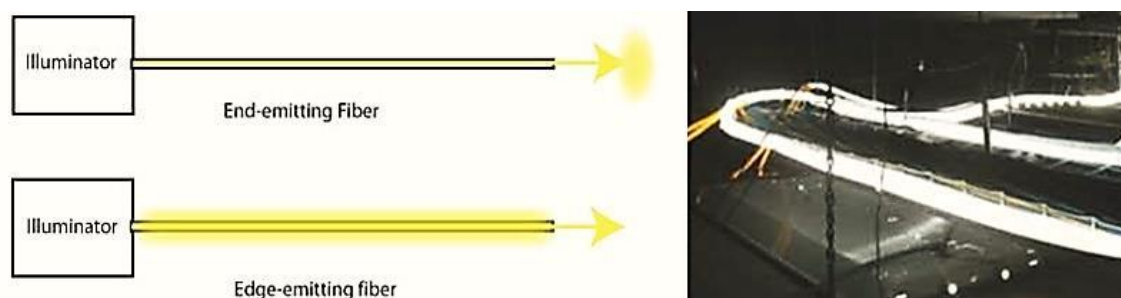
Fonte: INHABITAT, 2012.



Fonte: BOUBEKRI, 2014, p. 189.

- Fibras ópticas (figura 40);

Figura 40 – Exemplos de distribuição da luz ao longo do cabo de fibra óptica.



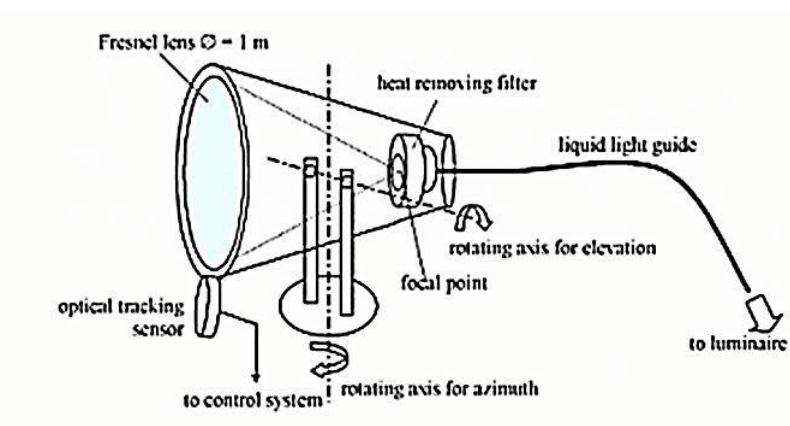
Fonte: FIBER OPTIC ASSOCIATION, 2016.

- Guias sólidas (figura 41);
- Guias líquidas (LUZ, 2009; WILSON *et al.*, 2002), tecnologia ainda pouco difundida nos referenciais teóricos pesquisados (figura 41). Há um projeto de pesquisa chamado *UFO System*, da empresa austríaca *BARTENBACH*, que utiliza guias líquidas para transporte de luz solar, mas, após busca realizada, a autora desconhece os resultados desse estudo até o momento (D-LITE, 2016).

Figura 41 – Exemplo de guia sólida e de guias líquidas, respectivamente.



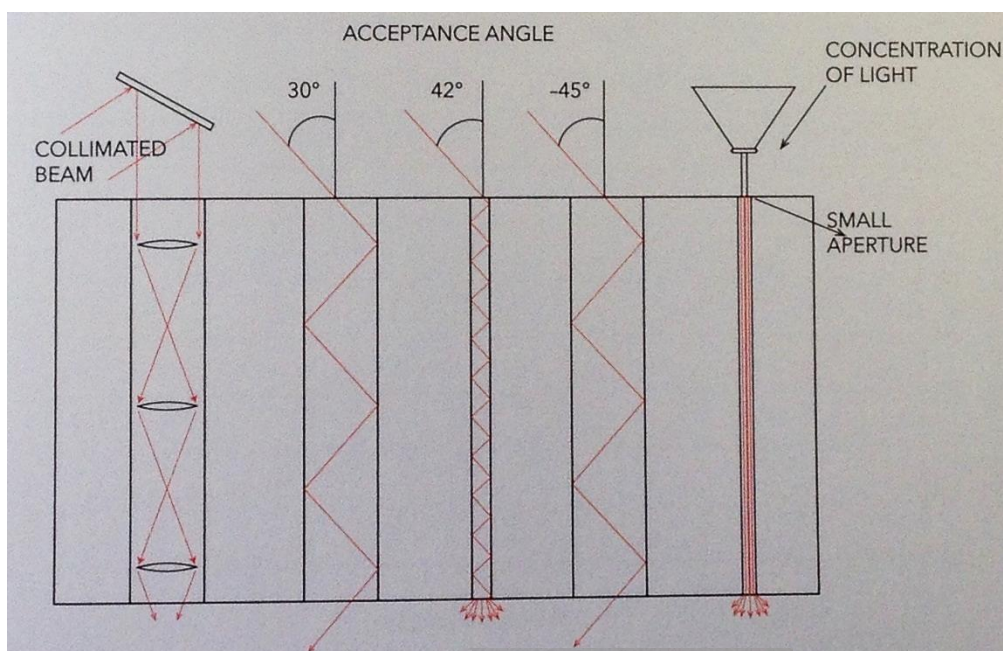
Fonte: CALLOW, 2003, p. 88.



Fonte: D-LITE, 2016.

A eficiência do raio de luz é influenciada pela quantidade de vezes que ele é refletido, pois a cada reflexão perde-se parte do seu potencial (BOUBEKRI, 2014). Sendo assim, ao se projetar esses sistemas, é importante buscar a tecnologia que permita o menor número de reflexões possível. Em alguns casos, pode-se controlar o ângulo de entrada da luz solar com o intuito de diminuir a quantidade de colisões com a superfície interna do duto, pois, quanto menor o ângulo de entrada no tubo, menor a quantidade de reflexões (figura 42). Dos elementos listados anteriormente, apenas as guias sólidas, as guias líquidas e as fibras ópticas agem promovendo a reflexão total da luz (LUZ, 2009).

Figura 42 – Exemplos de estratégias para controle do ângulo de incidência do raio solar no sistema condutor.



Fonte: BOUBEKRI, 214, p. 85.

As dimensões dos CDLS variam de acordo com o material e a tecnologia utilizados. O diâmetro das fibras ópticas, das guias líquidas e das sólidas define o espaço necessário para sua passagem, que geralmente é menor que o espaço preestabelecido para os dutos (LUZ, 2009). As dimensões dos dutos dependerão da tecnologia a ser empregada em cada projeto, e sua geometria pode apresentar diversas configurações – aspectos que dependerão também do espaço disponível para a passagem do sistema, da quantidade de luz solar característica do local e da quantidade de luz desejada no interior da edificação.

3.3 | DIFUSORES - LUMINÁRIA SOLAR

Quando a luz captada chega a seu destino final, há um sistema de emissão que a transmite ao ambiente, chamado de luminárias solares (figura 43). Essas luminárias podem ser utilizadas apenas para distribuir e emitir a luz natural captada ou podem atuar em conjunto com a luz elétrica, constituindo os chamados Sistemas Híbridos, nos quais, na ausência de luz solar, a elétrica é ativada (MAYHOUB, CARTER, 2009).

Figura 43 – Exemplos de luminárias solares instaladas pela empresa norte-americana Solatube.



Fonte: SOLATUBE, 2016.

As luminárias podem ser em acrílico leitoso, com aletas refletoras, com prismas ou diversos outros materiais (LUZ, 2009; MACÊDO, 2002). É possível controlar a luz da luminária por dispositivos de abertura, que durante o dia podem ser fechados se houver necessidade de escurecer momentaneamente o ambiente, e ainda há a possibilidade de dimerizar a luz através do controle de sua intensidade – como se pode observar nos produtos da empresa norte-americana Solatube (SOLATUBE, 2016).

3.4 | METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE LUZ NATURAL

O desempenho dos sistemas de captação de luz natural pode ser estimado através de simulação computacional. Há diversos *softwares* utilizados para estudos de iluminação natural (LUZ, 2009). Lamberts, Dutra e Pereira (2013), apresentam diversos deles: Radiance e Desktop Radiance, Ecotect Analysys, Apolux, Lux, Relux, DIALux e TropLux. Este último é destacado pelos autores por apresentar vantagem em relação aos outros devido à sua adequação às condições de trópicos. Essa ferramenta também pode utilizar parâmetros de céu mais próximos da realidade, visto que adota a classificação de tipos de céus conforme o CIE ISO 15469 (2003).

Para verificação do comportamento do sistema de captação e condução de luz natural, foram identificados estudos no âmbito internacional que utilizaram *softwares* como Matlab e ASRC-CIE (TAENGCHUM *et al.*, 2014), Ecotect, Radiance, Relux e Photopia (HAN *et al.*, 2013). No entanto, a ferramenta Holigilm - *hollow light guide interior illumination method* – é recomendada por Kittler, Kocifaj e Darula (2011). Esse *software* utiliza o método *ray-tracing*¹⁷ e considera diversas condições de céu e de luz para calcular a eficiência dos sistemas de iluminação natural. É recomendado para geometrias complexas de dutos de luz, visto ser capaz de determinar a influência do uso de cotovelos responsáveis por curvaturas nos condutores (TOLEDO, 2013).

Para casos menos complexos, verificou-se no âmbito nacional a utilização do *software* TropLux, citado anteriormente, para estimar o comportamento de sistemas de captação e condução de luz natural. A ferramenta forneceu resultados satisfatórios para a utilização na cidade de Curitiba (TOLEDO, 2013). Esse instrumento de simulação computacional foi desenvolvido e validado por Ricardo Carbús (2005), pesquisador da Universidade Federal de Alagoas (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2013).

A estimativa de desempenho desses sistemas também pode ser avaliada através de cálculos matemáticos (HANSEN, EDMONDS, BELL, 2009; HANSEN, EDMONDS, 2015; TAENGCHUM *et al.*, 2014; KITTLER, KOCIFAJ, DARULA, 2011). Entretanto, depois da evolução das técnicas computacionais, que se mostraram um recurso bastante eficaz para a simulação do comportamento desse tipo de tecnologia principalmente nos casos com geometrias mais complexas, o uso de cálculos matemáticos tornou-se obsoleto.

Nos casos de geometrias mais simples, uma estratégia também bastante eficiente é o uso de modelos de escala reduzida, construídos manualmente. Essa ferramenta é

¹⁷ Este método constrói todos os raios do sol e permite a visualização da quantidade de luz nas superfícies a serem estudadas (LAMBERTS *et al.*, 2013).

bastante efetiva para estudos do comportamento da luz do sol e possibilita a verificação do desempenho de tecnologias em condições de céu reais, diferente das simulações em *softwares* (BODART, DENEYER, 2006; ABNT NBR 15215-4, 2005). A agilidade para construir os protótipos torna eficaz o processo de experimentação seguido da readaptação e, por isso, implica a construção de um modelo final mais apropriado e adaptado às condições reais a que será submetido. Por esses motivos, essa será a ferramenta a ser utilizada nesta pesquisa e apresentada no capítulo 4.

3.5 | ESTUDOS DE CASO DA APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO, CONDUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE LUZ NATURAL

Há exemplos de projetos propostos e de projetos executados que utilizam os SCCDLN com a finalidade de iluminar o interior das edificações. Foram selecionados para estudo de caso os projetos mais difundidos na revisão realizada para este estudo.

Foi apresentado o projeto da Low Line (Nova Iorque, EUA), por destacar-se como o primeiro projeto de parque subterrâneo do mundo, implicando o esforço dos projetistas para que a tecnologia utilizada na captação da luz solar seja eficiente a fim manter a sobrevivência de espécies vegetais (THE LOW LINE, 2016).

O sistema de captação e condução da luz natural utilizado na Potsdamer Platz (Berlim, Alemanha), por sua vez, destacou-se pela preocupação com a questão estética envolvida, além de ser exemplar de sistema utilizado em ambientes subterrâneos – tornando-o interessante para este trabalho.

Em seguida, foram apresentados os sistemas adotados no edifício comercial Morgan Lewis Law Offices (Washington, D.C., EUA) e no edifício de uso comercial e institucional Borusan Holdings (Istambul, Turquia). Ambos foram escolhidos por utilizarem sistema de condução de luz natural ao longo de vários pavimentos de edificações - evidenciando seu potencial para condução da luz a longas distâncias -, por apresentarem dissipação da luz captada ao longo de todo o trajeto e pela preocupação com a estética do projeto.

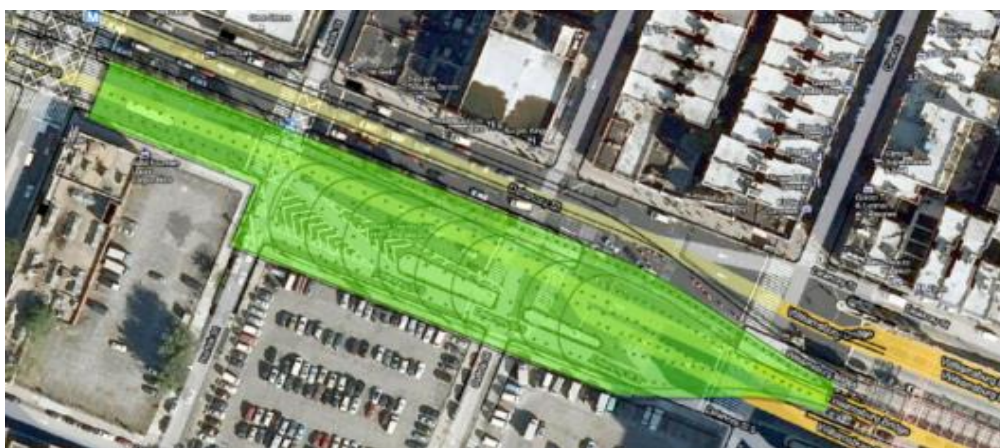
3.5.1 | Low Line, Nova Iorque – EUA

“Como podemos construir mais espaços verdes nas nossas cidades? E se a resposta estivesse bem embaixo dos nossos pés?” (THE LOW LINE, 2016, traduzido pela autora).

O projeto da Low Line, como ficou conhecido o ‘The Delancey Underground Project’, é um plano para implantação de um parque subterrâneo no distrito de Manhattan, na cidade de Nova Iorque, EUA. A ideia foi apresentada em 2011 pelos arquitetos James Ramsey, da empresa Raad Studio, e Dan Barasch, responsáveis pelo projeto do primeiro

parque subterrâneo do mundo. A proposta será executada no antigo terminal de metrô denominado Williamsburg Bridge Trolley Terminal, sob a Delancey Street, no Lower East Side (figura 44) (THE LOW LINE, 2016). O local foi visitado pela autora deste estudo em fevereiro de 2017, com o objetivo de coletar material acerca das tecnologias e da vegetação que serão utilizadas na obra, as quais serão detalhadas mais a frente.

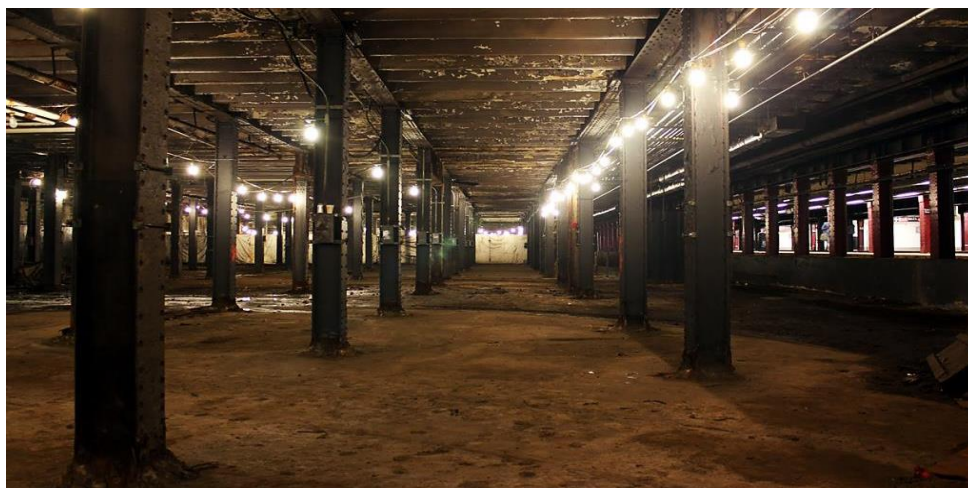
Figura 44 – Localização do projeto na Avenida Delancey, em Nova Iorque, EUA.



Fonte: THE LOW LINE, 2016.

O terminal estava desativado desde 1948 (figura 45) e localiza-se em uma área com diversificada vizinhança, composta por edificações com funções pública, comercial e residencial. A avenida acima do parque – Delancey Street – representa risco para a segurança dos pedestres devido ao intenso tráfego de automóveis. Ele servirá como alternativa para os pedestres, que poderão acessá-lo para atravessar a grande via, e qualificará essa área urbana onde há poucos espaços verdes (THE LOW LINE, 2016). O parque será um grande atrativo para os usuários do local, que demonstram entusiasmo com o projeto.

Figura 45 – Imagem do antigo terminal de metrô, exemplo de vazios urbanos em subsolos.



Fonte: THE LOW LINE, 2016.

A revitalização do local traz à tona o debate global acerca do uso dos espaços urbanos residuais e obsoletos, enriquecendo, também, a discussão do potencial dos subsolos como alternativa para a necessidade de expansão das cidades contemporâneas, tratada inicialmente neste projeto de pesquisa. Essa concepção de parque enterrado lança mão de tecnologias que possibilitem viabilizar o uso de vegetação nas áreas enterradas e que promovam o bem-estar dos usuários, qualificando os espaços. A nova geração de tecnologias verdes e de sistemas de captação e condução da luz solar está presente nessa concepção.

O espaço será um parque com vegetação e com áreas para contemplação e passeio dos usuários (figura 46). Visando levar a iluminação natural até o subsolo, foram propostos elementos refletores e concentradores da luz do sol localizados em cima de edifícios vizinhos ao projeto (figuras 47 e 48). Esses elementos direcionam a luz solar, refletindo-a para os captadores que estão na superfície, logo acima do futuro parque.

Figura 46 – Perspectiva ilustrativa do projeto.



Fonte: THE LOW LINE, 2016.

Figura 47 – Refletores e concentradores de luz solar, localizados na cobertura da edificação que abrigará o futuro parque subterrâneo.



Fonte: foto da autora.

Figura 48 – Concentrador que conduz a luz para o cabo de fibra óptica.

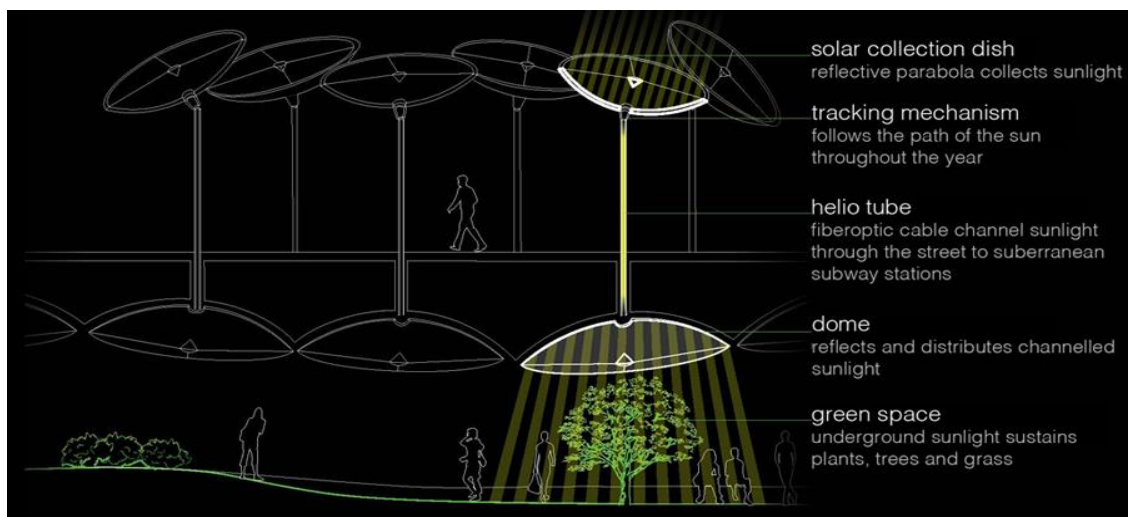


Fonte: THE LOW LINE, 2016.

Os captadores recebem os raios de luz e os redirecionam para os dutos condutores, compostos de fibra óptica, os quais levam a luz solar até o subterrâneo (figura 49), onde ocorre a distribuição da iluminação natural para os espaços, através de espelhos que recebem a luz e a redirecionam para o forro reflexivo (figura 50). Esse conjunto –

composto por reflexão, captação, condução e distribuição da luz – foi também pensado com a finalidade de proporcionar níveis de iluminação natural que auxiliem no desenvolvimento de vegetação no interior do ambiente.

Figura 49 – Esquema da condução da luz para o subsolo por meio de fibra óptica.



Fonte: THE LOW LINE, 2016.

Figura 50 – Imagens do forro reflexivo, das luminárias solares (conectadas aos cabos de fibra óptica que vêm da cobertura) e dos refletores internos que serão utilizados no futuro parque subterrâneo.

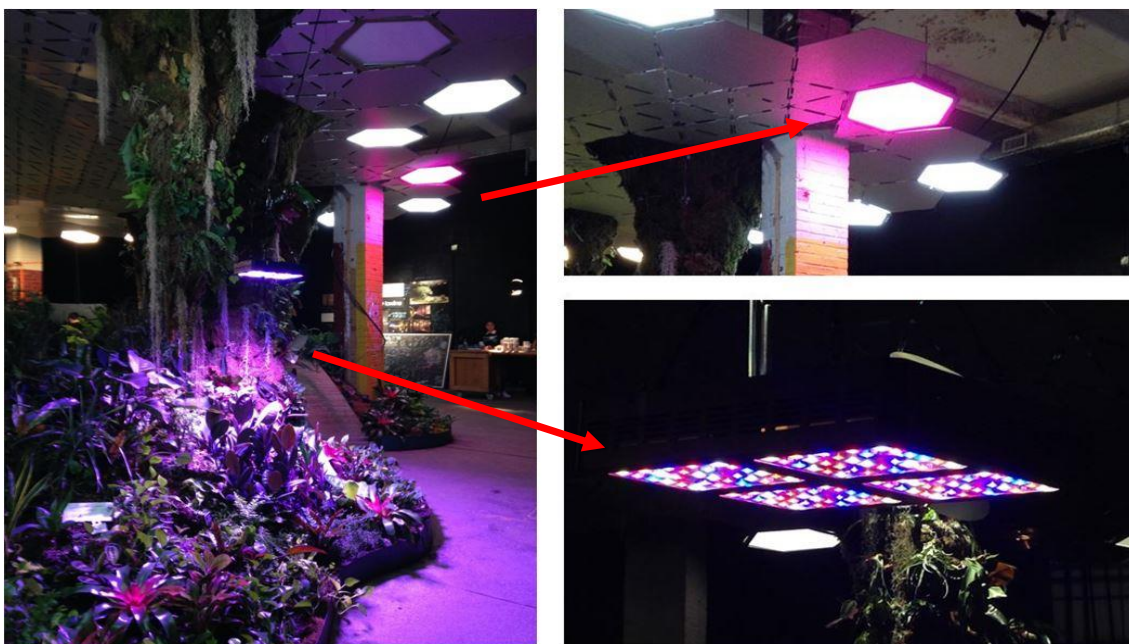


Fonte: foto da autora.

Para complementar o sistema de iluminação e atender à quantidade de luz necessária para o desenvolvimento de vegetação, também serão utilizadas lâmpadas elétricas específicas para estimular o crescimento de plantas (figura 51). Essas lâmpadas deixam

o ambiente com coloração rosa ou azul, como pode ser visto na figura abaixo. Também serão utilizados sistemas tubulares, com lentes de transmissão de luz, para iluminação do ambiente (figura 52). Esses tubos são transparentes e refletem a luz ao longo do seu comprimento.

Figura 51 – Imagens do sistema complementar com lâmpadas elétricas de crescimento para vegetação. À esquerda, imagem ilustrando as luminárias utilizadas, e à direita a lâmpadas com coloração rosada (em cima) e azulada (embaixo).



Fonte: foto da autora.

Figura 52 - Sistema de iluminação complementar com dutos transparentes que transportam a luz ao longo do seu comprimento e dissipam-na para o ambiente.



Fonte: foto da autora.

Foi executado um protótipo desse conjunto para experimentação, com a finalidade de identificar as espécies de vegetação que podem ser empregadas no local e analisar seu comportamento nos diferentes climas apresentados, promovendo o aperfeiçoamento da tecnologia adotada. O conjunto utiliza a tecnologia da empresa europeia The Sunportal (2016).

Essa fase de testes foi aberta ao público em outubro de 2015 e estendeu-se até março de 2017 (figura 53). Se os estudos ocorrerem conforme o planejado pela equipe, o próximo passo será a negociação com os órgãos públicos de Nova Iorque e com o Metropolitan Transit Authority (MTA), atual proprietário do local e administrador do transporte público da cidade. A expectativa é que o parque seja inaugurado em 2021. Ainda não há notícias dos resultados obtidos nesse experimento.

Figura 53 – Imagem da LowLab: fase experimental do projeto.



Fonte: foto da autora.

Na visita realizada em fevereiro de 2017, foi possível verificar que foram empregadas no experimento algumas espécies de samambaias e bromélias, bem como outras espécies vegetais, como Giboia (*Epipremnum aureum*), Aveloz (*Euphorbia tirucalli*), Espada de São Jorge (*Sansevieria trifasciata*), Coqueiro (*Cocos nucifera*), Tilansia (*Tillandsia sp.*), Grama preta (*Ophiopogon japonicus*), Lágrimas-de-bebê (*Soleirolia soleirolii*), Maranta

barriga-de-sapo (*Maranta leuconeura*) e Asplênio (*Asplenium nidus*) por exemplo, (figuras 54 e 55).

Figura 54 - Imagem ilustrando a diversidade de espécies vegetais testadas no experimento da Low Line, LowLab, visitado pela autora em fevereiro de 2017. Na imagem também é possível perceber a luz natural refletida nas plantas.



Fonte: foto da autora.

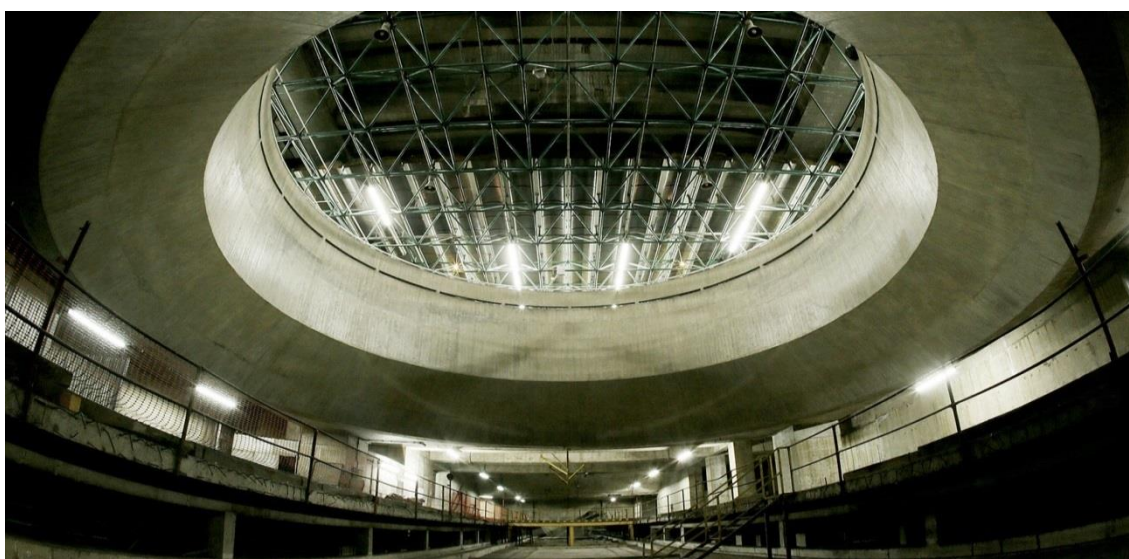
Figura 55 - Imagem coletada na LowLab ilustrando as espécies de Maranta barriga-de-sapo, Asplenio e Giboia (à esquerda), e uma espécie de bromélia (à direita).



Fonte: foto da autora.

Na apresentação desse projeto, cabe ainda traçar um paralelo com a realidade brasileira. Na capital paulista, São Paulo, há uma antiga estação de metrô abandonada há mais de quatro décadas (figura 56). Atualmente, o local serve como depósito, tendo acesso restrito apenas aos funcionários, que o utilizam para a manutenção das linhas de metrô (TRAMONTINA, TERRON, 2016).

Figura 56 – Exemplo de espaços subterrâneos obsoletos e subutilizados em cidades brasileiras: estação de metrô Pedro 2º na capital paulista.



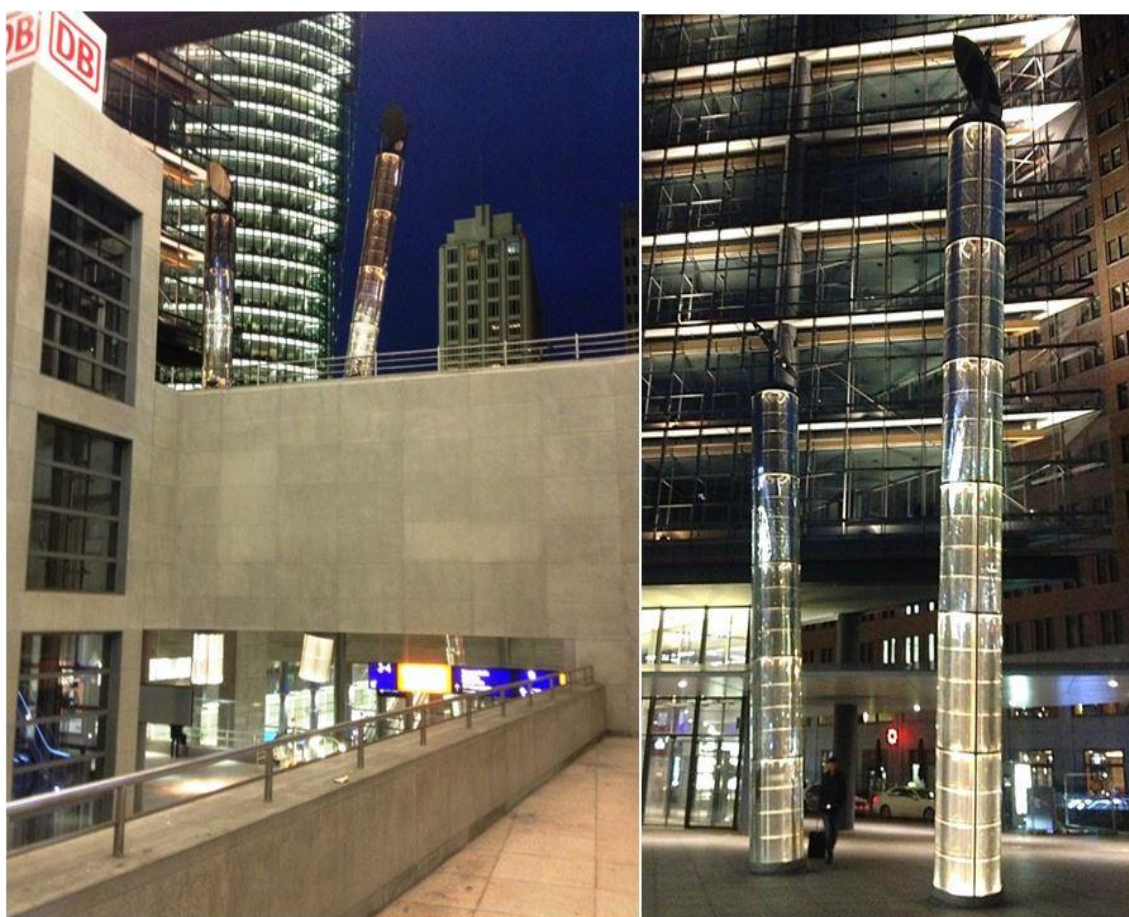
Fonte: TRAMONTINA, TERRON, 2016.

Em uma cidade populosa como São Paulo, há de se pensar que, no futuro, essas áreas obsoletas também poderão abrigar novas atividades, com projetos que priorizem a percepção dos seus usuários. Uma futura “Low Line brasileira” possivelmente tome conta do pensamento de quem acompanha a leitura deste texto e acredita na qualificação das experiências dos usuários das cidades brasileiras.

3.5.2 | Estação de Metrô Potsdamer Platz, Berlim – Alemanha, 2000

O sistema alemão é composto por um captador espelhado que acompanha o movimento do sol (heliostato) e redireciona a luz solar captada para o duto, levando-a para a estação de metrô situada no subsolo da Potsdamer Platz, em Berlim (figura 57). O sistema de condução da luz é composto por um duto metálico, oco e altamente reflexivo, que está envolto por outro de vidro, com um espaço de afastamento entre ambos. O conjunto é estruturado com hastes metálicas (HELIOBUS, 2016c).

Figura 57 - Imagens dos dutos na estação de Metrô Potsdamer Platz.

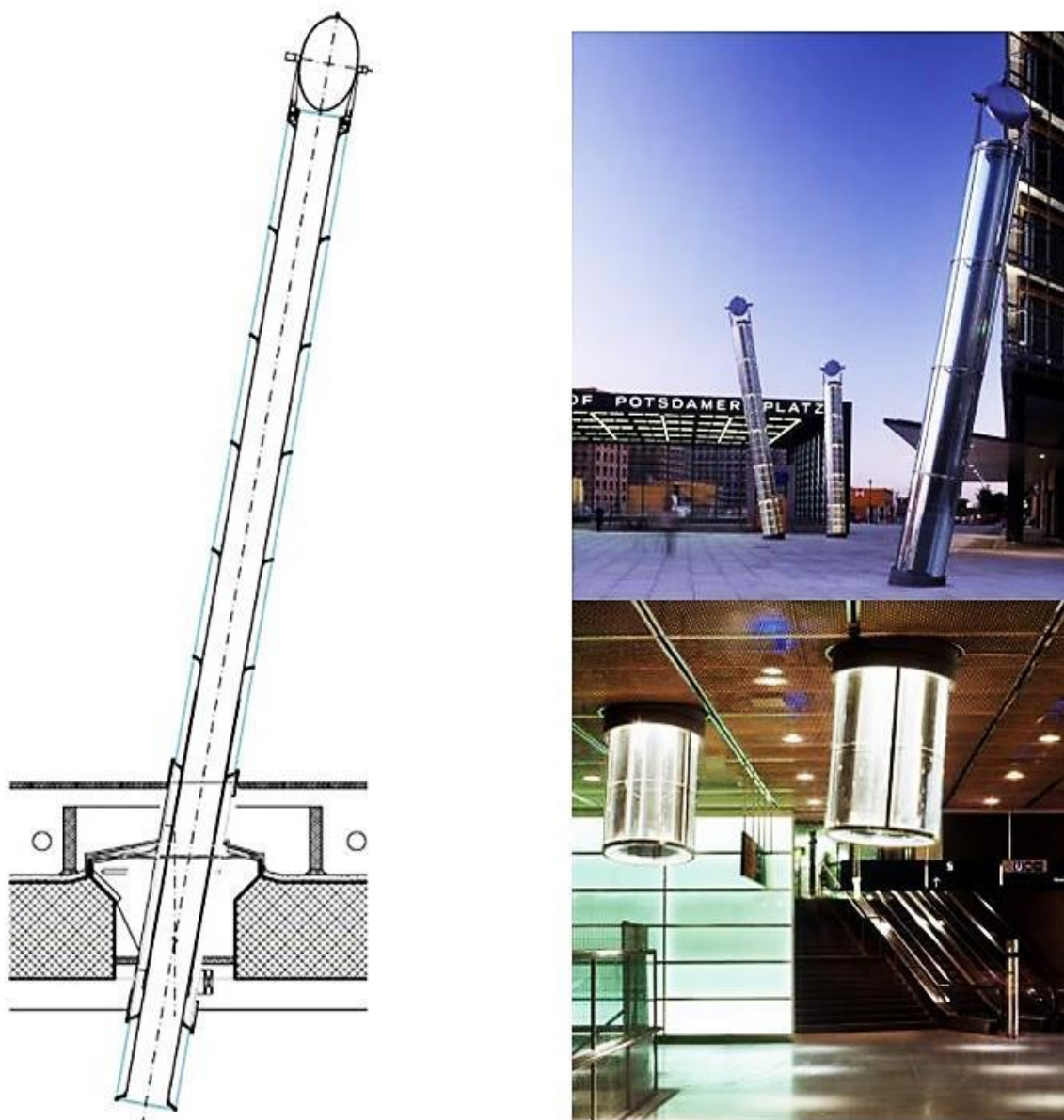


Fonte: foto da autora.

O duto metálico é responsável pela condução da luz captada, que é dissipada ao final do sistema através do revestimento de vidro (figura 58). Durante o dia, o duto ilumina o

espaço subterrâneo e, durante a noite, as hastes conduzem parte da iluminação utilizada nessa área, tornando-se elementos de destaque na superfície da praça (DE VECCHI *et al.*, 2004). Uma das principais preocupações do projeto foi a questão estética, pois o sistema localiza-se em um dos principais pontos turísticos da cidade (figura 58). O conjunto utiliza tecnologia da empresa suíça Heliobus (2016c), sendo composto por três sistemas com 1 metro de diâmetro cada e 14 metros, 17 metros e 21 metros de comprimento, respectivamente.

Figura 58 – Corte esquemático (à esquerda) e imagens da tecnologia aplicadas nas áreas externa e interna (à direita).



Fonte: HELIOBUS, 2016c.

3.5.3 | Edifício comercial Morgan Lewis Law Offices, Washington - EUA, 1998-2001

No projeto da capital norte-americana, a iluminação natural é levada para o interior do edifício através de heliostatos que seguem o movimento do sol, captando a luz natural e refletindo-a através de espelhos para um duto de prismas (figura 59). O duto possui duas camadas estruturadas com *steel frame*: uma externa, coberta por fibra sintética tensionada; e uma interna, composta por prismas de vidro que ficam posicionados ao redor de um centro (figuras 60 e 61). O núcleo de prismas possui diâmetro de 1,75 m na extremidade superior e 0,50 m na base inferior.

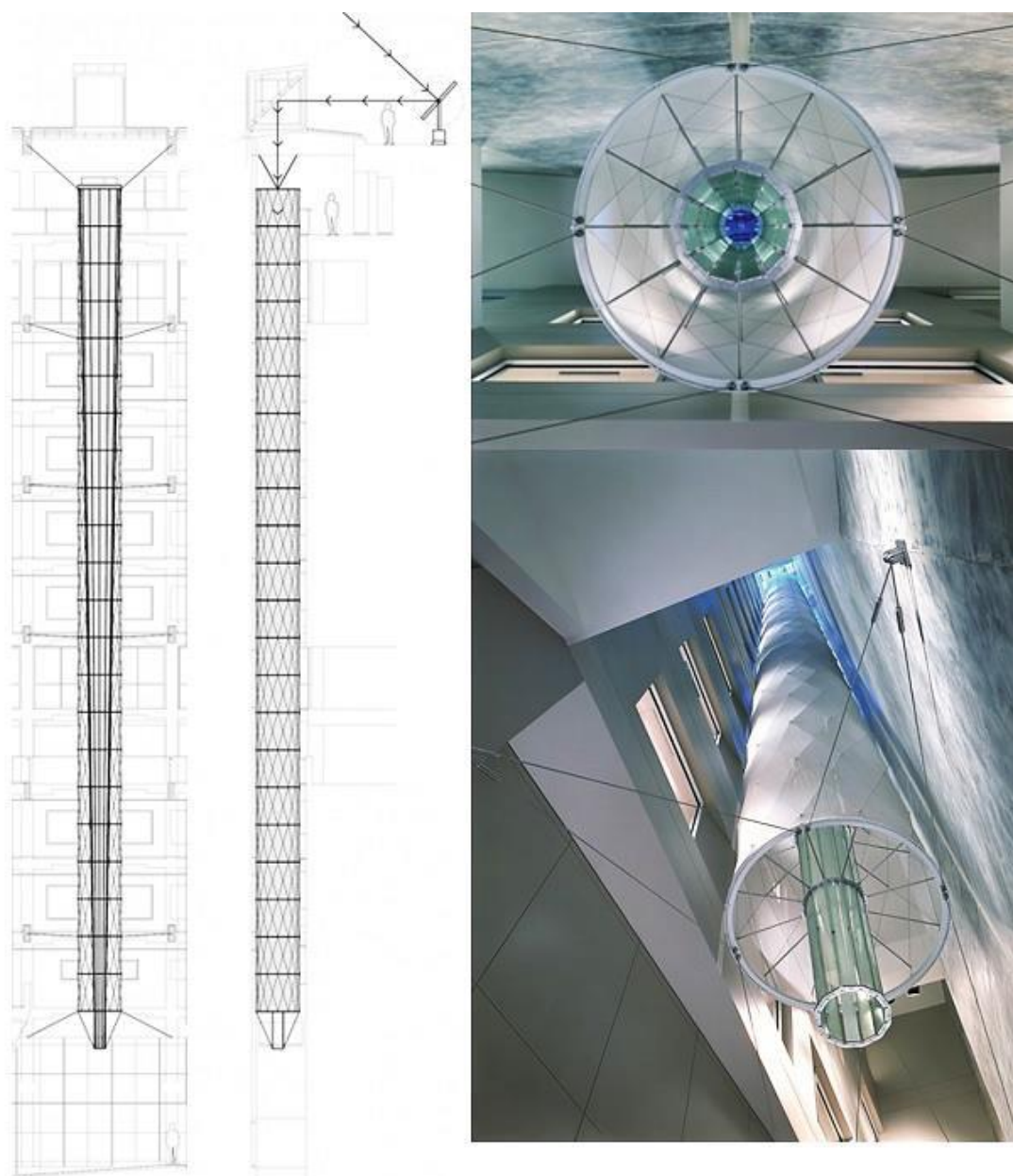
É importante ressaltar que, na ocorrência de céu nublado, o sistema liga lâmpadas elétricas para iluminar o núcleo do edifício, o que demonstra que esse tipo de conjunto talvez não seja tão eficaz para locais onde predomina a ocorrência de céu nublado. O núcleo que conduz a luz possui 30 metros de comprimento, e a tecnologia foi projetada pela Bomin Solar (2016). Esse projeto também foi visitado pela autora. Não houve possibilidade de visualizar a tecnologia, mas coletou-se o depoimento de alguns funcionários do edifício acerca do funcionamento do sistema.

Figura 59 – Imagens do captador, condutor e dissipador de luz natural.



Fonte: CARPENTER LOWINGS, 2016.

Figura 60 – Corte esquemático e imagens do conjunto.



Fonte: CARPENTER LOWINGS, 2016.

Figura 61 – Estrutura em steel frame e os painéis prismáticos do sistema.



Fonte: DETAIL INSPIRATION, 2016.

3.5.4 | Edifício comercial e museu de arte Borusan Holdings, Istambul – Turquia

No projeto da cidade de Istambul, um conjunto de espelhos que seguem o movimento do sol (heliostatos) é responsável pela captação da luz solar e pelo seu redirecionamento para o duto vertical, que ilumina naturalmente o núcleo do edifício comercial, que funciona como museu de arte aos finais de semana (BOUBEKRI, 2014) (figura 62). O sistema de distribuição da luz possui 0,80 m de diâmetro e percorre 24 m no sentido vertical, iluminando quatro pavimentos da edificação. Esse sistema permite alcançar níveis de iluminação de 400 lux¹⁸ no 5º pavimento e de 150 lux no pavimento mais baixo (BOUBEKRI, 2014). Elementos prismáticos são responsáveis pela condução da luz ao longo do duto (figura 62). O sistema é de autoria da empresa suíça Heliobus (2016d).

Figura 62 – Corte e imagens dos sistemas de captação e de condução.



Fonte: HELIOBUS, 2016d.

¹⁸ Lux é uma unidade para medir a iluminância, que pode ser aferida por equipamentos como o luxímetro ou uma fotocélula. Para um hall, por exemplo, iluminância de 100 a 300 lux é considerada suficiente; para atividades de leitura se exige, geralmente, 500 lux (ABNT NBR 5413).

3.5.5 | Comparação entre os estudos de caso

Os exemplares selecionados para realização do estudo de caso foram organizados segundo os critérios estabelecidos na matriz descritiva da tabela 1. Em seguida, foram apresentadas as vantagens e as limitações de cada caso.

Tabela 1 – Matriz descritiva para análise de estudos de caso.

Descrição dos estudos de caso				
Critérios de análise	Estudos de Caso			
	A: Low Line	B: Estação de Metrô Potsdamer Platz	C: Edifício Morgan Lewis Law Offices	D: Edifício Borusan Holdings
Autores	Arquitetos James Ramsey (Raad Studio) e Dan Barash (THE LOW LINE, 2016).	Hoe-architects, Hilmer & Sattler, Modersohn-Freiesleben (HOE ARCHITECTS, 2018).	James Carpenter e Davidson Norris (CARPENTER, NORRIS, 2004). Iluminação de Matthew Tanteri (NAYAR, 2003).	Asymptote Architecture; Mat Architecture (BORUSAN YATIRIM, 2011).
Localização	Nova Iorque, EUA.	Berlim, Alemanha.	Washington, EUA.	Istambul, Turquia.
Ano	Projeto: 2011; Laboratório de experimentação: 2015-2017; Previsão inauguração: 2021 (THE LOW LINE, 2016).	2000 (HELIOBUS, 2016).	1998 – 2001 (CARPENTER, NORRIS, 2004).	2011 (BORUSAN YATIRIM, 2011).
Atividade da edificação	Lazer, parque público.	Estação de metrô e praça, área pública.	Escritórios, edifício privado. O SCCDLN ilumina áreas destinadas aos escritórios e à biblioteca (CARPENTER, NORRIS, 2004).	Escritórios, centro de arte e cultura, museu (BORUSAN YATIRIM, 2011).
Empresa fornecedora da tecnologia de SCCDLN	The Sunportal.	Heliobus.	Bomin Solar.	Heliobus.
Nº de pavimentos iluminados pela tecnologia	1	1	12 (CARPENTER NORRIS, 2018).	4 (BORUSAN YATIRIM, 2011).
Contempla espaço subterrâneo	Sim	Sim	Sem informação	Não
Apresenta preocupação com a estética da tecnologia	Sem informação. Entretanto, é notável preocupação com a forma do conjunto.	Sim, é um dos focos do projeto (HELIOBUS, 2016).	Sim (CARPENTER NORRIS, 2018).	Sim (HELIOBUS, 2016d).
Sistema de captação	Heliostato retangular e concentrador (lente) (THE LOW LINE, 2016).	Heliostato em forma de elipse (DE VECCHI <i>et al.</i> , 2004).	Heliostato retangular e espelho redirecionador composto por 24 pequenos espelhos (CARPENTER, NORRIS, 2004; CARPENTER LOWINGS, 2014; NAYAR 2003).	2 heliostatos e 1 espelho redirecionador, todos com formato circular (HELIOBUS, 2016d).
Sistema de condução	- Fibra óptica (THE LOW LINE, 2016); - Tubos com lentes em seu interior (verificado nos cartazes explicativos expostos no laboratório quando foi	- Duto metálico reflexivo envolto por camada de ar, seguida de vidro (acabamento externo); - 3 dutos com 1 m de diâmetro e alturas de 14	- Coluna central oca e composta por prismas de vidros; camada externa de fibra sintética tensionada; estrutura em <i>steel frame</i> ; - 36 m de altura; a extremidade	- Duto composto por elementos prismáticos com 24 m de comprimento, sendo 8 m situados no exterior;

	realizada a visita ao local).	m, 17 m e 21 m, respectivamente (HELIOBUS, 2016).	inferior do conjunto dista 4,50 m do piso; - Diâmetro de 1,75 m na extremidade superior e de 0,50 m na inferior (CARPENTER, NORRIS, 2004); - A coluna forma uma espécie de cone com inclinação de, aproximadamente, 1 grau (NAYAR, 2003).	-Diâmetro de 0,80 m (HELIOBUS, 2016d).
Sistema de dissipação	- Painéis refletores e forro reflexivo (THE LOW LINE, 2016); - Lentes difusoras (verificado em visita ao local).	- Parte do duto de vidro (DE VECCHI <i>et al.</i> , 2004).	- Prismas de vidro (CARPENTER, NORRIS, 2004) e a Lycra tensionada (NAYAR, 2003).	- Elementos prismáticos que compõe o duto (HELIOBUS, 2016d).
Sistema híbrido	Sim. Iluminação elétrica é acionada quando o céu está encoberto (verificado em visita ao local).	Não há informação acerca de sensores que detectam os níveis de iluminância transportados pelos dutos, e a estação apresenta iluminação elétrica permanente. Entretanto, durante a noite, o sistema é capaz de refletir a luz elétrica existente no subsolo para o exterior, de forma passiva.	Sim. Há iluminação elétrica (tipo projetores) na cobertura, junto ao sistema de captação de luz natural. Em dias de céu encoberto, esse sistema ilumina artificialmente o átrio. Os vidros prismáticos conduzem a luz elétrica até o primeiro pavimento a ser iluminado e são utilizados, portanto, nas duas situações de céu.	Sim. Iluminação elétrica é acionada à noite para produzir efeito artístico através do conjunto (HELIOBUS, 2016d).
Especificação do sistema de iluminação elétrica	- Lâmpadas com espectro vermelho (para desenvolvimento da vegetação); - Lâmpadas para estimular crescimento da vegetação; - Lâmpadas de descarga de alta intensidade (iluminação geral).	----	- 2 Luminárias com lâmpada Xenon de 2000wda Itália dimerizáveis (NAYAR, 2003). - Cor monocromática durante o dia. - Colorida durante a noite para efeito visual.	- Lâmpadas elétricas tipo LED (HELIOBUS, 2016d); - Cor monocromática durante o dia. - Colorida durante a noite para efeito visual.
Iluminância média em dia de céu encoberto	Dados não encontrados.	Dados não encontrados.	A iluminância mínima captada é de, aproximadamente, 50 lux (NAYAR, 2003).	Dados não encontrados.
Desempenho para dias de céu encoberto	O sistema diminui sua eficiência e a luz elétrica é acionada (verificado em visita ao local).	Dados não encontrados.	A luz elétrica é acionada em dias de céu encoberto, fato que evidencia a diminuição da sua eficiência diante de tais condições de céu (CARPENTER, NORRIS, 2004).	Dados não encontrados.
Iluminância média em dia de céu limpo	Dados não encontrados.	Dados não encontrados.	A iluminância máxima captada é de, aproximadamente, 100 lux (NAYAR, 2003).	O sistema é capaz de alcançar 400 lux no 5º pavimento, e 100 lux no mais inferior (BOUBEKRI, 2014).
Desempenho para dias de céu limpo	O sistema é capaz de captar luz natural (THE LOW LINE, 2016; também verificado em visita ao local).	O sistema é capaz de captar luz natural (HELIOBUS, 2016).	O sistema é capaz de captar luz natural (CARPENTER, NORRIS, 2004).	O sistema é capaz de captar luz natural (BOUBEKRI, 2014).
Presença de vegetação	Sim, diversas espécies.	Dados não encontrados.	Dados não encontrados.	Dados não encontrados.
Vantagens	- Conduz a luz natural em condições de céu limpo;	- Conduz a luz natural em condições de céu	- Conduz a luz natural em condições de céu limpo;	- Conduz a luz natural em condições de céu

	- Não necessita de vãos grandes na estrutura (com 10 cm, aproximadamente, já é possível utilizar a tecnologia, por exemplo); - Permite o uso de luz elétrica;	limpo; - Permite a passagem da luz elétrica para o exterior durante a noite, produzindo agradável efeito estético; - Esteticamente agradável.	- Permite a utilização de luz elétrica, que, neste caso, também pode ser aplicada para produção de efeitos visuais artísticos; - A estética e o efeito da luz são agradáveis; - Permite dissipar e conduzir a luz ao longo de diversos pavimentos;	limpo; - Permite a utilização de luz elétrica, que, neste caso, também pode ser aplicada para produção de efeitos visuais artísticos; - Permite dissipar e conduzir a luz ao longo de 4 pavimentos.
Limitações	- Em situações de céu encoberto, o sistema de luz elétrica precisa ser acionado.	- Em situações de céu encoberto, o sistema, aparentemente, não conduz a luz natural com tanta eficiência.	- Em situações de céu encoberto, o sistema de luz elétrica precisa ser acionado.	- Em situações de céu encoberto, o sistema, aparentemente, não conduz a luz natural com tanta eficiência.
Local visitado pela autora	Sim, em fevereiro de 2017.	Sim, em maio de 2014.	Sim, apenas o prédio, em fevereiro de 2017. Não foi possível visualizar a tecnologia.	Não.

Fonte: a autora.

Dos casos analisados, apenas a Estação de Metrô de Potsdamer Platz (caso B) e a Low Line (caso A, que ainda não foi executada) contemplam espaço subterrâneo. Nesses casos, os dutos percorrem apenas um pavimento para distribuir a luz coletada na superfície. Os dutos de luz dos casos C e D iluminam 12 e 4 pavimentos, respectivamente, e a condução da luz por longas distâncias também indica possibilidade do seu uso em áreas enterradas.

Há aspectos comuns aos quatro exemplares analisados, tais como: preocupação com a estética do sistema projetado, reflexão de luz ao longo de toda extensão dos dutos, utilização de lâmpadas elétricas e de heliostato e capacidade de condução de luz natural em dias de céu limpo. Esses sistemas também estão localizados em cidades com inverno rigoroso, apresentando períodos com neve intensa (dias de céu encoberto).

Por outro lado, eles diferem no formato dos heliostatos (formas arredondadas nos casos A e B, e retangulares em C e D), no sistema de condução e na forma de distribuição da luz coletada. A condução da luz é realizada por fibra óptica e lentes no caso A, e por duto com camada reflexiva (envolto por outra camada de vidro) em B. O caso C utiliza conjunto de painéis de prismas para a transmissão das iluminâncias, e o caso D também usa esse mesmo material – nesse caso, em formato de lentes que se localizam no interior de um cilindro transparente. Para dissipar a luz, geralmente são empregados elementos prismáticos, exceto no experimento da Low Line, em que se utilizam também painéis e forros reflexivos. Nota-se que o emprego de elementos prismáticos é bastante presente nesse contexto.

Salienta-se que a luz elétrica também pode ser utilizada para efeitos artísticos em todos os casos, exceto no estudo de caso A, onde há lâmpadas coloridas apenas para auxiliar

no desenvolvimento de plantas. Nos outros casos, não foram encontrados exemplares de vegetação. Quanto ao caso A, ainda não há dados disponíveis que atestem a eficiência do sistema em garantir a sobrevivência das espécies vegetais. Contudo, as plantas estavam há mais de um ano no laboratório no momento da visita e apresentavam aparência saudável.

A Low Line necessita o menor diâmetro de duto, quando utiliza a fibra óptica. Todos exemplares apresentam diâmetro constante ao longo do duto, exceto o Edifício Morgan Lewis (C), que utiliza forma cônica. Esse também é o exemplar com maior diâmetro (1,75 m a 0,50 m) e que percorre a maior distância (36m). Os dutos da Estação de Metrô da Potsdamer Platz exigem um vão com diâmetro de 1 m para aplicação em distâncias de 14 m a 21m. Diante disso, salienta-se que grandes diâmetros, tais como 1 m, podem implicar necessidade de reforço estrutural e, portanto, maior custo de instalação em edificações já existentes, por exemplo.

Na visita à Low Line, ainda foi verificado que a luz captada e levada para o interior do ambiente provoca ofuscamento dependendo do ângulo em que se encontra o usuário. No Edifício Morgan Lewis, é transmitida luz direta no fim do duto, o que também pode provocar esse fenômeno. Isso pode causar desconforto aos usuários e deve ser evitado. Entretanto, nesse mesmo exemplar, a luz transmitida ao longo dos pavimentos tem efeito difuso, logo não apresenta brilho excessivo (NAYAR, 2003). A limpeza dos vidros e dos painéis também ocasiona maior manutenção do sistema e isso deve ser considerado. Cabe lembrar que diversos aspectos encontrados nesses exemplares (heliostatos, sistemas ópticos e com curvaturas) acarretam custo elevado tanto de execução quanto de manutenção e isso pode ser uma limitação para sua aplicação.

Ressalta-se que, segundo alguns funcionários do Edifício Morgan Lewis entrevistados em fevereiro de 2017 pela autora, esse sistema não funciona de forma adequada, implicando o frequente acionamento das lâmpadas elétricas durante o período diurno. Não foi informado se isso ocorre devido à necessidade frequente de manutenção do heliostato ou devido a um problema de projeto ou instalação do heliostato. Cogita-se, também, a frequente ocorrência de dias nublados como responsável pelo mau funcionamento desse sistema. Com isso, salientam-se a importância de realizar visitas à área e a necessidade de estudo mais aprofundado para verificar as reais causas dessa percepção de alguns usuários do local. Ainda assim, essas informações são relevantes para este trabalho, pois dificilmente são encontrados dados acerca da percepção dos usuários e, até mesmo, informações que vão de encontro àquelas fornecidas pelos fabricantes dessas tecnologias.

Os estudos de caso avaliados forneceram diversas informações sobre essas tecnologias as quais permitem avaliar as vantagens e as limitações da sua utilização. Entretanto, dificilmente são encontradas informações que dizem respeito aos dados de iluminância média fornecida pela tecnologia. Esses dados oferecem parâmetros importantes para esta pesquisa. Diante disso, foram analisados outros exemplares com o objetivo de avaliar esse item, conforme pode ser visualizado na Tabela 2 e na figura 63.

Tabela 2 – Matriz descritiva para análise de iluminância (lux) captada.

Descrição dos exemplares selecionados				
Critérios de análise	Exemplares			
	A: Passagem de pedestres subterrânea Onchunchun	B: Edifício industrial da multinacional POSCO (produtora de aço)	C: Copper Box Olympic Arena	D: Ginásio do Exército CELME
Localização	Busan, Coréia do Sul	Pohang, Coréia do Sul	Londres, Inglaterra	Rio de Janeiro, Brasil
Atividade da edificação	Passagem de pedestres	Edificação industrial; o sistema foi implantado para iluminar local de trabalho em subsolo (THE SUN PORTAL, 2016)	Área de entretenimento, eventos, prática esportiva	Área de entretenimento, eventos, prática esportiva
Fornecedor	Sun Portal	Sun Portal	Desconhecido	Solatube
Distância percorrida pela tecnologia	Percorre 150 m lineares da passagem	O sistema percorre 130 m	1 pavimento de ginásio (aproximadamente 9 m)	1 pavimento de ginásio (aproximadamente 9 m)
Contempla espaço subterrâneo	Sim	Sim	Não	Não
Apresenta preocupação com a estética da tecnologia	Aparentemente, não é o foco	Aparentemente, não é o foco	Aparentemente, percebe-se certa preocupação, mas não é o foco	Aparentemente, percebe-se certa preocupação, mas não é o foco
Sistema de captação	1 heliostato e concentrador (THE SUN PORTAL, 2016).	Um jogo composto por 1 heliostato, 2 espelhos redirecionadores e 1 concentrador (THE SUN PORTAL, 2016).	88 domus em policarbonato (SANCHEZ, GOMES, 2012).	56 domus em acrílico (BACKES, 2009).
Sistema de condução	Duto transparente com lentes	Duto transparente com lentes	88 dutos com 1,5 m de diâmetro, revestidos internamente com película altamente reflexiva (SANCHEZ, GOMES, 2012)	Duto revestido internamente com película altamente reflexiva
Sistema de dissipação	O próprio duto	O próprio duto	Lente difusora no final de cada duto; com sistema de controle de intensidade (SANCHEZ, GOMES, 2012)	Lente difusora no final do duto
Sistema híbrido	Sim	Sim	Sim	Sim (BACKES, 2009).
Tecnologia das lâmpadas elétricas	LED	LED	Desconhecida	14 refletores de vapor metálico de 400 watts (BACKES, 2009).
Iluminância média captada	80 lux (THE SUN PORTAL, 2016)	130 lux (THE SUN PORTAL, 2016)	Desconhecido. Entretanto, gera economia de 40% ao ano aproximadamente (SANCHEZ, GOMES, 2012)	1500 lux entre 10 h e 14 h; 500 lux no restante do dia (BACKES, 2009).

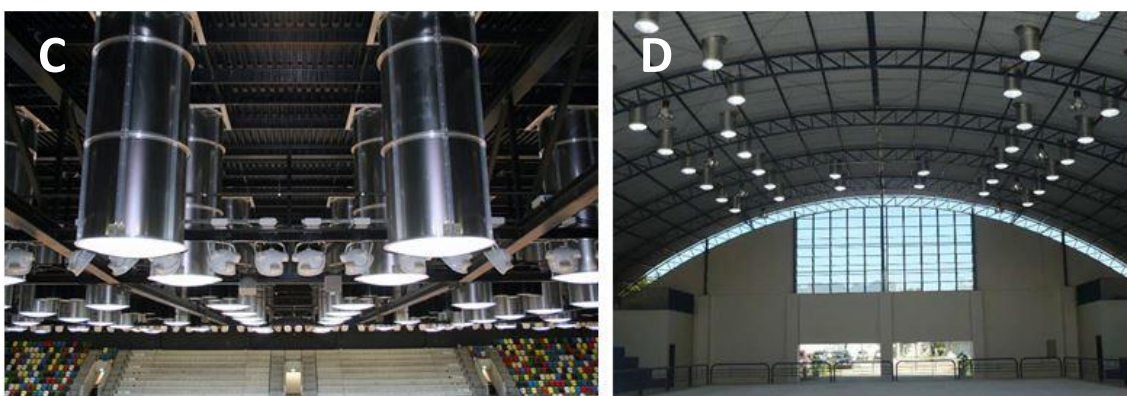
Fonte: a autora.

Alguns dos exemplos citados, não fazem uso de heliostatos e são menos profundos (percorrem aproximadamente 9 m, enquanto os outros têm comprimento que ultrapassam 100 m). Estes, embora transportem a luz natural ao longo de distâncias consideravelmente menores, utilizam um sistema que é mais facilmente executado. Diante disso, surge o questionamento: e se uníssemos esses sistemas ao uso de heliostatos para iluminar áreas muito afastadas da superfície? Há poucos dados no meio acadêmico acerca das iluminâncias fornecidas pelos exemplares aqui estudados. Com dificuldade, as informações dos fornecedores são encontradas. Mas deve-se ter cautela, pois há interesse em fazer propaganda da tecnologia a ser comercializada. Ressalta-se a necessidade de estudo mais profundo com o objetivo de verificar a real eficiência dessas tecnologias no contexto em que serão utilizadas.

Figura 63 - Imagens dos exemplares A (passagem de pedestres subterrânea Onchunchuna), B (edifício industrial da empresa POSCO), C (Centro esportivo Copper Box Olympic Arena) e D (Ginásio do Exército CELME), respectivamente.



Fonte: HELIOBUS, 2016.



Fonte: MCASLAN, 2018.

Fonte: BACKES, 2009.

A escolha e a montagem do sistema de iluminação natural mais adequado dependem do lugar onde será executado (pois cada local do globo terrestre tem um tipo de céu e, portanto, um tipo de luz específico), da iluminância e do tipo de luz desejados no ambiente interno, do peso limite do conjunto a ser montado, do espaço reservado para

o estabelecimento e a passagem dos elementos que o constituem, da estética desejada e do custo que implicará.

Os sistemas de captação aparentemente mais eficientes são aqueles que possuem captador móvel que acompanha o posicionamento do sol ao longo do dia e o concentra para o captador estático responsável por redirecionar a luz para o duto condutor, compondo um sistema de múltiplos espelhos ou lentes. Entretanto, esses sistemas são, geralmente, mais caros que os sistemas de dutos reflexivos. Os dutos condutores apresentam diversas alternativas, mas a largura desse elemento e o material que será responsável pela reflexão da luz são os fatores cruciais para a escolha da tecnologia mais eficiente. Contudo, se o diâmetro a ser utilizado não é uma limitação de projeto, essa estratégia parece ser a mais viável financeiramente. Os sistemas difusores, ou luminárias solares, oferecem alternativas que dependem do tipo de luz e de iluminação desejada e podem ainda ser utilizados em conjunto com a luz elétrica, formando sistemas híbridos.

Este capítulo apresentou os elementos e o funcionamento dos principais tipos de sistemas existentes. Também foram abordados alguns estudos de caso com o intuito de esclarecer o tema proposto, que é difundido na Europa, Ásia e América do Norte e pouquíssimo utilizado no Brasil, país tropical banhado pelo sol e que, conseqüentemente, tem à sua disposição a matéria-prima mais importante para a viabilidade dessa tecnologia - a luz solar.

Capítulo 4 | ESTUDOS DA LUZ NATURAL E DE VEGETAÇÃO EM MODELOS DE ESCALA REDUZIDA

O capítulo 4 é dedicado, inicialmente, ao levantamento de metodologias e referencial teórico para estudo da luz natural em modelos de escala reduzida. Também serão verificadas normas existentes acerca de metodologia para medição da quantidade de iluminação natural. Na sequência, foram levantadas metodologias para estudos dos dutos de luz em modelos de escala reduzida, dos materiais disponíveis para representar o sistema de captação de luz solar, dos tipos de céu existentes e das condições de céu encontradas na cidade de Porto Alegre, dos aspectos da vegetação que devem ser considerados e dos procedimentos para verificar seu desempenho.

4.1 | COMPORTAMENTO E MEDIÇÃO DA LUZ NATURAL EM MODELOS DE ESCALA REDUZIDA

A luz do sol permite que seus estudos sejam realizados em modelos reduzidos, pois o raio solar se comporta nessa situação da mesma forma que na escala real (BODART, DENEYER, 2006). Essa ferramenta apresenta maior facilidade na execução de experimentos devido ao tamanho menor, oferecendo maior viabilidade ao estudo (BODART, DENEYER, 2006; ABNT NBR 15215-4, 2005) desde que o modelo seja adequadamente construído e medido.

Bodart e Deneyer (2006) estabelecem uma série de critérios que devem ser considerados para a execução adequada de modelos. Quanto à materialidade e às dimensões, é de grande relevância que sejam exatamente iguais às do local a ser representado. É importante a vedação do ambiente interno para que não ocorra interferência de outras fontes de luz – efeito que também pode ser chamado de luz intrusiva. Esses cuidados diminuem a inconsistência e os erros nas medições.

Para captura de fotografias, é recomendada a execução do modelo com dimensões adequadas para permitir visuais do objeto de estudo e possibilitar o acesso do equipamento. Ressalta-se a importância de utilizar materiais leves para viabilizar o transporte. As aberturas para acesso ao interior devem ser executadas com fechamentos facilmente removíveis. Para estudos da luz solar, recomendam-se escalas entre 1/10 e 1/100, embora a Norma Brasileira de Iluminação Natural ABNT NBR 15215-4 (ABNT, 2005) aconselhe que não sejam menores que 1/40.

Essa norma apresenta procedimentos matemáticos para estimativa de luz natural no interior da edificação, mas, para a obtenção de tais dados, são utilizadas a simulação computacional e a verificação em experimento em escala reduzida com condições reais de céu. A última parte dessa norma, a ABNT NBR 15215-4 (2005), descreve método de medição da iluminação natural em experimentos, incluindo os de escala reduzida, portanto será estudada e utilizada como referencial teórico também.

4.1.1 | Critérios estabelecidos pela Norma Brasileira de Iluminação Natural – ABNT NBR 15215-4 (2005)

A Norma Brasileira de Iluminação Natural ABNT NBR 15215 (ABNT, 2005) é dividida em quatro partes que têm como objetivo estabelecer recomendações referentes ao uso da luz natural em edificações. A quarta parte, ABNT NBR 15215 – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição (ABNT, 2005) apresenta critérios referentes aos procedimentos e equipamentos de medição de luz em ambientes com escala real e reduzidas, apresentados a seguir.

4.1.1.1 Tamanho do sensor de luz

A célula fotossensível tem grande influência na escolha da escala da maquete. Recomenda-se que seu diâmetro seja, no máximo, 0,20 m na escala do modelo ou que a área do sensor não seja maior que 0,30 m², também na escala utilizada no modelo. Os sensores mais comercializados, contudo, têm entre 0,01 m e 0,02 m de diâmetro. Logo a escala adequada deve ser definida entre 1/10 e 1/20 – dependendo apenas do tipo de sensor a ser adquirido.

4.1.1.2 Quantidade de pontos de medição

A quantidade mínima de pontos de medição é estabelecida para certificar que o erro do nível de iluminação natural seja inferior a 10%, conforme recomendado pela mesma norma. Ela deve ser calculada pela equação 1 e verificada na tabela 3. Essa quantidade deve ser aumentada se necessário, a fim de estabelecer simetria entre os pontos mensurados.

Equação 1 - Quantidade de pontos de medição de luz, ABNT NBR 15215-4.

$$K = \frac{C \cdot L}{Hm \cdot (C + L)}$$

onde:

L: largura do ambiente (m)

C: comprimento do ambiente (m)

Hm: distância vertical entre o plano de trabalho e a altura superior da esquadria – ou a altura inferior da esquadria quando esta tiver peitoril maior que 1 m.

Tabela 3 – Quantidade mínima de pontos a serem medidos

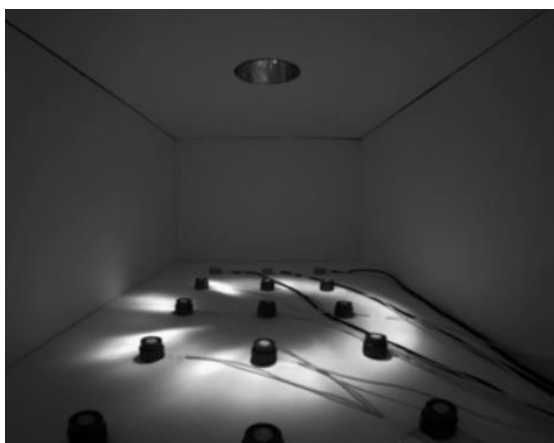
K	Nº de Pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15215-4, 2005.

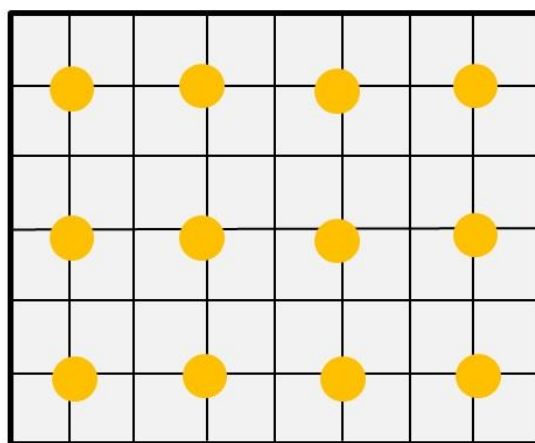
4.1.1.3 Equipamentos e medições

Os equipamentos para medição de iluminância (luxímetros ou sensores de luz) devem ser calibrados periodicamente. Recomenda-se a utilização de malha, dividida em áreas iguais, para marcar os pontos dos sensores (figura 64). É essencial que os sensores sejam numerados e marcados na malha que será fixada na base interna do modelo de escala reduzida, facilitando o correto posicionamento e o monitoramento dos dados obtidos. Recomenda-se que seja realizada, concomitantemente, a medição da iluminância externa de referência. Nesse caso, o sensor deve estar protegido da incidência de luz direta do sol.

Figura 64 – Exemplo de distribuição dos sensores em modelo de escala reduzida e de malha para marcação e controle dos dados.



Fonte: BODART, DENEYER, 2006, p. 5.



Fonte: a autora.

As medições podem ser realizadas em condições de céu reais ou artificiais. Céu artificial proporciona maior controle de variáveis e representa condições estáticas de céu, recomendadas quando a variação de nuvens ao longo do dia não é relevante para o

experimento. São equipamentos caros e devem ser calibrados também. Caso o experimento tenha por objetivo examinar condições reais de determinada localidade, a verificação em condições de céu reais pode ser mais apropriada. Esse procedimento é mais econômico, embora exija que as medições sejam realizadas concomitantemente, devido à variabilidade das condições.

4.2 | O CÉU E A LUZ DE CADA LUGAR: O CASO DE PORTO ALEGRE

A caracterização do tipo de céu é importante para definir a luz natural predominante de cada lugar. Essa informação auxilia na definição do melhor sistema de coleta de luz natural a ser utilizado para levar com eficiência essa luz ao interior das edificações. Neste item serão caracterizadas as fontes de luz natural, os tipos de céus existentes e a luz característica de cada tipo de céu. Em seguida, serão apresentados os dados da cidade de Porto Alegre, com o intuito de identificar o seu respectivo tipo de céu.

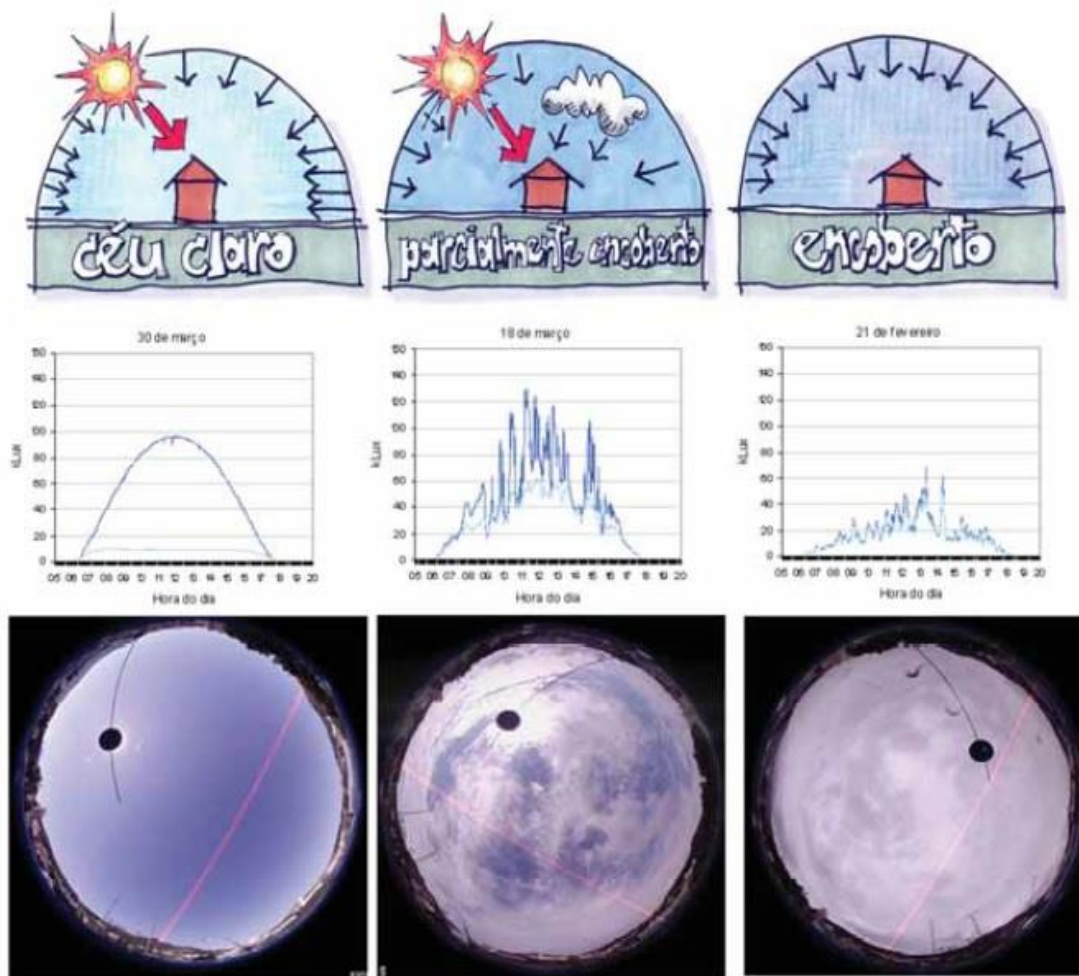
4.2.1 | Fontes de luz natural, tipos de céu e sua luz característica

O sol é a fonte de luz natural, e a sua percepção nos ambientes provém da incidência direta dos raios solares, da sua dispersão no céu ou da sua reflexão em superfícies ou espelhos, por exemplo (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2003). Cada uma delas resulta um tipo de luz definido, respectivamente, como luz direta, luz difusa e luz refletida (ou indireta).

A definição do tipo de luz predominante em cada localidade depende do tipo de céu característico. A Norma de Iluminação Natural ABNT NBR 15215 (ABNT, 2005) adota a definição dos tipos de céu conforme a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, EUA). Os tipos de céu são caracterizados de acordo com a quantidade de nuvens existente: céu claro, 0% a 35% de nuvens; céu parcialmente encoberto, 35% a 75% de nuvens; céu encoberto, 75% a 100% de nuvens (figura 65).

Na figura 65, é possível visualizar os diferentes tipos de céu, os tipos de luz incidente, as iluminâncias e suas variações, e a imagem característica de cada um. Em dias de céu claro, a luz predominante é a luz direta do sol. Ela apresenta altos índices de iluminância, que variam de 60.000 lux a 100.000 lux (LECHNER, 2014). Para o tipo de céu encoberto, a luz predominante é difusa – não direcional. Nesse caso, os índices de iluminância baixam e ficam entre 5.000 lux e 20.000 lux (LECHNER, 2014). Parcialmente encoberto é o tipo de céu claro com nuvens e que alterna, conseqüentemente, luz direta e luz difusa. Esse tipo de céu é mais instável quanto às iluminâncias fornecidas.

Figura 65 – Exemplos de tipos de céu.



Fonte: LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2013, p. 152.

O Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) divide os tipos de céu em quatro categorias, que variam de acordo com os índices de nebulosidade: claro (00-01), parcialmente nublado (02-04), nublado (05-07) e encoberto (08-10). Em Porto Alegre, as medições são realizadas em três momentos do dia: às 12h00, às 18h00 e às 00h00 (INMET, 2016; PRESTES, 2016).

A Commission Internationale de l'Éclairage (CIE ISO 15469, 2003) classifica os tipos de céu considerando variações de céu encoberto, variações de céu parcialmente encoberto e variações de céu limpo. Desse modo, é possível caracterizar um tipo de céu com maior aproximação da realidade. Na tabela 4, são descritos os 15 tipos de céu segundo essa recomendação.

Tabela 4 – Classificação dos tipos de céu segundo a CIE ISO 15469 (2003).

Tipo de céu	Classificação	Descrição
1	Encoberto	Céu encoberto padrão CIE, com alta gradação na direção do zênite e uniformidade no azimute
2	Encoberto	Alta gradação e ligeiro brilho na direção do sol
3	Encoberto	Moderada gradação e uniformidade no azimute
4	Encoberto	Moderada gradação e ligeiro brilho na direção do sol
5	Encoberto	Céu uniforme
6	Parcialmente nublado	Céu sem gradação na direção do zênite e com ligeiro brilho na região do sol
7	Parcialmente nublado	Céu sem gradação na direção do zênite e com alto brilho na região do sol
8	Parcialmente nublado	Céu sem gradação na direção do zênite e com distinta coroa solar
9	Parcialmente nublado	Céu com o sol obscurecido
10	Parcialmente nublado	Céu com região solar com alto brilho
11	Limpo	Céu branco-azulado com distinta coroa solar
12	Limpo	Céu limpo padrão CIE, com baixa turbidez
13	Limpo	Céu limpo padrão CIE, com poluição atmosférica
14	Limpo	Céu sem nuvem, com ampla coroa solar
15	Limpo	Céu turvo branco-azulado, com ampla coroa solar

Fonte: CIE ISO 15469, 2003, adaptado pela autora.

4.2.1.1 Cálculo de luz natural

Dias de céu encoberto (de acordo com a classificação do CIE) podem ser utilizados para calcular a luz natural, pois são a pior situação em quantidade de luz fornecida (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2013). A NBR 15215-3 (ABNT, 2005) recomenda que seja utilizado o cálculo do Fator de Luz Diurna (FLD) – ou *Daylight Factor (DF)*, em inglês – para verificar a contribuição da luz natural nas edificações. Esse fator é utilizado para estimar a quantidade de luz natural em um ponto do plano de trabalho localizado em ambiente interno. O FLD é a relação percentual entre a iluminância medida externamente e a iluminância medida no ponto de trabalho (BOUBEKRI, 2014; LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2013; ABNT NBR 15215, 2005), dada pela equação:

Equação 2 – Cálculo do Fator de Luz Diurna (FLD), ABNT NBR 15215-3.

$$DF = \frac{E_p}{E_{ext}} \times 100(\%)$$

Onde:

E_p : iluminância em um ponto do plano horizontal de trabalho no interior do ambiente (lux);

Ext: iluminância produzida pela abóbada celeste em um plano horizontal externo, excluída a iluminação direta do sol (lux)

Esse fator auxilia na avaliação da quantidade de luz natural em um ambiente interno. Na tabela abaixo, são apresentados os níveis recomendados. Se o nível calculado está acima desses valores, significa que a quantidade de luz é suficiente.

Tabela 5 – Contribuição da iluminação natural em ambientes internos.

Tipo de ambiente	Daylight Fator (%)
Estúdios de arte, galerias	4-6
Fábricas, laboratórios	3-5
Escritórios, salas de aula, ginásios, cozinhas	2
Halls, foyers, salas de estar, igrejas	1
Corredores, dormitórios	0.5

Fonte: LECHNER, 2014, p. 409, adaptado pela autora.

Entretanto, esse cálculo não considera a luz direta do sol, devido à transmissão de carga térmica, degradação de materiais e ofuscamento (NBR 15215-3, 2005). Em situações nas quais a luz natural direta incidente e o ganho de calor são relevantes, esse cálculo pode não ser o mais adequado. Deve-se enfatizar ainda que esse método não considera o posicionamento da edificação nem as variações de luz quando da ocorrência de céu parcialmente coberto (TOLEDO, 2013).

4.2.2 | Condições de céu de Porto Alegre

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2016) (ver anexo A), o tipo de céu predominante em Porto Alegre é parcialmente encoberto, ou seja, alterna momentos de céu encoberto e de céu claro.

Para conduzir a luz a longas distâncias sem necessitar grandes diâmetros (conforme visto no capítulo anterior), é necessário um sistema de concentradores – como espelhos - de luz natural que desempenhem de forma eficiente para a coleta de luz solar direta. A luz difusa (céu encoberto) apresenta dificuldades para ser concentrada, e essa particularidade se acentua em longas distâncias.

Uma alternativa pode ser a utilização de sistemas híbridos, bastante difundidos, que acionam um sistema de iluminação elétrica quando a iluminância captada não é suficiente para atender à demanda total (MAYHOUB, CARTER, 2011; THE SUNPORTAL, 2016). Nesses casos, a luz natural coletada, mesmo que em baixas quantidades, pode agir como complemento da iluminação total se o sistema for dimerizável. Ainda assim, é importante testar essas tecnologias nas diversas condições de céu, quando possível,

com o intuito de analisar a diversidade de seu comportamento e de identificar seus potenciais e suas limitações.

4.3 | DUTOS DE LUZ EM ESCALA REDUZIDA

Há diversas pesquisas (TAENGCHUM *et al.*, 2014; HANSEN, EDMONDS, 2003, 2015; HANSEN, EDMONDS, BELL, 2009; LUZ, 2009; ARRIGONE, MUTTI, 2008; HANSEN, 2006; FANTINELLI, 2005; SILVA, 2005) que adotaram os modelos em escalas reduzidas para a verificação dos sistemas de captação e condução da luz do sol, obtendo dados satisfatórios.

Painéis cortados a laser (HANSEN, EDMONDS, 2003, 2015; HANSEN, EDMONDS, BELL, 2009; HANSEN, 2006) e concentradores de espelhos parabólicos (TAENGCHUM *et al.*, 2014) foram os sistemas de captação utilizados. Nesses experimentos, os captadores apresentaram significativa melhora no desempenho do sistema. Os outros estudos (ARRIGONE, MUTTI, 2008; FANTINELLI, 2005; SILVA, 2005) foram realizados para simular ambientes que não fossem profundos, iluminando de um a dois pavimentos. Nesse caso, os dutos de luz com material reflexivo internamente (alumínio e espelho) já eram capazes de levar luz para os ambientes internos. Bruna Luz (2009) realizou experimentos em escala reduzida em profundidades maiores, mas seu intuito era verificar apenas o comportamento dos dutos condutores. Os dutos espelhados, com maior refletância, são os que apresentaram melhor eficiência. No entanto, em grandes profundidades, os dutos mostraram baixa eficiência. Cabe ressaltar que, nesse caso, não foi utilizado qualquer elemento que pudesse aperfeiçoar a captação solar, como espelhos móveis ou concentradores de raios solares, indicando uma lacuna em relação a esse tema no contexto brasileiro e um caminho para a continuidade do estudo.

Conforme Hansen (2006), a utilização de dutos reflexivos internamente implica menor custo, é mais fácil de executar e já foi empregada em larga escala anteriormente. Ele acrescenta que *Miro Silver* e *Spectralight*¹⁹ são materiais eficientes para esse uso. Entretanto, a dificuldade de se curvar esses materiais espelhados, o ângulo de incidência do raio luminoso e o diâmetro exigido são as limitações desse sistema. O emprego de captadores móveis, por sua vez, pode aliviar esses dois últimos fatores levantados. O uso desse tipo de condutor de luz, associado a um captador de painel cortado a laser, é uma solução eficiente e simples. Para grandes profundidades, todavia, é necessária a otimização da captação de luz através do uso de concentradores, como os espelhos móveis.

¹⁹ Esses materiais são lâminas de alumínio altamente reflexivos, 98% e 99% de refletividade, respectivamente (HANSEN, 2006).

Sistemas coletores móveis, embora sejam mais caros e necessitem de maior manutenção, são mais eficientes sob diferentes condições e permitem uma seção mais reduzida do elemento que conduzirá a luz natural ao longo dos pavimentos de edificação, além de aperfeiçoarem a captação de quantidade de luz ao seguir o movimento do sol ao longo do dia e do ano. No entanto, o desempenho desses sistemas diminui quando a única fonte de luz é difusa – característica de céu encoberto (HANSEN, 2006).

Akhadov *et al.* (2013) realizou experimento para avaliar a capacidade de um sistema, composto por espelho móvel e três espelhos fixos, para captar e refletir a luz natural a longas distâncias, simulando espaços enterrados. O experimento foi realizado em escala real e mostrou ser possível conduzir a luz natural a longas distâncias e com eficiência. É importante salientar que o experimento foi realizado em condições de céu limpo, recebendo luz direta. No Brasil, se desconhecem experimentos com captação através de espelhos.

Conforme Toledo (2013), os materiais recomendados para revestimento interno do duto condutor são alumínio com 99% de refletividade, alumínio TS-V98100, *Spectralight* e *Mylar*, que oferece 90% de refletância (PROFESSIONAL PLASTICS, 2016). O material recomendado pelo mesmo autor para a confecção dos dutos é o alumínio, devido a seu baixo peso em relação a outros materiais, além disso ele oferece resistência a agentes externos, quando tratado adequadamente, e é encontrado no mercado nacional em espessuras significativamente pequenas, como 0,001 m.

4.4 | SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO VEGETAL EM MODELOS DE AMBIENTES SUBTERRÂNEOS

Os espaços subterrâneos são ambientes envoltos por solo, com baixas quantidades de luz natural, úmidos, minimamente ventilados e com temperaturas que oscilam pouco em relação à superfície e diminuem à medida que a profundidade aumenta (RODRIGUES, 2009). Para testar um ambiente enterrado em modelos de escala reduzida, essas variáveis devem ser reproduzidas na medida do possível (exceto quando alguma delas não influencia no resultado a ser alcançado) a fim de obter resultados satisfatórios no cultivo de vegetação.

Diversos aspectos devem ser considerados quando se cultiva vegetação. Kampf (2005) apresenta uma série de cuidados a serem tomados quando se trabalha com plantas ornamentais. Entre eles estão as características de substrato, de luz, de temperatura, de irrigação, de adubação, de propagação e de controle de doenças e pragas. Essas

propriedades serão o assunto das próximas linhas deste texto (itens 4.4.1 a 4.4.3) e têm como referência o trabalho de Kampf (2005).

4.4.1 | Substrato

O substrato é a camada que abriga as raízes das plantas cultivadas em recipientes e é ele que deve fornecer os nutrientes necessários para que o vegetal se desenvolva, além de servir como suporte para este. O material que compõe o substrato deve oferecer condições apropriadas para a penetração e a nutrição das raízes. Para isso, fatores como a densidade, a porosidade, a disponibilidade de ar e de água, o poder de tampão (capacidade de manter quantidades adequadas de sais para nutrir o vegetal), salinidade (quantidade de sais solúveis disponível) e o valor do pH devem apresentar índices adequados para garantir o desenvolvimento das espécies vegetais selecionadas.

Cada planta tem necessidades específicas, e o substrato deve procurar supri-las. Os diferentes tipos de substrato, contudo, apresentam vantagens e limitações, sendo difícil atender a todas as exigências da planta. Por isso, é bastante comum formar um substrato com mais de um material, buscando estabelecer um conjunto que seja mais satisfatório para o maior número de propriedades possível.

4.4.2 | Luz, temperatura, irrigação, adubação e propagação

Outra condição importante para o desenvolvimento de grande quantidade de espécies vegetais é a presença de luz. Essa onda eletromagnética é capaz de promover diversos processos que interferem no desenvolvimento e na saúde do vegetal, como “fotossíntese, fotomorfogênese e fototropismo” (KAMPF, 2005, p. 89). Para sobreviverem, as plantas devem receber ao menos 300 lux ao longo do período diurno (fotoperíodo), que, em Porto Alegre, por exemplo, varia entre 14h04min e 10h13min, conforme mencionado anteriormente.

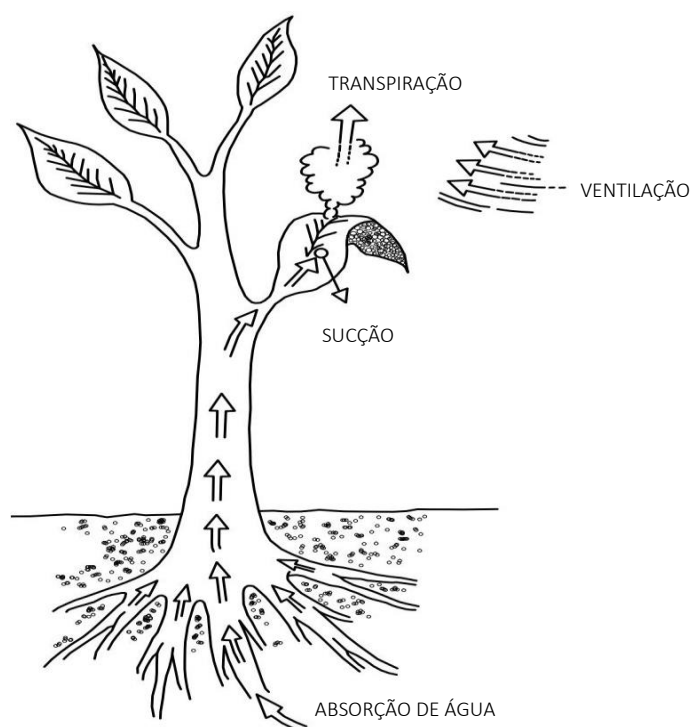
As espécies vegetais podem necessitar de períodos longos ou curtos de exposição à luz do dia. Esse intervalo também pode variar de acordo com a estação do ano. É importante enfatizar que as plantas conseguem ter as suas atividades fisiológicas induzidas também pelo uso de lâmpadas elétricas, embora as propriedades de luz desses materiais não sejam iguais ao espectro eletromagnético da luz solar.

O sol transmite aproximadamente 50% da sua energia em forma de calor, o que também precisa ser considerado quanto se trabalha com plantas, principalmente quando existe incidência de luz direta (KAMPF, 2005). As espécies vegetais apresentam

tolerâncias diferentes à temperatura²⁰, e esse fator influencia nos diversos processos fisiológicos.

A irrigação, quando em quantidades adequadas, tem o papel de manter a hidratação eficiente da planta. O processo de hidratação começa pelas raízes (por meio dos pelos absorventes) e segue seu trajeto ao longo da planta até atingir as áreas superficiais (Figura 66). O processo de sucção de líquido se dá pela transpiração que ocorre nas folhas. A movimentação do ar ao redor do vegetal também é capaz de influenciar no seu processo de absorção hídrica. Cada planta apresenta necessidade específica de quantidades de água, e um sistema de irrigação eficiente deve buscar atendê-la na quantidade e frequência necessárias.

Figura 66 – Esquema de hidratação de plantas.



Fonte: adaptado de KAMPF, 2005, p. 172.

Ressalta-se que, na água de irrigação, também podem ser adicionados componentes nutritivos, auxiliando no processo de adubação do substrato. A adubação é responsável por fornecer os nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta. Ela pode ser realizada no preparo do substrato e também adicionada de forma complementar depois de plantado o vegetal. Conforme explicado anteriormente, cada espécie vegetal

²⁰ Em Kampf (2005), é apresentada a temperatura considerada excelente para alguns vegetais, que, em média, fica em torno de 20°C. Não significa, porém, que, em temperaturas diferentes, dentro do limite tolerável, a planta não se desenvolva e consiga cumprir suas atividades fisiológicas. Nesse caso, seu rendimento será diminuído (para maiores informações ver Kampf (2005)).

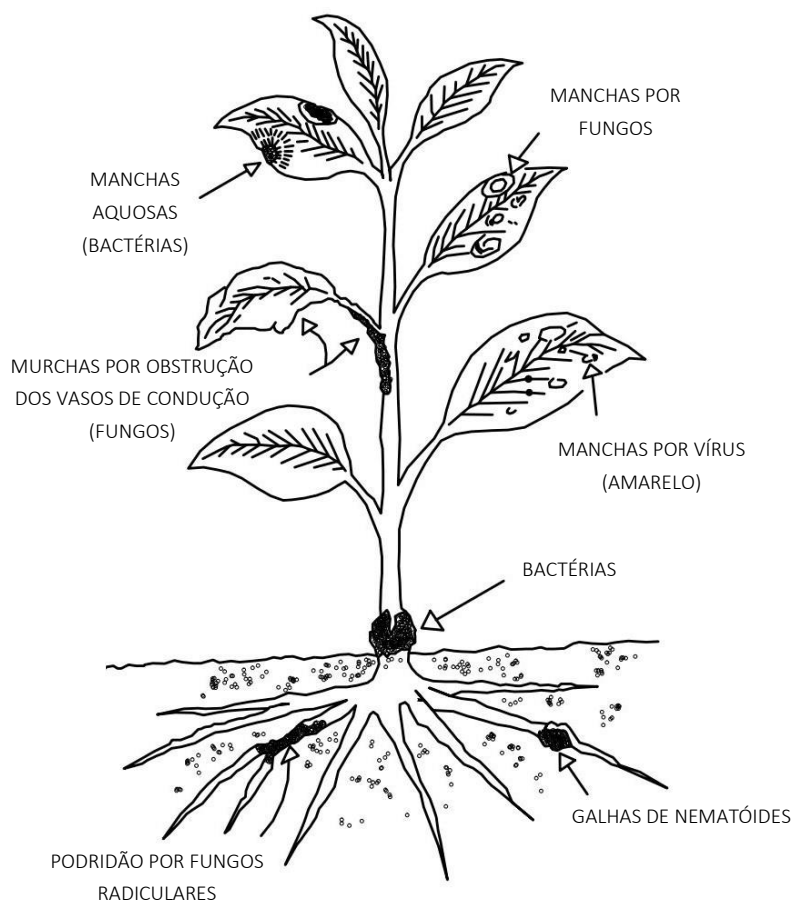
apresenta necessidades diferenciadas, e isso deve ser considerado na escolha da composição do adubo e do substrato mais adequados.

Quanto à propagação das plantas, é importante saber o tipo de reprodução da espécie a ser definida para que se evite seu alastramento (caso não seja bem-vindo) ou visando prever maior área para sua acomodação no recipiente e a necessidade de readequação dos fatores mencionados anteriormente, como quantidade de irrigação, material do substrato e quantidades de nutrientes. Entende-se que a necessidade de readequação depende da quantidade de plantas novas. Quando o número for pouco considerável e dependendo da espécie, pode não ser preciso esse ajuste.

4.4.3 | Controle de doenças e pragas em plantas

A degradação da saúde do vegetal pode ser causada por diversos fatores e, quando diagnosticada, é capaz de mascarar inclusive o agente que deu início ao processo. Por isso a necessidade de controle das propriedades, conforme citado anteriormente, visando diminuir as variáveis do conjunto, e de acompanhamento frequente dos aspectos visuais da planta (figura 67). Assim, é possível detectar rapidamente qualquer indício de desequilíbrio no aspecto estético da planta e agir com maior eficácia.

Figura 67 – Exemplos de sintomas e seus diferentes agentes causadores.



Fonte: adaptado de KAMPF, 2005, p. 200.

Para evitar a ação de microrganismos vivos é importante adquirir as espécies de produtor certificado, impedir a propagação de seus insetos transmissores e controlar outros meios que também possam transmiti-los (como a água da irrigação ou até mesmo o substrato). Ressalta-se a importância da higienização do local e dos instrumentos de manutenção a fim de auxiliar nesse controle e conter a propagação dos agentes. O vegetal pode ser tratado depois de infectado, dependendo do motivo que causou o dano, conforme pode ser visto nos exemplos do Quadro 1.

Quadro 1 – Exemplos de sintomas, disseminação, prevenção e controle de patógenos.

Agente	Sintomas	Disseminação	Prevenção	Controle
Fungos	Cancros Galhas Podridões Murchas Manhas Tombamento Pústulas pulverulentas	Água Animais Vento Ferramentas Plantas doentes Sementes Homem	Plantas resistentes Boa drenagem Boa ventilação Antitranspirante Óleos Fungicidas	Eliminar partes contaminadas Eliminar planta doente Fungicidas químicos ou orgânicos Solarização Calor
Bactérias	Murcha Manhas Podridão de raízes Galhas Cancro	Pingos d'água Água corrente Insetos Animais Ferramentas Plantas doentes	Sementes sadias Plantas resistentes Plantas sem ferimentos	Retirar tecido doente Fungicidas cúpricos (efeito parcial) Bactericidas
Viroses	Mosaico Tufos de folhas pequenas Folhas deformadas Manchas anelares Amarelecimento	Vento Água Insetos Homem Ferramentas	Evitar ferimentos Sementes e mudas certificadas Eliminar insetos vetores Evitar plantas daninhas Não manusear as plantas quando molhadas	Eliminar plantas doentes
Nematóides	Distorção em flores e folhas Amarelecimento Murcha Nanismo Galhas radiculares	Solo Ferramentas Botas Plantas infectadas	Limpeza de ferramentas e botas Aumentar matéria orgânica = aumenta inimigos naturais Plantas resistentes Sem filmes d'água	Solarização Rotação cultural Tagetes Químico

Fonte: adaptado de KAMPF, 2005, p. 201.

Vale destacar que, além de possíveis transmissores de microrganismos patógenos, os insetos também podem apresentar-se como pragas e danificar as plantas. Há insetos que se alimentam de plantas (como os pulgões - que são caçados por joaninhas - e percevejos) e outros que apenas as atacam ou as cortam (como formigas, por exemplo). Existem ainda outros animais capazes de desequilibrar a saúde do vegetal, como ácaros,

pioelhos de cobra, tatuzinhos, lesmas, caracóis e nematoides (os quais são muito pequenos e quase imperceptíveis ao olho humano).

A escolha de materiais adequados, bem como o seu controle, higiene e acompanhamento visual frequente, são extremamente importantes para promover a saúde do vegetal. Isso faz com que seja mais eficiente e rápida a ação quando ocorre algum desequilíbrio. Ainda assim, para um diagnóstico mais preciso de qualquer problema que o vegetal possa apresentar, é importante a presença de profissional da área capacitado e já habituado com o objeto de estudo. Deve-se salientar que o controle do maior número possível de variáveis é um dos principais instrumentos para um diagnóstico mais exato. A falta de controle pode dificultar esse procedimento e apresentar-se, portanto, como limitação de pesquisa.

4.4.4 | Vegetação em modelos de escala reduzida

A presença de luz em quantidades adequadas, a utilização de substrato equilibrado, a ventilação natural e a irrigação em quantidade e frequência suficientes são essenciais para a sobrevivência das espécies, assim como as diversas outras propriedades mencionadas anteriormente. Portanto, esses aspectos precisam estar contemplados ao se realizar um experimento com vegetação.

O tamanho da planta e as espécies a serem utilizadas devem ser apropriados para as condições que serão oferecidas. Modelos de escalas reduzidas permitem o uso de vegetação de tamanho pequeno, com altura de 0,20 m, por exemplo. Se forem ocupar o mesmo recipiente, é importante que as espécies vegetais selecionadas apresentem necessidades semelhantes quanto ao substrato, ventilação, quantidades de luz, irrigação e temperatura para viabilizar e facilitar a manutenção. Isso também auxilia no maior controle de variáveis. Se for utilizada mais de uma espécie, é necessário considerar o fator de competição entre elas e, dependendo do objetivo do estudo, essa união deve ser evitada.

Sendo assim, as espécies vegetais devem ser selecionadas depois de conhecido o contexto no qual serão inseridas. A viabilidade de se adquirir os materiais necessários para o desenvolvimento da planta também deve ser levada em conta. A impossibilidade de se adquirir algum material ou de se atingir uma característica pode oferecer uma limitação para o uso de determinadas espécies em estudos nos quais a quantidade de luz natural a ser fornecida ainda não é conhecida com exatidão. Logo é importante que se estabeleçam essas premissas para, após selecionar a planta mais adequada - considerando aspectos como temperatura e umidade do ambiente -, estabelecer o substrato e o sistema de irrigação mais apropriados.

4.4.5 | Metodologias para verificar o desempenho da vegetação em modelos de escala reduzida

Há metodologias mais complexas para avaliar o desempenho de espécies vegetais, que necessitam de equipamentos, procedimentos e métodos adequados para se avaliar também estatisticamente um experimento. Uma das técnicas é a análise de partes secas do vegetal, por exemplo. Para este trabalho, porém, no qual o uso de vegetação apresenta caráter exploratório, a observação dos aspectos visuais da planta pode ser uma ferramenta eficiente.

Conforme levantado anteriormente, a análise visual da planta fornece indicativos se a sua saúde encontra-se em equilíbrio ou não. Recomenda-se que essa observação seja diária para evitar a propagação de eventuais danos à espécie utilizada. É importante sistematizar os procedimentos de observação para obter dados organizados e capazes de serem comparados.

O acompanhamento do crescimento e da aparência física da planta pode ser ferramenta aplicada com facilidade e agilidade, além de ser menos custosa. A vegetação cresce nos sentidos vertical e horizontal. Assim, é importante medir periodicamente essas dimensões para verificar o seu comportamento. Esse procedimento pode ser feito por meio de paquímetros ou de réguas. O uso de folhas brancas como painel de fundo do vegetal também pode auxiliar no acompanhamento do crescimento.

O aspecto visual e o crescimento também podem ser facilmente documentados por meio de fotografias e da análise de cores e da textura da vegetação. Nesse caso, a análise da cor pode ser feita por meio de escalas de tons de verde a fim de constatar eventual variação. Ressalta-se ainda a importância de se acompanhar as diversas propriedades que influenciam no desenvolvimento da planta, conforme citado nos itens anteriores. Esse acompanhamento deve ser feito por profissional da área, para estabelecer uma análise correta e procedimentos adequados.

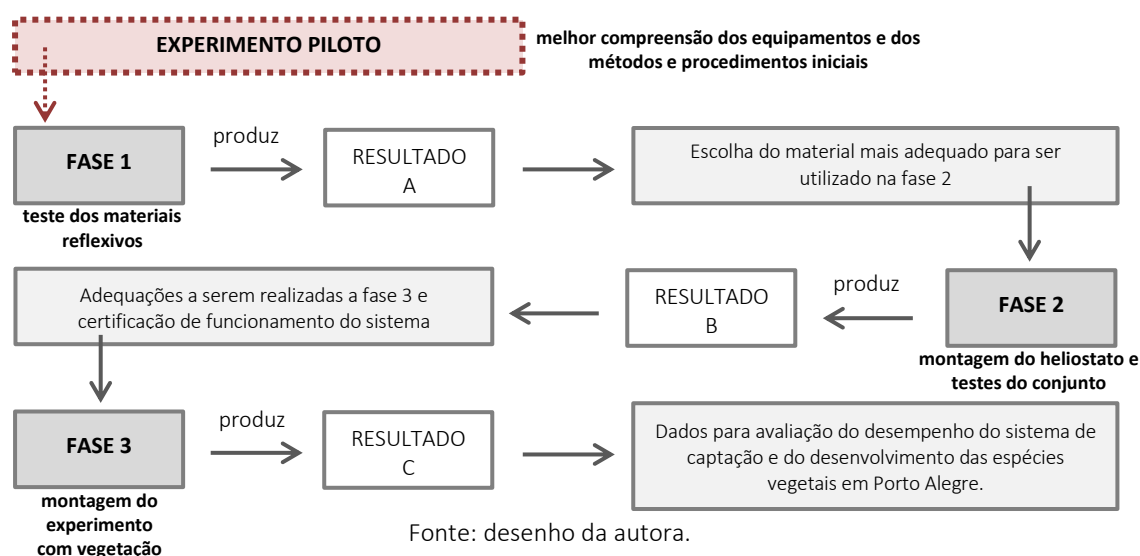
Capítulo 5 | MÉTODO

Esta pesquisa, de caráter experimental, começou com a revisão do referencial teórico, visando abordar os conceitos de arquiteturas subterrâneas, iluminação natural e vegetação relacionados ao bem-estar humano. Posteriormente, estudaram-se as tecnologias de captadores e de condutores de luz natural disponíveis, a fim de aprofundar a compreensão do tema e das tecnologias existentes. Na sequência, realizou-se investigação acerca dos métodos para avaliação do comportamento da luz natural e da vegetação. Essas etapas promoveram o conhecimento necessário para conduzir à escolha das tecnologias e metodologias mais adequadas para este estudo, que teve como objetivo verificar a capacidade de dutos de luz para auxiliar no desenvolvimento de vegetação em áreas subterrâneas. Para tal, realizou-se experimento com modelos de escala reduzida, constituído de um teste piloto e de outras três fases, sendo a última composta por estudos de caso.

5.1 | PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

Primeiramente, executou-se o experimento piloto para verificação dos procedimentos iniciais, conforme mostra o esquema abaixo (figura 68). Após, iniciou-se a fase 1, na qual foram realizados testes com diferentes materiais reflexivos com o intuito de estabelecer o mais eficiente para utilização na etapa seguinte. Na fase 2 foram definidas as espécies vegetais, realizaram-se testes com diferentes alturas de dutos de luz e foi fabricado o heliostato para aumento da eficiência do conjunto. A terceira fase foi constituída pelo experimento final, etapa em que foram construídos o sistema de iluminação natural e o respectivo ambiente que abrigou as plantas. Nessa etapa, foram colocados em prática três estudos de caso e foi acompanhado o comportamento de cada conjunto.

Figura 68 – Diagrama do experimento.



Fonte: desenho da autora.

Os dados coletados foram organizados e analisados para verificar se as estratégias utilizadas atingiram os objetivos da pesquisa, bem como para identificar melhorias a serem propostas para as tecnologias existentes no contexto da cidade de Porto Alegre. Cabe salientar que as fases 1 e 2 do experimento foram objeto de publicações durante esse processo, nas quais estão detalhadas (BYSTRONSKI, MARTAU, 2017; BYSTRONSKI, COSTA-NETO, MARTAU, 2017; BYSTRONSKI, MARTAU, COSTA-NETO, 2017). Esse material pode ser encontrado no Anexo B.

5.1.1 | Construção de modelos de escala reduzida e experimento piloto

Foram realizadas maquetes em escala 1/20, pois esse tamanho mostrou-se adequado para o transporte e execução do conjunto que foi realizado, bem como atende os parâmetros recomendados, verificados no capítulo anterior. Executaram-se modelos de dutos de luz em ferro, que receberam revestimento reflexivo e conduziram a luz natural para o interior de caixas produzidas com madeira (detalhados nas etapas a seguir). No interior destas, as quantidades de luz solar obtidas foram mensuradas por células fotossensoras tipo *loggers* HOBO UA-002-64, capazes de medir iluminâncias (lux) e temperatura (°C), e de armazenar os dados coletados.

Esse equipamento oferece capacidade de submersão em água, possibilitando seu uso em áreas externas e úmidas, e foi programado para medir em intervalos de tempo definidos através do *software* HoboWare PRO. O sensor é conectado ao computador através de um cabo coletor de dados com base óptica USB (BASE-U-1) (figuras 69 e 70). O sensor de luz é menor que 1 centímetro; sendo assim, o uso de maquete na escala 1/20 revela-se adequado (ABNT NBR 15215-4, 2005).

Figura 69 – À esquerda, o sensor HOBO, à direita, esquema da conexão do sensor com o computador e o software.



Fonte: ONSET, 2016.

Figura 70 – Cabo conector e tela do software HoboWare PRO.



Fonte: SIGMA SENSORS, 2016.

Os modelos de escala reduzida foram testados na área externa de residência situada no bairro Ipanema na cidade de Porto Alegre (latitude $30^{\circ} 1' 59''$ S, longitude $51^{\circ} 13' 48''$ O) (figura 71). A área escolhida localiza-se no pátio da residência da mestranda e está situada em zona urbana predominantemente residencial (figura 72). As edificações do entorno têm dois pavimentos em média, permitindo acesso da luz natural. Durante o mês de agosto de 2018, no inverno, época em que foi iniciado o experimento com vegetação (fase 3), a média de incidência de luz solar verificada no local equivale a 11,5 horas. Essas condições viabilizam a verificação do desempenho do sistema proposto e também aproximam este estudo de um contexto urbano real.

Figura 71 – Localização do experimento no bairro Ipanema, zona sul da cidade de Porto Alegre.



Fonte: adaptado de Google Maps (2018).

Figura 72 – Localização do experimento e o respectivo entorno urbano.



Fonte: adaptado de Google Maps (2018).

Cabe lembrar que, conforme verificado no capítulo anterior, recomenda-se a realização de estudos da luz natural em áreas com vista para o horizonte a fim de minimizar o maior número possível de interferências, como edifícios vizinhos, visto que eles podem refletir e emitir luz, distorcendo dados obtidos. Contudo, essas áreas são mais facilmente encontradas em locais afastados dos grandes centros urbanos, e isso dificultaria o controle do experimento, que durou 52 dias, além de afastar o estudo de um contexto real de cidade. O fácil acesso ao conjunto possibilitou constatar com agilidade defeitos nos dispositivos e garantiu maior eficiência na solução de problemas. Além disso, a possibilidade de acesso às espécies vegetais sem restrições de horário permitiu a coleta de dados à noite, requisito importante para diminuir o risco de interferência de luz natural intrusiva no experimento. Na sequência, segue a descrição do teste piloto.

5.1.1.1 Experimento piloto – primeiro contato com o contexto

Foi realizado teste inicial (nos dias 5, 7 e 8 de agosto de 2016) com caixa de papelão compartimentada internamente em dois ambientes. Cada ambiente (0,25 m x 0,30 m x 0,25 m) foi iluminado por um duto de luz de dimensões idênticas, mas de materiais diferentes (espelho e alumínio), ambos em formato quadrado com lado de 0,04 m e altura de 0,20 m (figuras 73 e 74). Foi possível verificar que o duto de espelho era aproximadamente duas vezes mais eficiente que o de alumínio. Os sensores mediram iluminâncias internamente, as quais variaram de 80 lux a 600 lux.

Figura 73– Imagem do experimento em papelão e das condições de céu do dia 5/8/16 (parcialmente nublado).



Fonte: foto da autora.

O teste piloto teve como objetivo um primeiro contato com os processos envolvidos na condução de luz natural através de dutos e na execução desses sistemas. Esse teste também foi parte de estudo dirigido realizado pela mestrandia com o objetivo de compreender o manuseio e o funcionamento dos sensores de luz.

Figura 74 – Imagem dos sensores no interior do modelo em escala reduzida e dos materiais utilizados no teste piloto em 5/8/16.



Fonte: foto da autora.

5.1.2 | Fase 1 – Definição do material reflexivo mais adequado

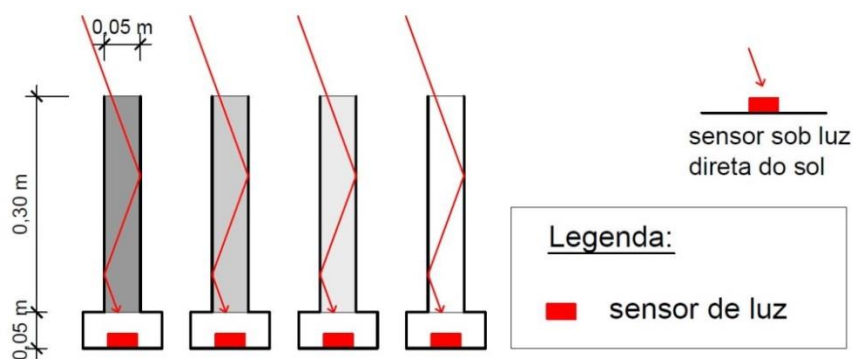
A fase 1 do experimento teve como finalidade verificar a eficiência de materiais reflexivos disponíveis no contexto local para a utilização em dutos condutores de luz natural. Os materiais²¹ reflexivos testados inicialmente foram: aço inox polido, alumínio polido, película reflexiva para vidros e pintura com tinta branca.

Foram confeccionados modelos cilíndricos de ferro em escala 1/20, revestidos internamente com os respectivos materiais reflexivos, com 0,30 m de altura e 0,05 m de diâmetro cada, equivalente a 6 m e 1 m em escala real, respectivamente (figura 75). A película reflexiva necessitava ser colada em uma superfície e adquiriu aspecto rugoso ao passar pelo processo de produção do duto. Para possibilitar o teste desse material, foi preciso colocá-lo solto dentro do duto de ferro, o que limitou sua aplicação nas próximas etapas desse estudo. Os dutos foram apoiados em caixas de madeira (do tipo

²¹ Conforme constatado na revisão bibliográfica, os materiais recomendados para a execução de dutos de luz devem ter altos índices de refletividade. Materiais como lâmina MYLAR®, alumínio TSV98100 ou Spectralight apresentam 90%, 98% e 99% de refletividade, respectivamente (TOLEDO, 2013). Entretanto, não foram encontrados no mercado local. Ainda assim, essas informações instigaram a busca por materiais como alumínio ou aço inox polidos. Esses materiais são mais facilmente encontrados, e o processo de polimento pode deixar a superfície com efeito espelhado, aumentando sua reflexão. A lâmina MYLAR® teria de vir de outro estado (Santa Catarina), o que implicaria aumento de custo da pesquisa, inviabilizando seu uso naquele momento. Seu aspecto é branco leitoso, característica que aponta a utilização de pintura na cor branca como alternativa, que pode chegar a 95% de refletividade (KREZINGER, 1987). Películas reflexivas para vidros têm reflexão entre 60% e 80%, conforme pesquisa realizada no mercado local, por esse motivo também foram selecionadas para os testes.

Medium-Density Fiberboard – MDF), que continham os sensores em seu interior, colocados sempre na mesma posição – no eixo do duto (figura 76). Essas caixas foram fechadas para evitar a interferência de luz intrusiva. Esse processo de montagem e seus respectivos ajustes estão detalhados no Anexo B (BYSTRONSKI, MARTAU, 2017).

Figura 75 – Fase 1 do experimento: ilustração dos dutos condutores de luz natural e localização dos sensores.



Fonte: desenho da autora.

Os testes ocorreram em um dia de céu parcialmente nublado. Sob essa condição de céu, foi possível verificar o desempenho da condução de luz natural direta e difusa. As medições foram realizadas simultaneamente em intervalos de 30 minutos. Foi utilizado sensor externo, que mediu a quantidade de luz direta do sol, para fins de cálculo da porcentagem de transferência de luz dos dutos. Esse sensor foi posicionado na mesma altura da extremidade superior dos cilindros (figuras 75 e 76). Em uma planta baixa, foi marcado o posicionamento de cada cilindro e o número do seu respectivo sensor para controlar os dados obtidos.

Figura 76 – Fase 1 do experimento: à esquerda, imagem dos 4 dutos de luz durante o teste dos materiais reflexivos, e à direita, condição do céu no dia - parcialmente nublado.



Fonte: foto da autora.

Na sequência, foram disponibilizadas amostras de alumínio TSV95100, fornecidas por empresa²² localizada na cidade de São Paulo, Brasil. Esse material também é conhecido como Alumínio Vega 95 e apresenta 95% de refletividade (ALMECO GROUP, 2017). Visualmente, ele apresenta aspecto mais espelhado que aqueles encontrados no mercado local. Foram realizados novos testes com o propósito de comparar o desempenho desse material com aquele que foi eleito o mais reflexivo no experimento inicial (figura 77) (BYSTRONSKI, MARTAU, COSTA-NETO, 2017). Os dois dutos foram testados simultaneamente em dia de céu parcialmente nublado.

Figura 77 – Segundo teste da fase 1 do experimento: comparação entre o material eleito mais reflexivo inicialmente e o alumínio TSV95100.



Fonte: foto da autora.

5.1.3 | Fase 2 – Estudos dos dutos de luz, construção do heliostato, adequação do sistema de iluminação natural e definição das espécies vegetais

Nesta etapa, foram conduzidos testes com o duto de 1,50 m²³, que foi utilizado na próxima fase do experimento. Também foram realizados os estudos dos dutos de luz e

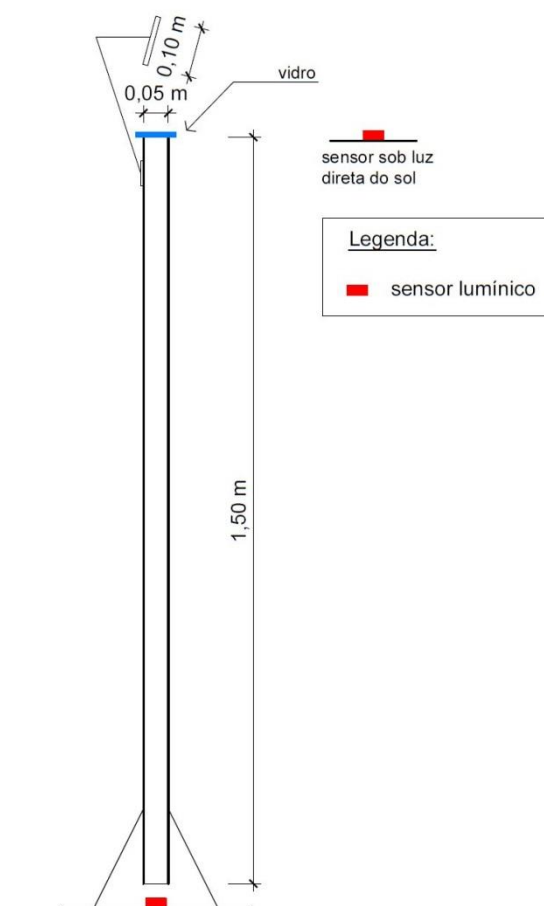
²² No capítulo anterior, apresentou-se que um dos materiais recomendados é o alumínio TSV98100 (alumínio Vega 98, com 98% de refletividade), que foi encontrado nesta empresa – Lucchi – Componentes e Soluções para Iluminação LED. Não foi possível doação de amostra desse material, visto que teria de vir da Alemanha, no entanto a mesma empresa disponibilizou amostras do alumínio TSV95100 (alumínio Vega 95).

²³ A altura de 1,50 m foi definida a partir da tecnologia de dutos de luz mais difundida no mercado brasileiro, oferecida pela empresa Solatube (2016). O maior duto que essa empresa fornece mede 30 m de profundidade com 0,75 m de diâmetro e utiliza uma película altamente reflexiva – 99% -, recomendada para esse tipo de tecnologia (TOLEDO, 2013). Inicialmente, tentou-se conseguir esse material para confeccionar as maquetes, e por isso partiu-se dessas medidas iniciais para o experimento. No entanto, não foi possível obtê-lo devido a burocracias internas da empresa. Sendo assim, continuou-se com a mesma altura proposta, mas, como os materiais internos dos dutos não têm a refletância de 99%, optou-se por ligeiro aumento do diâmetro desses dutos, favorecendo a penetração da luz incidente. Isso também facilita a execução do cilindro em alumínio nessa escala, visto que as máquinas disponíveis necessitam 0,05 m de diâmetro no mínimo.

a posterior fabricação do heliostato - sistema composto por espelho móvel, responsável por redirecionar os raios solares ao longo do dia -, a fim de aumentar a eficiência do transporte de luz do duto. Esta fase do experimento foi importante para verificar as quantidades transportadas de luz natural (variável necessária para definição das espécies vegetais adequadas) e o comportamento do espelho móvel. Com base nos dados adquiridos e no comportamento observado, foram propostas readequações no conjunto para seu correto funcionamento na fase 3 do experimento.

a) Estudos com duto de 1,50 m de altura e heliostato fabricado manualmente

Figura 78 – Fase 2 do experimento: duto com espelho móvel e os respectivos sensores.



Fonte: desenho da autora.

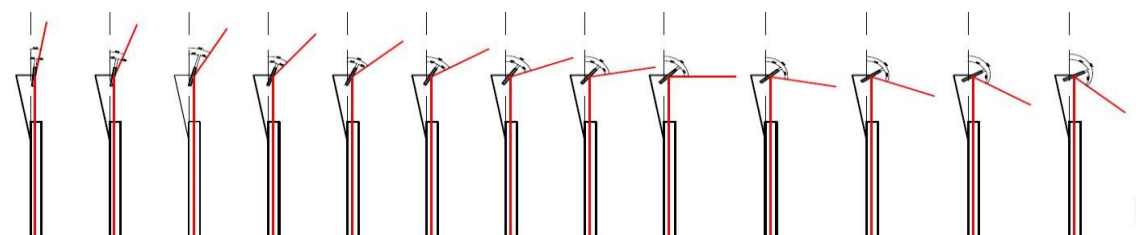
Foi executado²⁴ duto de ferro, com 1,50 m de altura e 0,05 m de diâmetro, revestido internamente com o material definido inicialmente na fase 1 do experimento (figura 78). Essas dimensões, na escala 1/20, equivalem a um duto de 30 m de altura com 1 m

²⁴ Foi utilizado o mesmo processo da fase anterior para a fabricação do cilindro. Entretanto, foi necessária a divisão do duto em duas partes de 0,75 m cada, que foram soldadas posteriormente, devido à limitação das dimensões do maquinário disponível. Hastes metálicas foram soldadas nas extremidades do duto, para apoio no piso e para suporte do heliostato, respectivamente.

de diâmetro, que poderia iluminar, por exemplo, o pavimento subterrâneo de uma edificação de dez pavimentos, caso fosse construído em escala real.

Para compreender a relação entre o heliostato e o movimento solar, foi realizado estudo prévio estimando o movimento do sol, no qual foi constatado que, à medida que o ângulo do sol baixa 10° , o espelho deve baixar 5° para permitir a entrada da luz concentrada em um ângulo de 90° , maximizando sua eficiência (figura 79).

Figura 79 – Estudo do movimento vertical do sol.



Fonte: desenho da autora.

Na sequência, foi elaborado um heliostato com espelho circular de 0,05 m de diâmetro, que foi fixado no topo do duto a fim de testar o redirecionamento da luz solar (figura 80). O sistema²⁵ foi fabricado manualmente em madeira (MDF), e as peças foram desenhadas e depois cortadas com máquina a laser.

Figura 80 – Imagem do heliostato manual fixado no topo do duto de luz para realização dos testes de redirecionamento dos raios solares.



Fonte: a autora.

²⁵ Um transferidor foi acoplado ao heliostato e à base do duto a fim de marcar os ângulos da posição solar no horário desejado (figura 80). Para isso, foi utilizada a ferramenta online *SunPosition* (SUSDESIGN, 2016), na qual foi informada a latitude e a longitude da cidade de Porto Alegre, Sul -30° e Oeste -51° , respectivamente (PORTO ALEGRE, 2016). Esse procedimento foi utilizado inicialmente, mas os ângulos não coincidiram. A falta de precisão do conjunto pode ser um dos motivos, visto que foi montado manualmente. Diante disso, ressalta-se o cuidado e a precisão que se deve ter na execução desse tipo de sistema quando o objetivo do estudo é estabelecer o ângulo solar correto. No entanto, este estudo teve como objetivo verificar o potencial do heliostato para redirecionar a luz do sol e a viabilidade de sua utilização nesta pesquisa.

Testes visuais foram feitos para encontrar o ângulo capaz de redirecionar a luz do sol, e por isso a base do duto não foi coberta. O heliostato e a base do duto foram movimentados manualmente, no eixo vertical e no eixo horizontal, respectivamente, até os raios solares atingirem a outra extremidade do cilindro (figura 81).

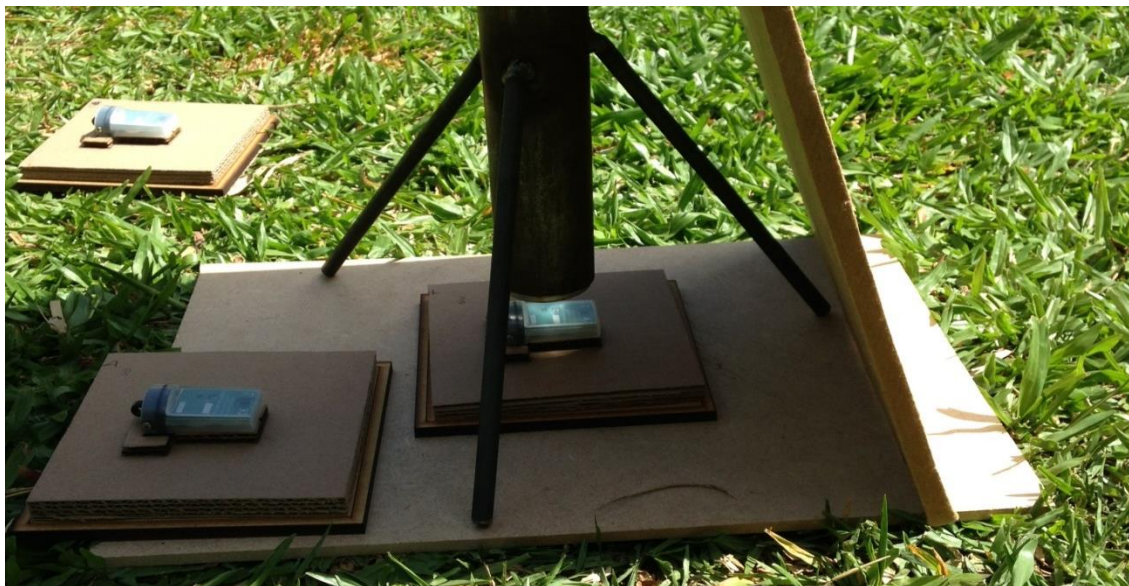
Figura 81 – Imagem dos raios solares, redirecionados pelo heliostato e conduzidos pelo duto de luz, iluminando a base de apoio dos cilindros metálicos.



Fonte: a autora.

Para o cálculo da porcentagem de transmissão de luz solar, foram utilizados três sensores: um ao final do duto; outro na sombra, a fim de possibilitar o cálculo da luz transmitida apenas pela tecnologia; e um terceiro, que captou a iluminância externa (figura 82). Os dados de iluminância foram obtidos de 30 em 30 minutos, e o espelho foi ajustado na posição correta 2 minutos antes de cada coleta do sensor de luz, para evitar interferências no momento da medição. Posteriormente, esse teste foi novamente realizado, e as iluminâncias foram coletadas em intervalos de 5 minutos e mensuradas com luxímetros.

Figura 82 – Imagem dos três sensores responsáveis pela coleta de dados nesta etapa da fase 2: um ao fim do duto (iluminado por ele na imagem), outro na sombra e um terceiro coletando a luz solar direta.



Fonte: a autora.

Posteriormente, as amostras de alumínio Vega 95 foram disponibilizadas e novos testes foram realizados. Esses estudos ocorreram sem o uso de heliostato, pois os resultados obtidos anteriormente foram suficientes para a avaliação da sua aplicabilidade. O revestimento interno do duto de 1,50 m foi substituído pelo novo material, que também foi utilizado para revestir mais três dutos com 0,30 m, 0,50 m e 1,00 m de altura, respectivamente (BYSTRONSKI, MARTAU, COSTA-NETO, 2017). As alturas intermediárias foram adicionadas para fins de comparação em estudos futuros, nos quais será possível verificar a altura mais adequada para que um duto não precise do auxílio de heliostato, por exemplo. Com essas alturas, também foi possível estabelecer a proporção da diminuição da eficiência do duto de acordo com o aumento da sua altura, prevendo futuros ajustes da tecnologia.

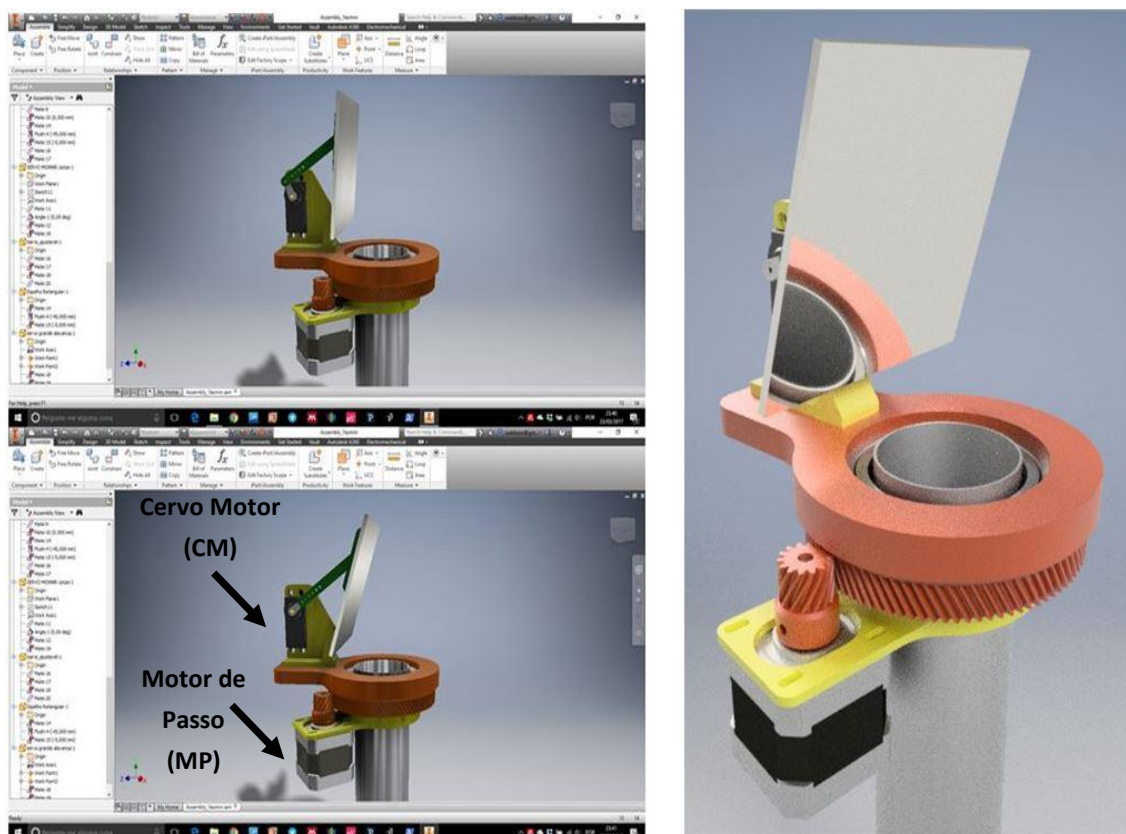
b) Modelagem, execução e testes do heliostato eletrônico

Após os testes com o heliostato manual, iniciaram-se os estudos para a fabricação do heliostato eletrônico. Nessa etapa, foi indispensável o auxílio de um profissional²⁶ com conhecimento acerca do tema, que ficou responsável pelo desenvolvimento do projeto de programação e de eletrônica. O projeto do heliostato foi elaborado em conjunto com esse profissional, que iniciou seu trabalho com a modelagem das peças e da engrenagem do sistema no *software* tridimensional *Autodesk Inventor 2016*. Com isso, foi possível definir com precisão as dimensões e os encaixes das partes do conjunto,

²⁶ O arquiteto e urbanista Waldo Costa Neto, formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, auxiliou e viabilizou a execução dos sistemas eletrônicos utilizados nesta pesquisa.

bem como o funcionamento dos motores e dos braços articuláveis que movimentam o espelho ao redor do duto (figura 83) (BYSTRONSKI, COSTA-NETO, MARTAU, 2017).

Figura 83 – Imagens da modelagem tridimensional para estudo e montagem do sistema de heliostato eletrônico.



Fonte: cortesia de Waldo Costa Neto.

Após readequações, as peças foram impressas em 3D e foi iniciada a montagem do sistema, que também passou por novos ajustes. Um Motor de Passo (MP) e um Cervo Motor (CM) foram instalados para movimentar o espelho nos sentidos horizontal e vertical, respectivamente (figura 83). O Motor de Passo movimenta a engrenagem, que está apoiada sobre rolamento de caminhão (adquirido em loja de materiais automotivos). Para encaixá-las adequadamente, as ranhuras dessa engrenagem e da peça que está no topo do MP foram desenhadas com o mesmo espaçamento (que representa quantos graus o espelho deve se movimentar no intervalo de tempo definido). O espelho, de cor prata, foi confeccionado em formato quadrado de 0,10 m x 0,10 m e fixado em um sistema de braços articulados controlados pelo CM. Essas hastes foram aparafusadas e protegidas com cola quente, visando evitar sua oxidação e reforçar sua fixação.

O heliostato foi conectado no topo do duto de 0,30 m, definido como mais reflexivo na fase 1 do experimento, e iniciaram-se os testes. O espelho e a engrenagem foram

movimentados manualmente até redirecionar os raios solares para o interior do duto (figura 84). Foram analisados o funcionamento do conjunto, o movimento das peças e a capacidade do espelho de refletir os raios solares no ângulo requerido e também de concentrá-los. Também foi verificado se o conjunto é capaz de suportar o peso do espelho e dos motores. As iluminâncias foram mensuradas com dois luxímetros idênticos: um ao fim do duto e outro em área externa e sob luz solar direta, conforme ilustrado na figura 83, para cálculo da porcentagem de luz conduzida (BYSTRONSKI, COSTA-NETO, MARTAU, 2017).

Figura 84 – Imagem da montagem do heliostato eletrônico (à esquerda) e dos primeiros testes manuais (à direita).

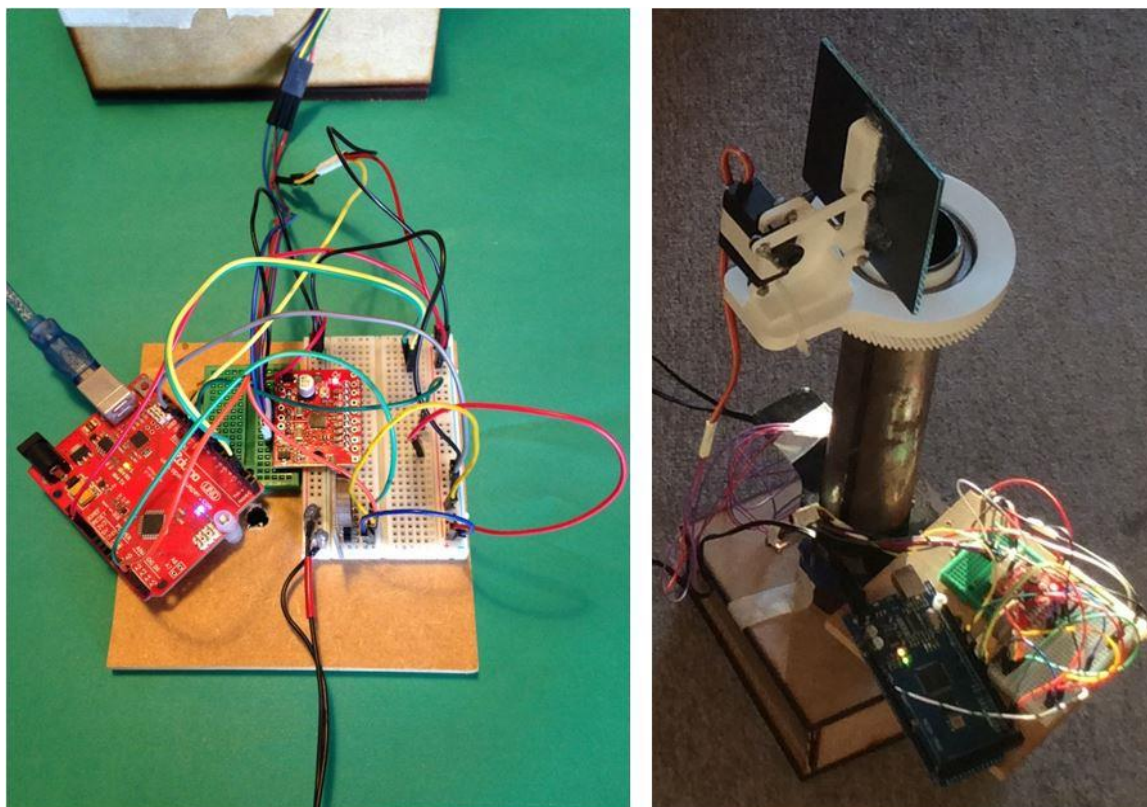


Fonte: foto da autora.

A etapa seguinte envolveu a montagem do sistema eletrônico. Nesse momento, foi adicionado um microcontrolador do tipo *Arduino Uno R3*, que é responsável por comandar os motores que movimentam o espelho. O *Arduino* é uma plataforma de programação, na qual foi incluída uma função com posicionamento diário do sol ao longo do ano, de acordo com a posição geográfica do lugar a ser estudado. Para tal, foram introduzidas as coordenadas de Porto Alegre e foi estipulado o intervalo de tempo em que o espelho trocava de ângulo (10 minutos). Um controlador do tipo *EasyDriver*, conectado ao *Arduino*, foi utilizado para movimentar o MP. Também foi adicionado um relógio com módulo *RTC*, responsável pelo controle da data e do horário do conjunto. Essas peças foram conectadas em placas do tipo *proto-board*, compostas

de pequenos furos interligados eletronicamente entre si. Essa placa e os fios de ligação são os responsáveis pela comunicação entre as peças do sistema, como pode ser visualizado na figura 85.

Figura 85 – Imagens do sistema eletrônico que movimenta o heliostato (à esquerda) e do teste realizado com o duto de 0,30 m de altura (à direita).



Fonte: foto da autora.

Na sequência, foram iniciados os testes do heliostato eletrônico a fim de verificar sua capacidade de redirecionar os raios solares para o interior do duto ao longo do dia e de identificar ajustes necessários para aprimorar a tecnologia. Constatou-se que o *EasyDriver* estava aquecendo, e isso provocava travamento temporário do sistema, até seu esfriamento. Essa peça foi substituída pelo *BigEasyDriver*, capaz de aumentar a corrente elétrica, o que evita superaquecimento e sobrecarga do equipamento. Verificou-se, também, que o sombreamento da parte eletrônica também é necessário. Nesse teste, as iluminâncias foram mensuradas com os *data loggers*.

Para não sobrecarregar os aparelhos, o sistema foi programado para não se movimentar durante a noite, momento no qual o espelho retomava a posição vertical. Isso também permitiu que o heliostato fosse coberto, a fim de evitar danos por umidade ou chuva quando não havia possibilidade de supervisão. Para iniciar o movimento no dia seguinte, o heliostato deveria estar apontado para o norte. Portanto, todas as manhãs o heliostato foi reposicionado para o norte manualmente, pouco antes

de retomar sua atividade, visto que não foi possível programá-lo para retornar automaticamente para a posição correta. Após a verificação e os ajustes necessários, o conjunto foi protegido contra intempéries, testado novamente e fixado no duto de 1,50 m de altura para o início da fase 3 do experimento.

c) Definição das espécies vegetais e do sistema mais adequado para sua utilização nesta pesquisa

Essa etapa foi orientada por uma doutoranda²⁷ e por uma PhD²⁸ em agronomia, que auxiliaram nas escolhas acerca do tema. Os testes realizados forneceram os dados de iluminância necessários para avaliação preliminar do ambiente no qual a vegetação seria inserida na fase 3 do experimento. A variação do tipo de céu implica a variação da luminosidade, e as plantas escolhidas deveriam ser capazes de resistir a essas condições²⁹. Os exemplares também deveriam ser facilmente encontrados nas floriculturas locais, assim como precisariam ter dimensões adequadas para utilização em modelos de escala reduzida. As espécies *Asparagus densiflorus Sprengeri* (Aspargo-pendente) e *Nephrolepis exaltata Marisa* (Samambaia-havaiana) se aproximaram desses pré-requisitos e por isso foram definidas para este estudo (figura 86).

Figura 86 – Imagens das espécies vegetais selecionadas para o experimento desta pesquisa: à esquerda, o *Asparagus densiflorus Sprengeri* (Aspargo-pendente), e à direita, a *Nephrolepis exaltata Marisa* (Samambaia-havaiana).



Fonte: foto da autora.

²⁷ Eng^a Agrônoma Aquéllis Armilitao Emer, na ocasião aluna de doutorado do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Fitotecnia da Faculdade de Agronomia da UFRGS; graduada como doutora em 2017/2.

²⁸ Eng^a Agrônoma, PhD e Paisagista Beatriz Maria Fedrizzi, professora da UFRGS, vinculada ao Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia e ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura; aposentada em 2018/1.

²⁹ Essas espécies são definidas como *rústicas*, devido à capacidade de suportar certa variação das condições ambientais.

A vegetação foi plantada em vasos com dimensões adequadas para abrigar a quantidade de substrato e o sistema de drenagem necessários. Para as espécies definidas, recomendou-se a utilização de aproximadamente 0,20 m de substrato, que foi colocado sobre um sistema de drenagem. Esse sistema é composto por uma camada de manta geotêxtil permeável, para evitar a fuga do substrato após ser regado, e por uma camada de 0,05 m de altura de pedra brita, que fica em contato com o fundo do recipiente.

Devido às dimensões necessárias, foram adquiridas bacias redondas (com diâmetro de 0,50 m e altura de 0,25 m) e foram feitos furos no seu fundo para escoamento da água. O substrato recomendado pela doutoranda deveria apresentar: boa porosidade (<60%), densidade entre 400-800 kg/m³, quantidade equilibrada de sais (entre 0,3-0,6 mS/cm) e pH entre 5-6. Foi realizada busca por substrato com essas características no mercado local e o que mais se aproximou dos pré-requisitos foi o Carolina Soil. Entretanto, esse insumo é leve (de baixa densidade³⁰) e implicaria a utilização de aditivos, tornando o processo mais complexo e oneroso.

As floriculturas visitadas comercializavam substrato pronto para plantio, os quais eram frequentemente utilizados em pesquisas da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Isso apontou a sua capacidade de suprir as necessidades das plantas em geral. Sendo assim, foi recomendada sua utilização. Devido à fabricação não industrializada, não foram identificadas as informações acerca das suas características físico-químicas, e esses fatores podem interferir no desenvolvimento da vegetação. Para minimizar os efeitos dessa limitação, foi utilizado um vaso controle na fase seguinte, que ficou submetido às condições normais de um ambiente adequado para a sobrevivência dessas plantas.

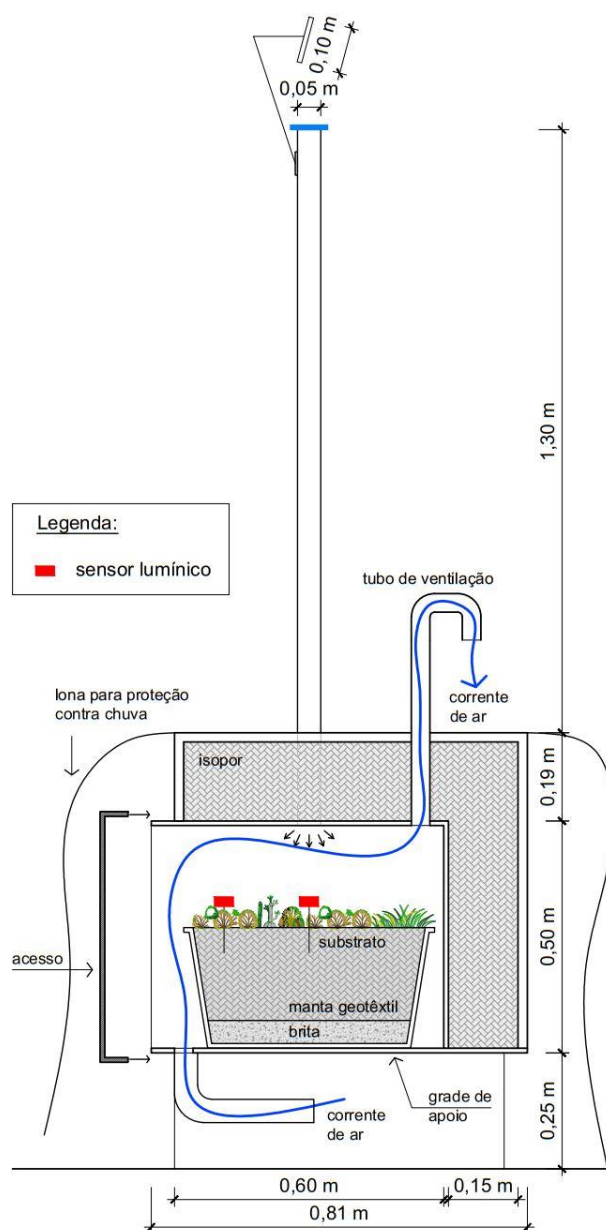
Ventilação natural por convecção e irrigação manual foram as estratégias escolhidas para a circulação do ar e para regar as plantas devido à facilidade e o baixo custo que implicam. A frequência de irrigação do sistema não foi definida com precisão, pois depende da umidade do ar e das condições ambientais, que variam diariamente, e isso aponta uma limitação desta pesquisa. É possível definir esse aspecto com mais precisão em ambientes controlados, como estufas. O parâmetro utilizado para definir a frequência de irrigação foi a umidade do substrato (que deveria manter-se úmido), em virtude disso as plantas foram irrigadas semanalmente. Para definição da quantidade de água necessária, os vasos foram regados até que começassem a expelir água por baixo, conforme orientação da PhD.

³⁰ A densidade do Carolina Soil é de 220 kg/m³ em umidade de 50% (GROW PLANT, 2019).

5.1.4 | Fase 3 – Montagem do experimento e verificação do desempenho do conjunto

A fase 3 do experimento consistiu de três estudos de caso, analisados simultaneamente. O Estudo de Caso 1 (EC1) constituiu-se de um duto de luz de 1,50 m de altura (revestido internamente com o material reflexivo eleito na fase 1), com um heliostato no topo, e apoiado sobre a caixa de madeira que abrigou o vaso com a vegetação, nesse caso chamado de Vaso 1 (V1) (figura 87). O Estudo de Caso 2 (EC2) diferiu do primeiro apenas por não ter o heliostato, e o respectivo recipiente com vegetação foi denominado Vaso 2 (V2). Por fim, o Estudo de Caso 3 (EC3) foi composto apenas pelo seu respectivo Vaso 3 (V3), que ficou exposto a intempéries, em área sombreada, e representou o vaso controle desta fase do experimento.

Figura 87 – Fase 3 do experimento: corte do Estudo de Caso 1 mostrando as dimensões e as partes que compõe o sistema, bem como o sistema de ventilação por convecção.



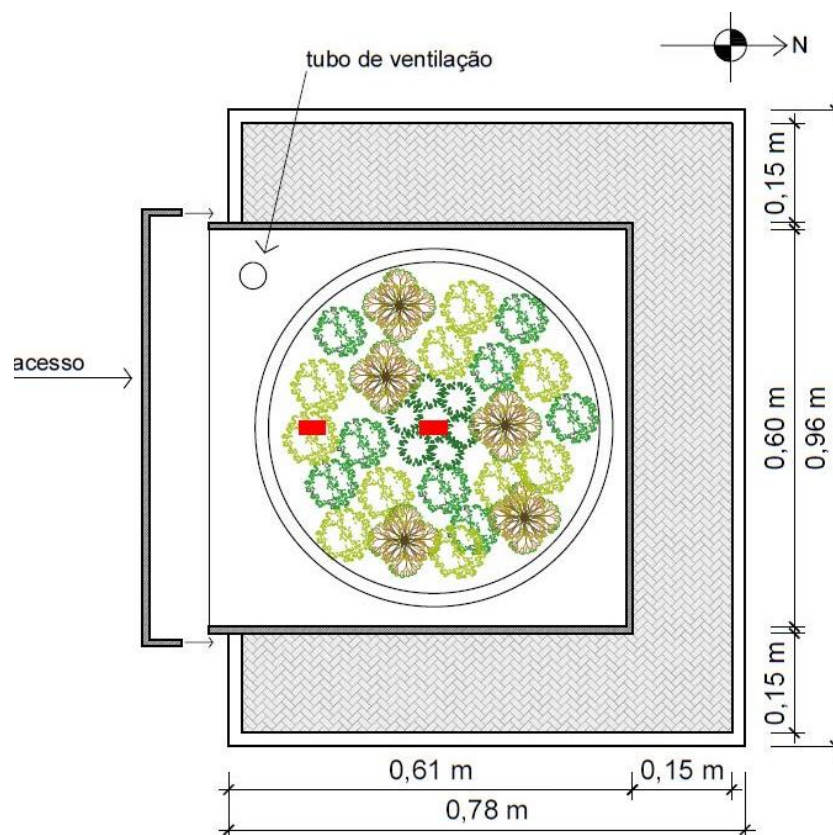
Fonte: desenho da autora.

Os dutos conduziram a luz natural para as caixas em madeira, que representavam um ambiente em escala reduzida, com dimensões internas de 0,60 m x 0,50 m x 0,60 m (figuras 86 e 87). Essas dimensões simulavam um espaço de 12 m x 12 m com pé-direito de 4 m (acima do vaso havia espaço de 0,20 m), em escala real. Esse espaço foi envolto por 0,15 m de isopor, a fim de aproximar as condições do experimento às de um ambiente subterrâneo. Os vasos tinham diâmetro de 0,50 m e altura de 0,25 m, sendo que 0,20 m eram destinados apenas para comportar o solo necessário para a vegetação. Os recipientes foram apoiados em grade metálica vazada para permitir o escoamento da água, proveniente da irrigação. Dutos flexíveis de plástico, que auxiliam no processo de ventilação por convecção, foram fixados nessa grade. Foi colocada lona preta na área não coberta pelo vaso e pelo duto de ventilação, com o intuito de evitar o acesso de luz intrusiva.

A parte da caixa voltada para o sul era removível e sem cobertura de isopor devido à necessidade de acesso à área interna onde estava a vegetação (figura 87). Essa face era menos iluminada naturalmente ao longo do ano. Em virtude disso, oferecia menor ganho de carga térmica, interferindo menos no ambiente simulado. Uma lona preta foi utilizada para cobrir as caixas durante períodos de chuva, e a ventilação natural por convecção foi completada com a adição de dutos de PVC na parte superior do conjunto (figura 87). No topo do duto de luz, foi fixada também uma lâmina de vidro transparente com espessura de 0,003 m para evitar o acesso de insetos, de água da chuva e de poeira, por exemplo.

No interior das caixas, foi mensurada a quantidade de luz natural transportada pelos dutos. Foram posicionado dois sensores em cada vaso, um no centro (que corresponde também ao centro do duto de luz) e outro a 0,125 m do centro (no ponto médio do raio do vaso) (figuras 87 e 88). A ABNT NBR 15215 (ABNT, 2015) estipula número mínimo de sensores por experimento, que, neste caso, deveria ser de um, devido às pequenas dimensões da maquete. No entanto, mesmo que o experimento conte com um número de sensores superior ao recomendado pela ABNT, percebeu-se que o emprego de um ou dois sensores não retrataria com precisão o ambiente simulado, visto que há áreas de luz heterogêneas, com luz direta no centro e luz indireta à medida que se afasta do núcleo.

Figura 88 – Fase 3 experimento: planta baixa de EC1 e EC2 com os vasos, a localização dos sensores de luz (retângulos na cor vermelha), que se repete nos três casos, do tubo de ventilação e da tampa de acesso, voltada para o sul.



Fonte: desenho da autora.

Nesta etapa, um dos sensores também mediu a iluminância externa, a fim de possibilitar o cálculo da porcentagem de transmissão de luz natural de cada duto para posterior avaliação do seu desempenho. Esse sensor recebeu luz direta do sol. Os sensores de luz foram programados para coletar as iluminâncias diariamente, em intervalos de 15 minutos³¹.

Após a conclusão da montagem (figura 89), foi iniciado o experimento final. O experimento principiou no dia 18 de agosto de 2018 e foi avaliado até a última coleta realizada sete semanas depois, no dia 8 de outubro de 2018. A leitura dos dados foi feita semanalmente no período noturno para evitar o acesso de luz intrusiva na caixa. A vegetação foi avaliada por meio de fotografias e análise visual realizadas no momento da coleta de dados semanal.

³¹ Em dias com a possibilidade de chuva, o heliostato não poderia ser acionado, devido ao risco de danos ao sistema, e isso representa uma limitação desta pesquisa.

Figura 89 – Montagem dos vasos, posicionamento dos sensores e da grelha para auxiliar a avaliação do crescimento da vegetação.



Fonte: foto da autora.

Figura 90 – Fase 3 do experimento: à esquerda, imagem dos dutos e do heliostato; à direita, o vaso no interior de uma das caixas.



Fonte: foto da autora.

5.1.5 | Coleta, análise e organização dos dados obtidos

Nesta etapa foram utilizadas planilhas elaboradas no *software* Microsoft Excel 2010. Primeiramente, foram organizados os dados obtidos em cada uma das etapas de medição de luz do experimento. Os resultados foram divididos de acordo com os aspectos adotados. Quando detectada a possibilidade de melhorias no experimento, essas mudanças foram documentadas e especificadas na planilha, assim como as novas estratégias adotadas e os respectivos resultados obtidos com elas. Dessa forma, os dados puderam ser comparados mais facilmente, possibilitando o estabelecimento das estratégias que ofereceriam resultados mais satisfatórios. Após a obtenção dos dados, foram gerados gráficos para melhor visibilidade das informações obtidas e feita a comparação entre os dados alcançados e o referencial teórico utilizado.

Foram realizados assessoramentos³² com o Núcleo de Assessoria Estatística (NAE), da UFRGS, com o objetivo de elaborar a estratégia mais adequada para a organização dos dados nas planilhas e de esclarecer dúvidas acerca da avaliação desses dados. Também foram realizados assessoramentos com professores³³ do curso de agronomia da UFRGS a fim de compreender melhor as possíveis formas de avaliação do desempenho de vegetais, diante do contexto deste estudo. Com isso, foi possível definir os critérios mais adequados para avaliação do comportamento da vegetação, considerando as condições desta pesquisa. A seguir, foram descritos os critérios elaborados para análise dos dados levantados.

5.1.5.1 | Critérios de análise do desempenho do sistema de captação de luz natural em escala reduzida

Foram analisadas as quantidades de luz obtidas em cada uma das fases do experimento. Na fase 1, foi medida a quantidade de luz para verificar a diferença entre os quatro materiais analisados no subitem 5.1.2. Em cada horário foi verificado qual material conduziu maior iluminância e, na sequência, foi calculada a porcentagem de transmissão de luz natural em cada caso. Também foram calculadas as médias

³² Foram realizados dois assessoramentos com a Prof^ª. Dr^ª. Stela Maris de Jesus Castro e seus alunos, na Faculdade de Matemática da UFRGS, Campus do Vale. Na primeira reunião, foi esclarecido o caráter da pesquisa e o tipo de avaliação que poderia ser feita dos dados a serem obtidos, sendo possível tirar dúvidas acerca da estratégia adotada para a coleta e organização dos dados. . No segundo encontro, o modelo final das planilhas estava finalizado e o experimento já estava em andamento. Diante disso, foi possível discutir e definir com maior clareza os pré-requisitos para elaboração e organização do banco de dados e a sua forma de avaliação. Nessa ocasião, foi apontada a possibilidade de análise da série dos dados de iluminância. Também foi esclarecido que o experimento é composto por três estudos de caso e implicaria, portanto, análise descritiva de cada exemplar e do comportamento da vegetação, sem a possibilidade de análise estatística devido à falta de repetição.

³³ Eng^ª. Agrônoma, PhD e Paisagista Beatriz Maria Fedrizzi, já mencionada anteriormente; Eng^º. Agrônomo Dr. Gilmar Schafer, professor da UFRGS, chefe do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia e vinculado ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Fitotecnia da Faculdade de Agronomia da mesma universidade.

aritméticas das iluminâncias coletadas por cada material. Aquele que apresentou melhor performance foi utilizado nos outros experimentos. Na fase 2, foi realizada medição para monitorar a quantidade de luz obtida no fim do duto condutor de luz natural para verificar se a tecnologia, com o auxílio do heliostato, conseguiu transmitir o mínimo necessário de luz para as plantas se desenvolverem – 300 lux. Nessa etapa, foi monitorada a quantidade de luz externa, assim como na etapa 1, e foi calculada a porcentagem de transmissão de luz natural do duto em cada horário de medição. Após esse experimento, foram feitos ajustes e adaptações no conjunto. Na fase 3, foram monitoradas as quantidades de luz em ambiente interno, a fim de verificar as iluminâncias que a vegetação estava recebendo dos dutos. Essas verificações foram registradas pelos sensores em cada horário, foi calculada a média aritmética de cada dia de EC1 e EC2, e foram registradas iluminâncias externas, bem como o tipo de céu de cada dia. O sistema desempenhará de forma eficiente se conseguir fornecer quantidade de iluminação natural suficiente para a sobrevivência da vegetação.

5.1.5.2 | Critérios para análise e descrição do comportamento da vegetação utilizada em modelo de escala reduzida

O comportamento da vegetação foi acompanhado semanalmente através de análise descritiva. Foram feitas imagens fotográficas, de perfil e de cima, das plantas para examinar o seu crescimento. Esse procedimento foi realizado sempre com o mesmo equipamento e com os vasos na mesma posição. Com o intuito de facilitar a avaliação, foi utilizado fundo branco para as imagens de perfil. A saúde do vegetal também foi averiguada através dos aspectos visuais, como cor, textura e incidência de pragas e de doenças.

Caso ocorresse a falência da vegetação, esses dados também deveriam ser catalogados e discutidos com o profissional da área da agronomia para verificar a possível causa (luz, substrato, temperatura, umidade, drenagem, irrigação, ventilação, presença de microrganismos)³⁴. Essa fase teve como objetivo verificar o comportamento da vegetação nas condições propostas, visando apontar a possibilidade de uso ou não das espécies selecionadas.

a) Instrumentos

Para produção das imagens das plantas, foi utilizada máquina fotográfica de telefone móvel Iphone 8, com marcação na tela para manter sempre a mesma posição das fotos (figura 91). Essa marcação foi gravada com caneta específica para escrita permanente

³⁴ Cabe lembrar, porém, que foi executado apenas um exemplar de cada estudo de caso do experimento, o que pode dificultar a detecção da variável que influenciou ou causou o efeito.

em materiais plásticos e vidros. Também foi utilizada fita adesiva para proteger os pontos de eventuais danos.

Figura 91 – Ilustração do telefone móvel com a marcação das posições dos vasos para a fotografia de perfil (pontos amarelos) e de cima (pontos pretos).



Fonte: foto da autora.

Capítulo 6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 | FASE 1: DEFINIÇÃO DO MATERIAL REFLEXIVO MAIS ADEQUADO

No dia 18 de dezembro de 2016, foi realizado teste com os quatro materiais. O céu estava parcialmente nublado, portanto os dutos foram submetidos à incidência de luz natural direta e difusa. Na tabela 6, os resultados podem ser visualizados. Considerando as médias aritméticas, o duto com pintura branca apresentou a menor eficiência (946,25 lux), seguido do duto em aço inox polido (2.731,11 lux). Na sequência, o duto com película reflexiva teve o segundo melhor resultado (4.423,99 lux), e o duto em alumínio polido liderou a captação de luz natural (4.908,37 lux).

Tabela 6 - Desempenho dos materiais selecionados: iluminâncias (lux) obtidas no dia 18/12/16, dia de céu parcialmente nublado.

Linha	Hora	Iluminâncias					Transmissão do material mais eficiente (%)
		Alumínio polido (lux)	Aço inox polido (lux)	Película reflexiva para vidro (lux)	Pintura branca (lux)	Sensor externo (lux)	
1	15h30	21.355,7	8.266,7	20.666,8	2.066,7	209.423,6	10,2
2	16h00	11.022,3	7.233,4	8.266,7	1.636,1	198.401,3	5,5
3	16h30	4.822,3	1.808,3	3.444,5	1.377,8	176.356,7	2,7
4	17h00	5.166,7	3.100,0	4.650,0	1.636,1	170.845,6	3,0
5	17h30	1.980,6	1.722,2	1.980,6	721,2	14.466,8	13,7
6	18h00	4.994,5	4.133,4	4.994,5	1.463,9	49.600,3	10
7	18h30	3.100,0	2.583,4	3.100,0	1.044,1	34.444,7	8,9
8	19h00	495,1	355,2	484,4	150,7	8.266,7	5,9
9	19h30	818,1	645,8	839,6	236,8	9.644,5	8,7
10	20h00	236,8	193,8	236,8	75,3	1.980,6	11,9
11	20h30	0	0	0	0	118,4	0
Média aritmética		4.908,37	2.731,11	4.423,99	946,25	79.413,56	

Fonte: a autora.

O alumínio polido superou a película reflexiva quando as iluminâncias externas estavam acima de 170.845 lux (das 15h30 até as 17h00), momento em que a altura solar estava mais elevada. Abaixo de 50.000 lux, os valores dos dois materiais foram idênticos (das 17h30 até as 19h00 e às 20h00) ou muito próximos (diferença de 10,7 lux às 19h e de 21,5 lux às 19h30, valores imperceptíveis a olho nu), quando a altura solar estava mais próxima da linha do horizonte. Isso pode ter ocorrido devido a interferências externas no momento da medição. Considerando a média aritmética da iluminância e a

viabilidade de aplicação do material nas próximas etapas, o alumínio polido foi selecionado para a próxima fase do experimento.

Quanto às taxas de transmissão de luz natural dos dutos, percebeu-se que os maiores valores ocorreram em momentos de condições opostas: de altas e baixas iluminâncias exteriores, como pode ser visto nas linhas 1 (10,2% - 209.423,6 lux), 5 (13,7% - 14.466,8 lux) e 10 (11,9% - 1.980,6 lux) (Tabela 6). Também foi possível constatar que as maiores taxas não corresponderam necessariamente às maiores iluminâncias coletadas ao fim de cada duto. Aparentemente, essa taxa de transmissão não apresentou um padrão que se repetiu do início ao fim do dia, pois não diminuiu de acordo com a redução de luz natural no exterior. A elevada altura solar (no caso da linha 1) e a presença de luz difusa (no caso das linhas 5 e 10) podem ser as variáveis que mais favoreceram o aumento dessa porcentagem nesse contexto.

Ao analisar os dados da Tabela 6, ainda foi possível constatar, como esperado, que os maiores índices transportados pelos dutos ocorreram no momento em que as iluminâncias externas estavam mais altas. Durante esses períodos, os dutos estavam sob luz solar direta. Às 15h30 ocorreu o pico de iluminância externa de 209.423,6 lux (linha 1) e o duto mais eficiente nesse horário conduziu 10,2% da luz natural disponível externamente. Às 17h30, a iluminância externa diminuiu significativamente, atingindo 14.466,6 lux (linha 5), e os dutos estavam sob luz difusa. Nesse momento, o material mais eficiente transmitiu 13,7% do total da iluminância externa disponível.

Com isso, é possível concluir que os dutos captaram os maiores iluminâncias quando estavam sob luz direta, no momento de maior altura do sol e de maior disponibilidade de luz natural, o que favoreceu a penetração dos raios solares. A eficiência dos dutos perdeu força à medida que a altura solar diminuiu, conforme mostra a Tabela 6. Entretanto, o desempenho dos dutos voltou a subir quando estavam sob luz difusa. Ressalta-se que as iluminâncias que chegaram ao fim dos dutos foram mais baixas nesse caso. Ainda assim, esses dados apontaram aumento da quantidade de raios de luz com angulação favorável para penetração nos dutos.

No segundo momento da fase 1 desse experimento, foi feito novo teste para comparar o alumínio polido e o alumínio TSV95100. Esse teste foi realizado no dia 23 de julho em dia de céu parcialmente nublado, e os resultados podem ser visualizados abaixo, na Tabela 7. O novo material captou pelo menos 50% a mais de luz natural que o alumínio polido, das 15h05 até as 16h10. Esse valor foi para 39% a partir das 16h40. A transmissão de iluminâncias aumentou à medida que a disponibilidade de luz natural diminuiu no exterior, repetindo o padrão constatado na Tabela 6, referente ao teste anterior. Essa porcentagem chegou a 22,32% às 17h30, superando todos os resultados

alcançados nesta pesquisa. Sendo assim, o alumínio TSV95100 foi o material escolhido para ser utilizado na próxima etapa do experimento.

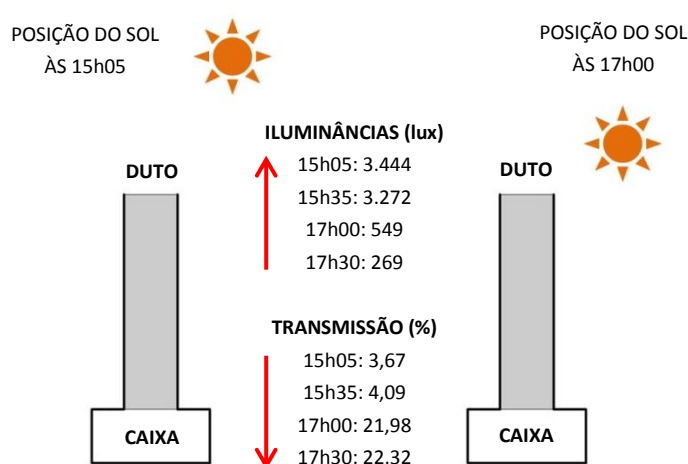
Tabela 7 - Desempenho do alumínio polido x alumínio TSV95100: iluminâncias (lux) obtidas no dia 23/07/17, dia de céu parcialmente nublado.

Linha	Hora	Alumínio polido (lux)	Alumínio TSV95100 (lux)	Sensor externo (lux)	Transmissão do material mais eficiente (%)
1	15h05	1.980	3.444	93.689	3,67
2	15h35	1.894	3.272	79.911	4,09
3	16h05	484	947	10.677	8,87
4	16h10	462	914	10.333	8,84
5	16h40	312	710	4.650	15,27
6	17h00	226	549	2.497	21,98
7	17h30	107	269	1.205	22,32
8	18h00	0	0	64	-
Média aritmética		683,13	1.263,13	25.378,25	10,63

Fonte: a autora.

Diante dos resultados da Tabela 7, observou-se novamente que as iluminâncias captadas diminuíram à medida que a altura solar diminuiu, enquanto a porcentagem de transmissão de luz natural aumentou, mostrando uma relação inversa (figura 92). As iluminâncias captadas por volta das 15h30 foram inferiores às coletadas no mesmo período do dia no verão, quando a altura solar era maior e os índices chegaram a passar dos 200.000 lux, conforme mostrou a Tabela 6.

Figura 92 – Ilustração da relação direta entre o caimento da altura solar e as iluminâncias transportadas pelos dutos, e inversa quando comparados à capacidade de transmissão de luz pelos cilindros (dados do alumínio TSV95100).



Fonte: desenho da autora.

O duto revestido com alumínio TSV95100 captou iluminâncias acima dos 300 lux até as 17h e apontou a possibilidade de sua utilização no desenvolvimento de vegetação em áreas que utilizem essa tecnologia. Os dois dutos ainda oferecem iluminâncias mínimas

exigidas pela NBR/ ISO 8995-1 (ABNT, 2013) para execução de tarefas básicas em ambientes internos. Salienta-se que esse teste foi realizado no inverno e que a sua repetição no verão teria resultados superiores. É preciso cautela quando as iluminâncias captadas são elevadas a fim de evitar ofuscamento e transferência indesejada de carga térmica para o interior das edificações. Também é importante ressaltar que as iluminâncias variam bastante em dias de céu parcialmente encoberto, conforme pode ser visto nas Tabelas 6 e 7. Essa variação de brilho deve ser considerada ao projetar ambientes que utilizem essas tecnologias, sobretudo nos casos em que essa variação precise ser evitada.

6.2 | FASE 2: ESTUDOS DOS DUTOS DE LUZ, MONTAGEM DO HELIOSTATO E ADEQUAÇÕES DO CONJUNTO

a) Estudos com dutos de 1,50 m de altura e heliostato fabricado manualmente

Esta etapa teve início no dia 23 de dezembro de 2016 e foi realizada em dia de céu parcialmente nublado. O duto de 1,50 m de altura, revestido internamente com o alumínio polido, foi testado em conjunto com o primeiro heliostato fabricado para esta pesquisa. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 8 – Iluminâncias (lux) coletadas no dia 23/12/16, sob condições de céu claro, medidas com data loggers – duto com alumínio polido e heliostato.

Linha	Hora	Iluminâncias				Heliostato atuando	Transmissão de luz do duto (%)
		Sensor no fim do duto (lux)	Sensor na sombra (lux)	Iluminância transmitida p/ duto (lux)	Sensor externo (lux)		
1	13h00	60.622,6	26.178,0	34.444,6	275.557,4	Não	12,5
2	14h00	19.977,9	28.933,5	-	264.535,1	Não	-
3	15h30	17.911,2	44.089,2	26.178,0	187.379,0	Sim	13,9
4	16h30	57.867,0	26.178,0	31.689,0	176.356,7	Sim	17,9

Fonte: a autora.

No momento do teste, o céu estava claro e os dutos estavam sob luz direta. Nota-se que o heliostato não precisou ser acionado quando a altura solar estava mais elevada, momento em que captou 34.444,6 lux. Através de avaliação visual, constatou-se que às 14h00 o duto não transmitia mais luz, e o heliostato passou a ser utilizado. A partir disso, o duto volta a transmitir altos índices de iluminâncias (26.178 lux às 15h30 e 31.689 lux às 16h30) e aponta o uso de espelhos móveis como estratégia capaz de aumentar a eficiência da captação de dutos de luz natural.

Esse teste foi realizado no verão, próximo do solstício dessa estação, quando as condições de captação são mais favoráveis. As iluminâncias coletadas diminuiram à

medida que o sol se aproximou da linha do horizonte. Isso corrobora os estudos de Hansen, Edmonds e Bell (2009), os quais apontam que os dutos diminuem sua eficiência quando estão sob baixas alturas solares.

Foi realizado novo teste no dia 17 de março de 2017, com o mesmo conjunto, sob condição de céu claro. Esses resultados podem ser visualizados na Tabela 9, onde se constata significativo aumento da transmissão de luz do duto, embora as iluminâncias externas sejam menores (menos da metade que no teste realizado em dezembro de 2016).

Tabela 9 – Iluminâncias (lux) coletadas no dia 17/03/17, sob condições de céu claro, medidas com luxímetro – duto com alumínio polido e heliostato.

Linha	Hora	Iluminância transmitida pelo duto (lux)	Sensor externo (lux)	Transmissão de luz do duto (%)
1	8h45	20.400	53.900	38
2	8h50	47.500	61.100	78
3	8h55	40.200	58.300	69
4	9h00	53.600	61.500	87
5	9h05	40.100	53.400	75
6	9h10	61.500	70.100	88
7	9h15	65.000	70.300	92

Fonte: a autora.

A altura solar é menor nessa época, assim como as iluminâncias externas, ainda assim a capacidade de transmissão do duto aumentou. Isso pode ter ocorrido devido ao redirecionamento mais adequado do heliostato, que favoreceu a penetração dos raios solares. Isso aponta a importância da precisão do movimento do espelho para garantir a maior eficiência do conjunto.

Esses dois testes apontaram a habilidade do heliostato em aumentar a capacidade de captação dos dutos de luz e as iluminâncias obtidas (maiores que 300 lux). Os resultados foram obtidos sob condição de céu claro. O céu característico de Porto Alegre é parcialmente encoberto, e isso deve ser levado em conta a fim de estabelecer com maior precisão a potencialidade de uso dessas tecnologias na cidade.

Posteriormente, foram realizados testes com os quatro dutos de alturas diferentes e revestidos internamente com o alumínio TSV95100 (Vega 95). Na tabela 10, são apresentados os resultados³⁵ obtidos no dia 22 de julho de 2017. Durante a manhã e o

³⁵ Alguns resultados do duto com altura de 50 cm superaram os resultados do duto menor. Esses dados foram descartados, pois apontam incoerência decorrente, provavelmente, da interferência de fatores externos ou da limitação dos sensores relacionada à sua precisão, conforme explicado anteriormente neste trabalho. Os resultados obtidos, das 11h30 até as 14h, foram: 2.755,6; 3.272,2; 3.616,7; 2.927,8 e 2.669,5; respectivamente.

início da tarde (até as 14h30), os dutos estavam sob céu claro e sob luz direta, intervalo em que registraram maior iluminância.

Tabela 10 – Iluminâncias (lux) coletadas no dia 22/07/17, sob condições de céu claro, de quatro dutos com alturas diferentes, medidas com data loggers.

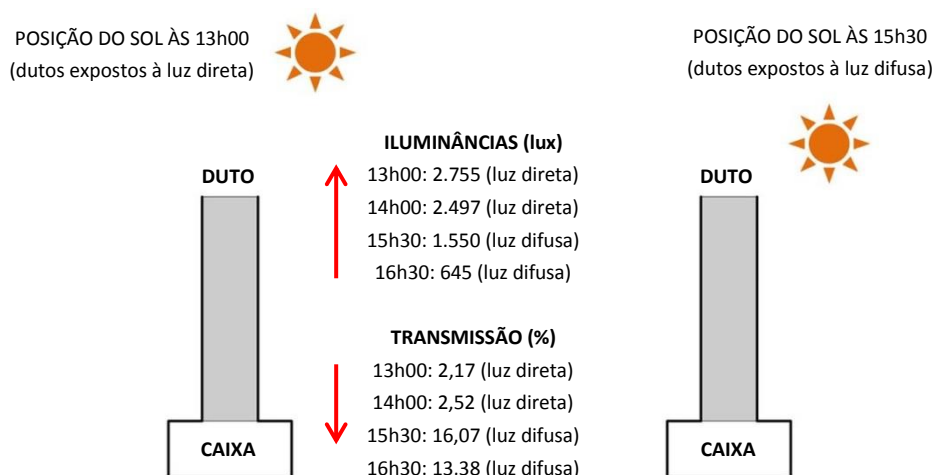
Linha	Hora	Duto com h= 30 cm (lux)	Duto com h= 50 cm (lux)	Duto com h= 100 cm (lux)	Duto com h= 150 cm (lux)	Sensor externo (lux)	Transmissão de luz do duto mais eficiente (%)
1	11h00	2.411	2.325	1.377	796	115.734	2,08
2	11h30	2.669	-	1.636	990	126.756	2,10
3	12h00	3.272	-	2.066	1.324	132.267	2,47
4	12h30	3.616	-	2.066	1.377	132.267	2,73
5	13h00	2.755	-	1.808	1.151	126.756	2,17
6	14h00	2.497	-	1.377	796	99.200	2,52
7	14h30	2.152	2.066	1.162	602	88.178	2,44
8	15h30	1.550	1.377	592	236	9.644	16,07
9	16h00	839	796	344	96	6.200	13,53
10	16h30	645	592	258	64	4.822	13,38
11	17h00	333	301	129	32	2.497	13,34
12	17h30	204	183	64	10	1.550	13,16
13	18h00	10	0	0	0	140	7,14

Fonte: a autora.

O duto mais eficiente foi o de menor altura (0,30 m), e as iluminâncias registradas diminuíram à medida que a altura do duto aumentou. O duto de 1,50 m conduziu menos luz e, ainda assim, captou iluminâncias maiores que 300 lux na maior parte do tempo (por um período de 3,5 horas). Os dutos de 0,30 m e de 0,50 m registraram valores acima de 300 lux durante 6 horas, e o de 1,00 m durante 5 horas. Portanto, nessas condições e, ressalta-se, sem o uso de heliostato, os resultados apontaram a possibilidade de uso desses dutos para auxiliar no desenvolvimento de vegetação em áreas subterrâneas de Porto Alegre, durante parte do período diurno. As iluminâncias coletadas também atingem níveis satisfatórios para execução de tarefas básicas durante o período diurno, conforme exigido pela NBR/ ISO 8995-1 (ABNT, 2013).

Novamente, as iluminâncias captadas pelos dutos diminuíram à medida que o sol se aproximou do horizonte, e a sua capacidade de transmissão de luz aumentou significativamente às 15h30 (16,07%), quando passou a receber luz difusa. Isso apontou que a capacidade de transmissão do duto não era diretamente proporcional à altura do ângulo solar e que pode aumentar significativamente quando o duto deixa de receber luz direta e passa a ser iluminado por luz difusa, conforme ilustra a figura 93.

Figura 93 – Ilustração da relação direta entre o caimento da altura solar e as iluminâncias transportadas pelos dutos, e inversa quando comparados à capacidade de transmissão de luz pelos mesmos dutos (dados do duto com altura de 0,30 m).



Fonte: desenho da autora.

b) Testes do heliostato eletrônico

Os testes com o heliostato eletrônico iniciaram no dia 31 de março de 2017, e o céu estava claro. O duto utilizado estava revestido internamente com o alumínio, e foi realizada análise do funcionamento do conjunto e do movimento das peças, que apresentaram desempenho adequado nesse primeiro momento. Aparentemente, o conjunto suportou o peso dos motores e do espelho.

Tabela 11 – Desempenho do heliostato no dia 31/03/17, posicionado no duto de 30 cm de altura e revestido com alumínio polido – iluminâncias (lux) mensuradas com luxímetro.

Linha	Hora	Iluminância transmitida pelo duto (lux)	Sensor externo (lux)	Transmissão de luz do duto (%)
1	15h29	93.500	71.800	130
2	15h30	118.000	71.500	165
3	15h34	50.700	71.800	71

Fonte: a autora.

Os resultados apresentados na Tabela 11 apontaram a capacidade do heliostato de concentrar os raios luminosos, uma vez que as iluminâncias coletadas internamente às 15h29 (93.500 lux) e às 15h30 (118.00 lux) superaram as externas (71.800 lux e 71.500 lux, respectivamente). Ressalta-se que esse fenômeno poderia causar ofuscamento e transferência de altos índices de carga térmica para o interior das edificações, e isso deve ser considerado ao se projetar esses sistemas. Cabe lembrar que esses resultados foram obtidos com o duto de 0,30 m de altura. Esses valores indicaram aumento expressivo da transmissão de luz (130% e 165%, respectivamente) em relação àqueles obtidos com o duto de 1,50 m de altura (variaram de 38% a 92%), quando foi utilizado o

heliostato fabricado manualmente (Tabela 9), igualmente medido com luxímetro e revestido com o mesmo material.

Novo teste foi realizado no dia 23 de julho de 2017 a fim de verificar o funcionamento do sistema eletrônico e o desempenho do novo material adquirido para o experimento – alumínio TSV95100. Nesse dia o céu estava parcialmente encoberto, mas os dutos estavam sob céu claro no momento das medições. Os resultados podem ser verificados na Tabela 12 e indicaram que, nessas condições, há a possibilidade de captar índices de iluminâncias bastante superiores aos 300 lux desejados.

Tabela 12 - Desempenho do heliostato no dia 23/07/17, posicionado no duto de 0,30 m de altura e revestido com alumínio TSV95100 – iluminâncias (lux) mensuradas com data loggers.

Linha	Hora	Iluminância transmitida pelo duto (lux)	Sensor externo (lux)	Transmissão de luz do duto (%)
1	15h05	22.044	93.689	25,53
2	15h35	42.711	79.911	53,45
3	16h05	24.800	10.677	232,27
4	16h40	15.155	4.650	325,91
5	17h00	613	2.497	24,55

Fonte: a autora.

Com os dados da Tabela 12, foi possível constatar que o heliostato concentrou os raios solares às 16h05 (24.800 lux) e às 16h40 (15.155 lux), pois os valores superaram aqueles coletados externamente (10.677 lux e 4.650 lux, respectivamente). A transmissão de luz aumentou consideravelmente à medida que o sol se aproximou do horizonte. Isso indicou que o espelho não seguiu com exatidão o movimento do sol e que foi concentrando os raios solares à medida que o tempo passou. Não houve a possibilidade de ajuste dessa situação. Avaliou-se que os raios solares foram redirecionados para o topo do duto e atenderam ao objetivo do heliostato neste estudo, sendo, portanto, considerada aceitável essa imprecisão nesse contexto.

Nesse mesmo momento, também foi realizado teste com duto idêntico, porém sem a presença de heliostato, mostrado anteriormente na fase 1 (Tabela 7). Ao visualizar novamente seus dados, constatou-se que o heliostato aumentou em pelo menos 4 vezes a eficiência do conjunto, chegando a 26 vezes, às 16h05. Enquanto um duto conduziu 3.444 lux às 15h05 (fase 1), o outro coletou 22.044 lux (fase 2). E isso se repetiu: 3.272 lux x 42.711 lux, às 15h35; 947 lux x 24.800 lux, às 16h05; e 710 lux x 15.155 lux, às 16h40. O cenário mudou apenas às 17h, mas o duto com heliostato ainda superou o outro exemplar: 549 lux x 613 lux. Nesse momento, o duto da fase 1 estava na sombra, enquanto o exemplar com heliostato estava parcialmente sombreado. Isso, somado à baixa altura do sol nesse horário durante o inverno, explica a diminuição das

iluminâncias captadas e indica a diminuição do desempenho do heliostato nessas situações.

6.3 | FASE 3: VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS DUTOS DE LUZ, DO HELIOSTATO E DA VEGETAÇÃO

Nesta etapa foram executados os três estudos de caso (EC1, EC2 e EC3) do experimento, cada um deles composto por um vaso com as mesmas espécies vegetais, distribuídas similarmente. Os casos 1 e 2 foram iluminados pelos dutos de luz, e se diferenciam apenas pela presença do heliostato, existente na extremidade do primeiro. Cada duto foi revestido internamente com alumínio TSV95100. O Estudo de Caso 3 (EC3 - vaso controle) ficou sujeito às intempéries e às condições locais de luminosidade. O experimento iniciou no período da tarde do dia 18 de agosto de 2018 e teve como objetivo avaliar o desempenho dos dutos de luz e verificar o comportamento da vegetação, apresentados a seguir. O método e os procedimentos estabelecidos para a coleta de dados e para a realização do experimento também foram avaliados com vistas a propor melhorias para estudos futuros.

6.3.1 | Desempenho do heliostato e dos dutos de luz

O experimento foi iniciado às 15h15, em dia de céu claro. Primeiramente, foram avaliadas as médias aritméticas das iluminâncias captadas em cada dia a fim de estabelecer panorama geral do experimento. Em seguida, foi realizada análise mais profunda acerca das especificidades de cada dia. Nesse momento, também se buscou investigar e esclarecer fatos constatados na primeira análise. As tabelas com os dados coletados estão disponíveis no Apêndice 1.

Tabela 13 – Média aritmética das iluminâncias (lux) coletadas em cada dia da Semana 1 do experimento.

Semana 1 (S1) – Período de coleta: 18.08 – 25.08					
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)			
		Estudo de Caso 1 (EC 1) (com heliostato)	Percentual de aumento do heliostato (%)	Estudo de Caso 2 (EC2) (sem heliostato)	Exterior (sob luz direta)
1	18.08	4.990 (heliost. ativo)	49.800	10	27.873
2	19.08	14.815 (heliost. ativo)	2.476	72	71.072
3	20.08	19	-	18	6.027
4	21.08	3.094 (heliost. ativo)	3.456	87	35.357
5	22.08	150	-	101	13.365
6	23.08	23.675 (heliost. ativo)	102.835	23	91.861
7	24.08	80	-	51	11.027
8	25.08	77	-	38	84.393
Média aritmética		5.862,5		50	42.621,88

LEGENDA



CÉU CLARO



CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO



CÉU ENCOBERTO

Fonte: a autora.

A tabela 13 apresentou os dados de luz da primeira semana do experimento (Semana 1 – S1), onde são exibidas as iluminâncias do Estudo de Caso 1 (EC1) e do Estudo de Caso 2 (EC2), captadas na região central de cada vaso. O heliostato aumentou significativamente a captação de luz natural nos dias em que foi acionado, conforme pode ser visto. O sistema eletrônico não operou nos dias 20, 22 e 24 de agosto devido à previsão de chuva.

Os dados apontaram iluminâncias bastante superiores no Estudo de Caso 1 (EC1), quando o heliostato estava acionado. Seus valores atingiram 4.999 lux no dia 18 de agosto, contra 10 lux coletados no Estudo de Caso 2 (EC2), indicando aumento de 499 vezes (49.800%) na eficiência nesse dia de céu claro. A evolução no desempenho se repetiu nos dias seguintes em que o heliostato foi utilizado: 14.815 lux x 72 lux (em 19/08, céu parcialmente encoberto), 3.094 lux x 87 lux (21/08, céu encoberto), 23.675 lux x 23 lux (23/08, céu claro). No último resultado, foi atingida a maior iluminância captada pelo duto na semana, a qual indicou aumento de 1.029 vezes (102.835%) em relação ao EC2. O heliostato apresentou maior desempenho nos dias de céu claro, seguido do dia parcialmente encoberto.

Em 21 de agosto, foi possível acionar o heliostato em dia de céu encoberto. Nesse dia, a iluminância média transmitida pelo heliostato (3.094 lux) foi menor que nos dias de céu claro e de céu parcialmente encoberto (Tabela 13). Mesmo assim, esse valor foi bastante superior àquele coletado em EC2 no mesmo período (87 lux) e revelou aumento de 35 vezes na capacidade de condução de luz natural do duto de EC1. Isso indicou que o uso dessa tecnologia também pode ser eficiente quando se está sob esse tipo de céu.

Ressalta-se que, nesse dia, a média de iluminância externa coletada totalizou 35.357 lux. Esse valor foi ao menos 2,6 vezes superior em relação aos outros dias de céu encoberto dessa semana, quando os valores ficaram entre 6.027 lux e 13.365 lux. Não foi possível verificar o comportamento do heliostato nesses outros dias devido à probabilidade de chuva. Com isso, aponta-se a necessidade de investigação mais profunda acerca do seu desempenho em dias de iluminâncias mais baixas que aquelas em que foi possível analisar seu comportamento.

O heliostato parou de funcionar no oitavo dia do experimento (25/08/18), não havendo possibilidade de reparo. Ainda assim, as amostras obtidas durante sua atuação foram suficientes para contribuir com este trabalho, pois apontaram que sua utilização aumentou significativamente a eficiência dos dutos de luz quando estavam submetidos às três condições de céu existentes. A coleta de dados continuou com o objetivo de verificar o comportamento dos dutos de luz e da vegetação, bem como a metodologia e

os procedimentos adotados. As Tabelas 14 a 17³⁶ apresentam as iluminâncias das semanas seguintes do experimento sem a utilização do heliostato.

Tabela 14 – Média aritmética das iluminâncias (lux) coletadas em cada dia da Semana 6 do experimento.

Semana 6 (S6) – Período de coleta: 25.09 – 01.10				
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)		
		Estudo de Caso 1 (EC 1) (sem heliostato)	Estudo de Caso 2 (EC2) (sem heliostato)	Exterior (sob luz direta)
39	25.09	284	171	31.852
40	26.09	352	228	56.291
41	27.09	235	121	31.289
42	28.09	261	176	70.299
43	29.09	100	90	98.677
44	30.09	194	139	28.121
45	01.10	157	76	27.401
Média aritmética		226,14	143	49.132,86

LEGENDA

 CÉU CLARO

 CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO

 CÉU ENCOBERTO

Fonte: a autora.

Os resultados indicaram que dias de céu encoberto ou parcialmente encoberto não foram uma limitação para o uso dos dutos em relação à captação de luz, como levantado anteriormente. Em diversas amostras, os dutos coletaram iluminância maior sob essas condições de céu do que em dias de céu claro. As maiores médias aritméticas de iluminâncias captadas nas semanas 2 (S2) a 6 (S6) alternaram entre dia de céu encoberto e parcialmente encoberto. E as médias mais baixas ocorreram em dia de céu encoberto e em dias de céu claro. Na semana 6, foram coletadas as médias aritméticas mais altas (Tabela 14), e no dia 26 de setembro o EC1 atingiu iluminância média de 352 lux, ultrapassando os 300 lux requeridos para a sobrevivência de vegetação.

Tabela 15 – Iluminâncias (lux) coletadas na Semana 6 do experimento nas três situações de céu, às 9h00, às 12h00 e às 15h00.

Semana 6 (S6)										
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)								
		9h00			12h00			15h00		
		EC1	EC2	Exterior	EC1	EC2	Exterior	EC1	EC2	Exterior
39	25.09	312	140	57.867	947	603	60.622	172	108	11.022
40	26.09	86	65	63.378	958	646	104.712	506	312	68.889
42	28.09	258	129	16.533	269	205	99.200	172	140	52.356
43	29.09	75	65	85.423	237	237	198.401	129	108	148.801
Média aritmética		182,75	99,75		602,75	422,75		244,75	167	

LEGENDA

 CÉU CLARO

 CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO

 CÉU ENCOBERTO

Fonte: a autora.

³⁶ No Apêndice 2 constam as tabelas referentes a todas as semanas do experimento.

Na tabela 15, foi mais detalhado o comportamento de quatro dias dessa semana: dia de céu encoberto com iluminância média externa abaixo de 15.000 lux (39º dia) e acima de 50.000 (40º dia, quando EC1 atingiu seu ápice), dia de céu parcialmente encoberto (42º dia) e dia de céu claro (43º dia). As iluminâncias analisadas correspondem aos períodos das 9h00, das 12h00 e das 15h00. O momento em que os dutos coletam maior iluminância é ao meio-dia, quando a altura solar é maior, circunstância que favorece o acesso dos raios de luz aos dutos, independentemente do tipo de céu. Nessa semana, os maiores resultados registrados nesse horário foram nos dias de céu encoberto, dias 39º e 40º, momento em que coletaram 947 lux (EC1) e 603 lux (EC2), e 958 lux (EC1) e 646 lux (EC2), respectivamente. Durante o 40º dia, embora considerado encoberto, o céu teve alguns períodos com partes do céu sem nuvem. Isso explica os resultados mais elevados que os do dia anterior.

No 42º dia, sob céu parcialmente encoberto, os dutos coletaram 258 lux (EC1) e 129 lux (EC2) às 9h00, quando estavam sob céu encoberto e iluminância externa de 16.533 lux. A partir das 11h desse dia, a cobertura de nuvens diminuiu no céu, e mais da metade da sua porção estava clara. Às 12h, a iluminância externa atingiu 99.200 lux, mas a coleta dos dutos não teve grande aumento: 269 lux (EC1) e 205 lux (EC2). No 43º dia do experimento, as iluminâncias transportadas diminuiram, embora a disponibilidade de luz tenha aumentado no exterior, exceto em EC2, que às 12h00 coletou iluminância maior (237 lux) do que no dia anterior (205 lux).

Na tabela 15, também é possível perceber que os dutos coletaram iluminâncias diferentes nos mesmos períodos, e EC1 transportou mais luz que EC2 em todos os registros. Diferenças de 20 lux, por exemplo, são imperceptíveis a olho nu, mas uma diferença de 344 lux, como ocorreu às 12h00 do 39º dia, é percebida. Isso pode indicar alguma diferença entre os dutos, decorrente da fabricação artesanal.

Na tabela 16, foram exploradas as iluminâncias coletadas no 42º dia, quando os dutos estavam sob céu parcialmente encoberto. Às 11h00, às 13h00 e às 16h00, foram observados os períodos de maior iluminância externa do dia (209.424 lux, 220.424 lux e 104.712 lux, respectivamente), quando estavam expostos à luz direta. Mas esses momentos não coincidiram com aquele de maior captação de luz pelos dutos, que ocorreu às 14h00, quando estavam sob luz difusa e os sensores registraram 893 lux, em EC1, e 538 lux em EC2. O segundo maior momento de captação foi registrado às 11h00, quando EC1 transportou 495 lux, e EC2 conduziu 388 lux. Cabe lembrar que, nesse momento, os estudos de caso estavam sob luz direta e a altura solar estava elevada.

Tabela 16– Iluminâncias (lux) coletadas, das 8h00 até as 17h00, no 42º dia do experimento, sob céu parcialmente encoberto.

Iluminâncias do 42º dia do experimento (28.09.18 - S6) – dia de céu parcialmente encoberto				
Linha	Hora	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)		
		EC 1	EC2	Exterior
1	8h00	151	75	16.533
2	9h00	258	129	16.533
3	10h00	355	205	23.422
4	11h00	495	388	209.424
5	12h00	269	205	99.201
6	13h00	269	258	220.446
7	14h00	893	538	88.178
8	15h00	172	140	52.356
9	16h00	54	43	104.712
10	17h00	22	11	7.233
Média aritmética		293,8	199,2	

LEGENDA



CÉU CLARO



CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO



CÉU ENCOBERTO

Fonte: a autora.

Na semana 7, as médias aritméticas mais altas foram coletadas em dias de céu claro e parcialmente encoberto (Tabela 17). Nessa semana, as médias captadas pelos dutos em dia de céu claro aumentaram. A altura solar estava maior nesse período, se comparado ao mês de agosto, quando o experimento foi iniciado. Isso pode ter favorecido a captação de luz natural. Salienta-se que foi constatada a presença de nuvens no céu nesses dias e isso aparentemente favorece a captação dos dutos. Nos dias de céu encoberto, a captação baixou de forma bastante expressiva. Ressalta-se que, nessa semana, as iluminâncias externas registradas sob essa condição de céu também foram menores (11.358 lux e 18.511 lux, no 46º e 47º dias, respectivamente), se confrontadas com as da semana anterior (acima dos 27.000 lux) (tabela 14).

Tabela 17 – Média aritmética das iluminâncias (lux) coletadas em cada dia da Semana 7 do experimento.

Semana 7 (S7) – Período de coleta: 02.10 – 08.10				
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)		
		Estudo de Caso 1 (EC 1) (sem heliostato)	Estudo de Caso 2 (EC2) (sem heliostato)	Exterior (sob luz direta)
46	02.10	52	34	11.358
47	03.10	85	52	18.511
48	04.10	184	162	109.717
49	05.10	149	200	93.994
50	06.10	227	178	91.008
51	07.10	132	186	107.644
52	08.10	148	181	106.396
Média aritmética		139,57	141,86	76.946,86

LEGENDA



CÉU CLARO



CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO



CÉU ENCOBERTO

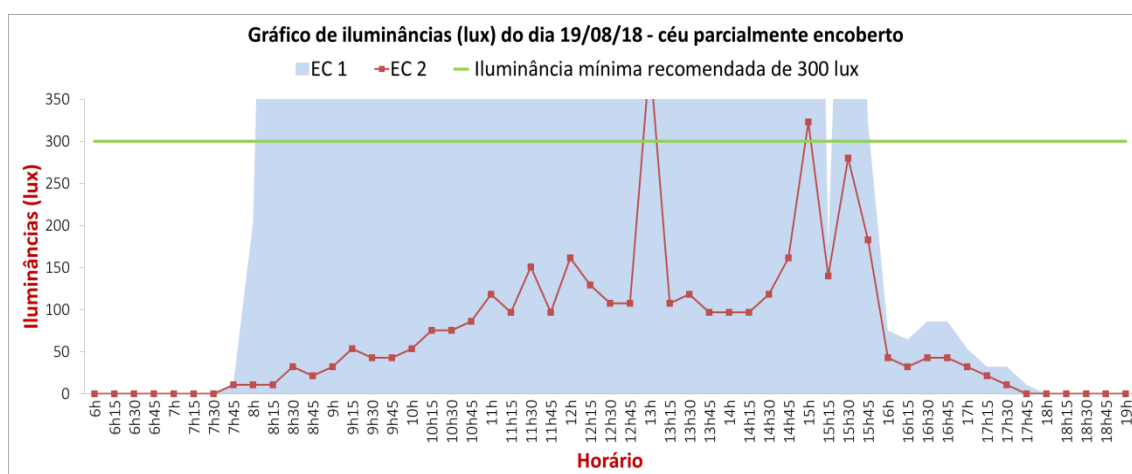
Fonte: a autora.

Durante o experimento, as iluminâncias coletadas alternaram bastante. A constante variação das condições climáticas é um dos motivos que explica isso. Outro motivo pode ser a sensibilidade do conjunto decorrente da montagem manual e da escala reduzida. A presença de vento e até mesmo os procedimentos de coleta de dados e de manutenção podem ter provocado o movimento do sistema, modificando seu posicionamento inicial. Ainda assim, conforme citado anteriormente, foi possível constatar que dia de céu parcialmente encoberto não é condição limitante para a utilização dos dutos de luz que foram analisados neste estudo.

Posteriormente, foi realizada análise mais detalhada de cada dia do experimento (Apêndice 3). Foram levantados os períodos em que os dutos conduziram ao menos 300 lux para o interior das caixas, a fim de estabelecer o fotoperíodo diário dos estudos de caso 1 e 2 (Apêndice 4).

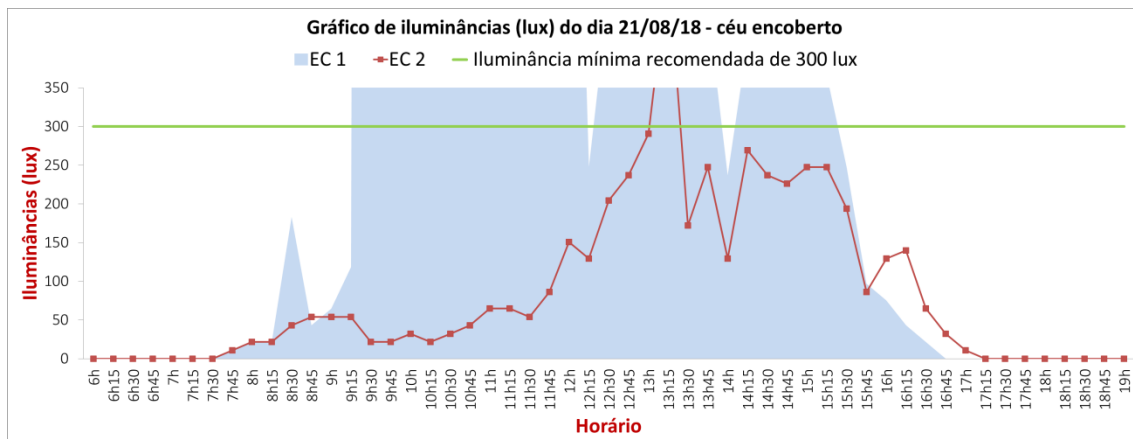
Em um primeiro momento, foram analisados os dias em que o espelho móvel foi acionado. Constatou-se que, embora o heliostato tenha aumentado significativamente a captação quando estava redirecionando os raios solares, a sua capacidade diminuiu expressivamente quando ficou sombreado (sob luz difusa). Ainda assim, essa estratégia foi capaz de fornecer ao menos 300 lux por um período de 7,5 horas durante um dia de céu parcialmente encoberto (figura 94); de 5,5 horas em dia de céu encoberto (figura 95) e de 8 horas em dia de céu claro (figura 96), conforme pode ser visto a seguir. Ressalta-se que esses fotoperíodos corresponderam ao mês de agosto (inverno) e que no verão esses valores tenderiam a aumentar devido à elevação da altura solar. Isso indica o potencial da utilização dessa tecnologia também nessas estações.

Figura 94 – Gráfico de iluminâncias (lux) dos Estudos de Caso 1 e 2, no dia 19 de agosto, dia de céu parcialmente encoberto.



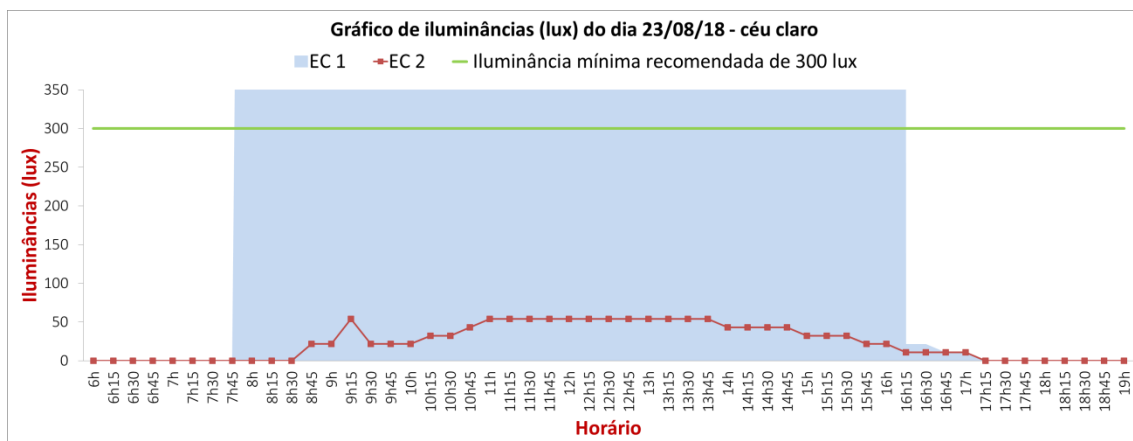
Fonte: a autora.

Figura 95– Gráfico de iluminâncias (lux) dos Estudos de Caso 1 e 2, no dia 21 de agosto, dia de céu encoberto.



Fonte: a autora.

Figura 96– Gráfico de iluminâncias (lux) dos Estudos de Caso 1 e 2, no dia 23 de agosto, dia de céu claro: ilustração dos momentos em que as iluminâncias ultrapassam 300 lux em EC 1.

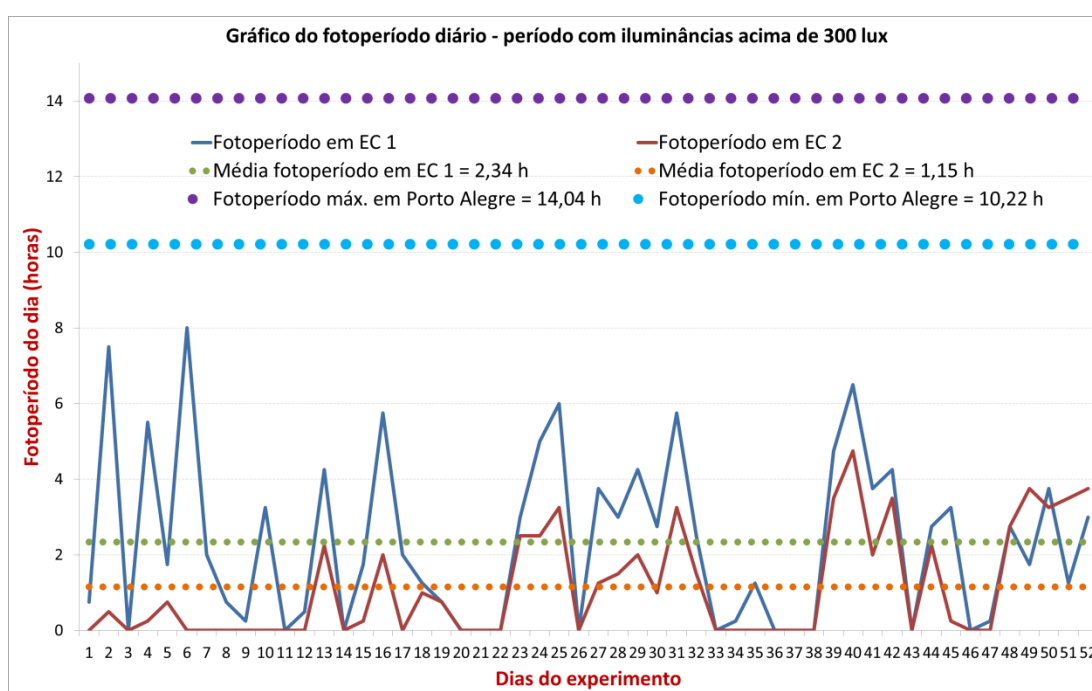


Fonte: a autora.

Os gráficos também destacaram a diferença de coleta de luz natural entre os dois estudos de caso, devido à atuação do heliostato. EC2 apresentou iluminâncias e fotoperíodo inferiores a EC1, exceto quando o sol estava mais próximo da linha do horizonte no dia de céu encoberto (21/08) (Figura 95). Nesse momento, o heliostato de EC1 passou a receber luz difusa. Os períodos nos quais atingiu ao menos 300 lux corresponderam a meia hora no dia de céu parcialmente encoberto (figura 94), 15 minutos no dia de céu encoberto (figura 94) e foi nulo no dia de céu claro (figura 96). O dia de céu claro apresentou a maior iluminância média no exterior (91.861 lux) (Tabela 13). Entretanto, esse foi o dia de menor captação no Estudo de Caso 2, e a luz dentro da caixa se manteve quase constante ao longo do dia, não passando dos 53,8 lux (Figura 96).

Ao avaliar os dados coletados diariamente neste estudo (Apêndice 3), observou-se que EC1 captou iluminâncias maiores que EC2 em 49 dias e foi superado por EC2 apenas no 49º, 51º e 52º dias (figura 97). Constatou-se que o duto de EC1 não coletou iluminâncias acima de 300 lux em 13 dias, dos 52 que compreenderam o experimento, conforme ilustra o gráfico da figura 97. Isso ocorreu em dias de céu encoberto e de céu claro (Apêndice 4). Nesses casos, as maiores iluminâncias de cada dia foram coletadas por volta das 12 horas, e seus valores variaram entre 50 lux e 260 lux, dependendo do dia. Alguma interferência externa pode ter causado obstrução dos dutos (tais como passarinhos, insetos, folhas, água condensada), evitando a coleta de raios solares.

Figura 97 - Gráfico de fotoperíodo (período com iluminâncias acima de 300 lux) diário dos Estudos de Caso 1 e 2, das respectivas médias obtidas durante o experimento, e do fotoperíodo de Porto Alegre.



Fonte: a autora.

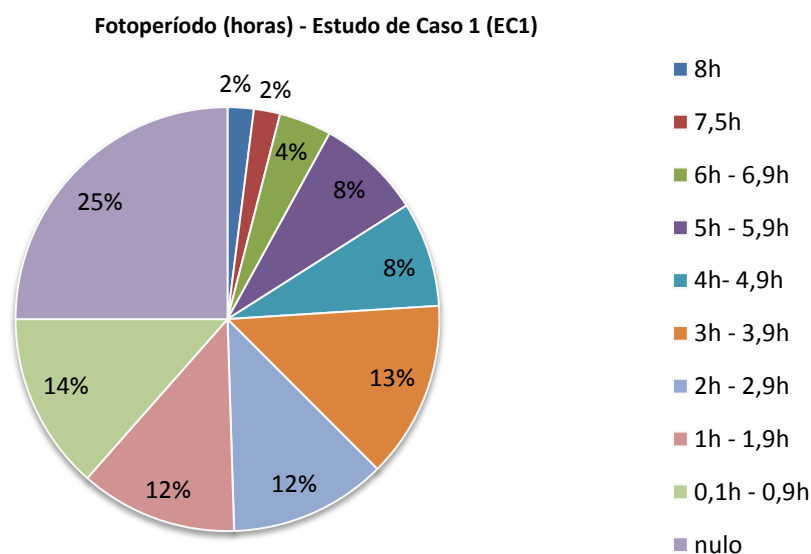
Nos outros 39 dias de experimento, o duto de EC1 atingiu ao menos 300 lux em diversos momentos do dia, conforme pode ser visto no gráfico da figura 97. Nos 16º, 25º, 31º e 40º dias, observaram-se os maiores fotoperíodos sem o auxílio do heliostato: 5,75 horas; 6 horas; 5,75 horas e 6,5 horas, respectivamente. Salienta-se que esses valores superaram o menor fotoperíodo obtido durante o uso do espelho móvel (5,5 horas no dia 4 do experimento, dia de céu encoberto).

Observou-se ainda que a média aritmética das iluminâncias conduzidas pelo duto nesses dias não acompanhou essa relação: enquanto no 4º dia se obteve média de iluminância de 3.094 lux, nos 16º, 25º, 31º e 40º dias coletaram-se apenas 281 lux, 280 lux, 259 lux e 352 lux, respectivamente. Isso ocorreu devido ao auxílio do heliostato e

apontou a capacidade desse dispositivo em aumentar as médias de iluminâncias diárias, sem necessariamente implicar benefício no fotoperíodo. O gráfico também indica que os fotoperíodos considerados no experimento não atingiram a quantidade de horas de luminosidade disponível que a cidade de Porto Alegre oferece (14,07 horas no verão e 10,22 horas no inverno).

Ao seguir a análise dos dados coletados em EC1, constatou-se que o fotoperíodo variou de 0 hora a 6,5 horas, sem o auxílio do heliostato (figura 98). Considerando os dias em que o dispositivo foi ativado, o valor máximo atingido aumentou para 8 horas. Do total de dias do experimento, 2% atingiram 8h de fotoperíodo (6º dia); 2% atingiram 7,5h (2º dia); 4% atingiram entre 6h e 6,9h; 8% atingiram entre 5h e 5,9h; 8% entre 4h e 4,9h; 13,5% entre 3h e 3,9h; 12% entre 2h e 2,9h; 12% entre 1h e 1,9h; 13,5% entre 0,1h e 0,9h; e em 25% dos dias o fotoperíodo foi nulo.

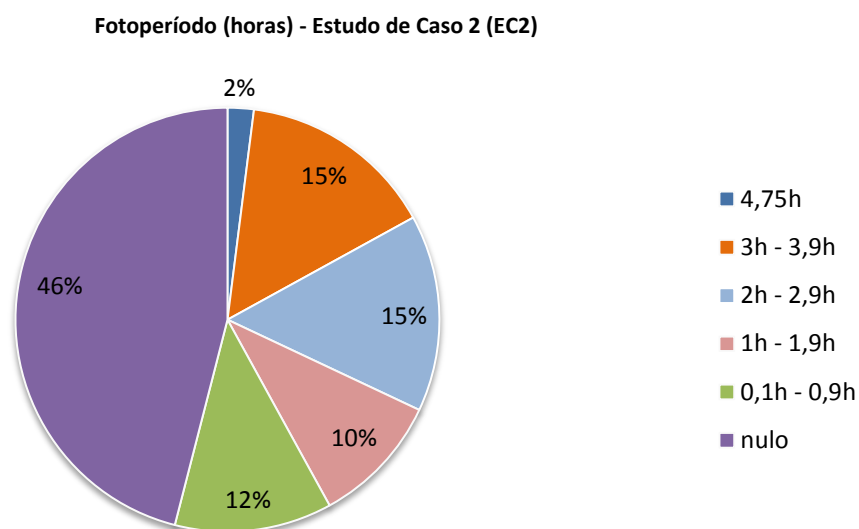
Figura 98 - Gráfico ilustrando os fotoperíodos obtidos em EC1 durante os 52 dias de experimento.



Fonte: a autora.

Em EC2, o fotoperíodo variou entre 0 horas e 4,75 horas (figura 99). Do total de dias de coleta de dados, 2% atingiram seu valor máximo (40º dia); 15% atingiram-no entre 3h e 3,9h; 15% entre 2h e 2,9h; 10% entre 1h e 1,9h; 12% entre 0,1h e 0,9h; e em 46% dos dias o fotoperíodo foi nulo. A média do fotoperíodo atendido em EC1 foi de 2,34 horas, enquanto em EC2 foi de 1,15 horas. EC1 superou as iluminâncias de EC2 em 49 dias, e isso explica a diferença entre esses valores.

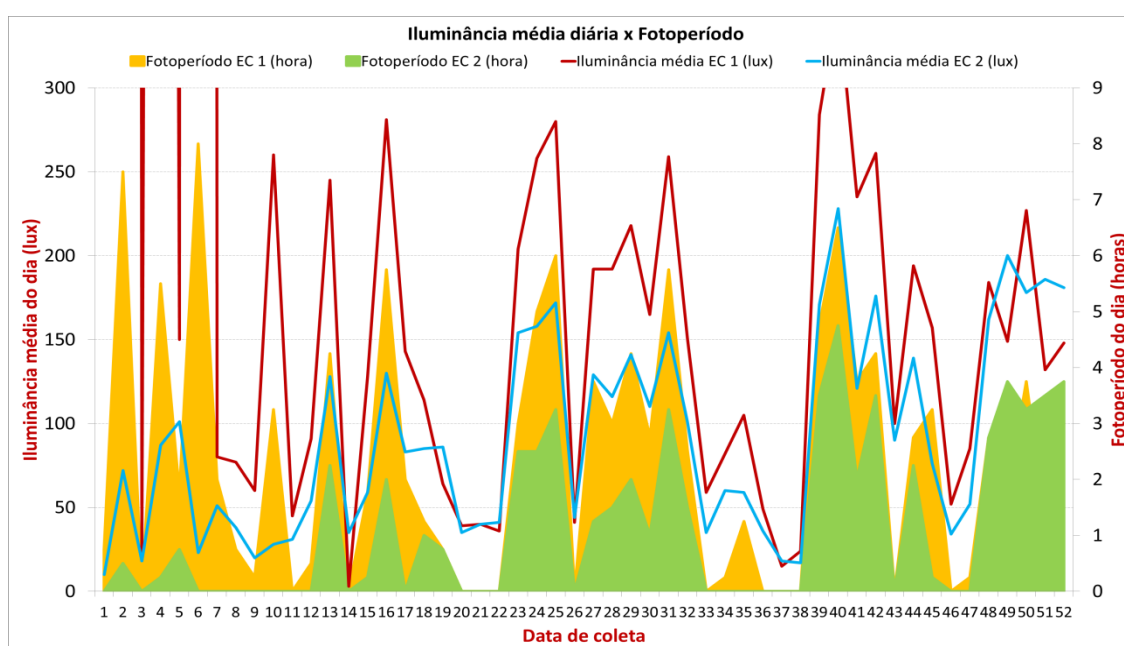
Figura 99 - Gráfico ilustrando os fotoperíodos obtidos em EC2 durante os 52 dias de experimento.



Fonte: a autora.

No gráfico da figura 99, como esperado, percebeu-se que os dias de maiores iluminâncias médias coletadas pelos dutos geralmente coincidiram com os dias de maior fotoperíodo. O gráfico também apontou a diferença na captação de luz natural entre os dois estudos de caso. Essa diferença era esperada nos dias em que o heliostato foi acionado. Neste contexto, indica que os dutos estão com ortogonalidades diferentes, provavelmente decorrentes da fabricação artesanal e da movimentação do conjunto, conforme discutido anteriormente.

Figura 100 – Gráfico de demonstração do fotoperíodo (horas) e da média aritmética das iluminâncias (lux) de cada dia do experimento.



Fonte: a autora.

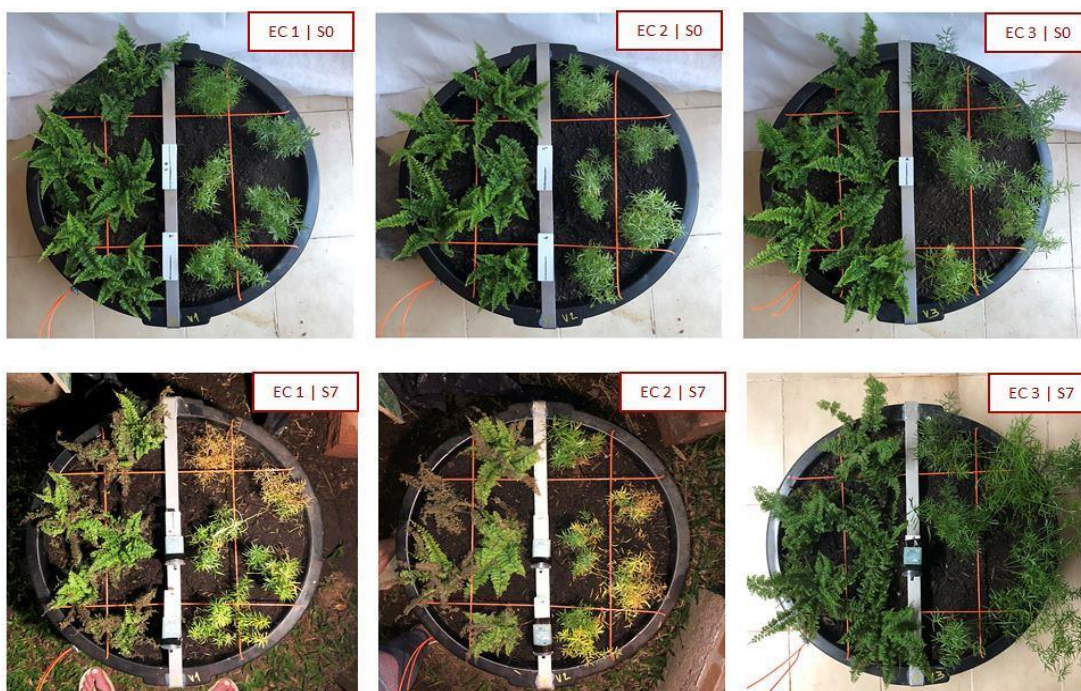
6.3.2 | Comportamento da vegetação

Os vasos dos três estudos de caso foram montados na floricultura e na sequência foram posicionados nos seus respectivos lugares. O Estudo de Caso 1 (EC1) foi iluminado pelo duto de luz com heliostato no 1º, 2º, 4º e 6º dias; o Estudo de Caso 2 (EC2) foi iluminado apenas pelo duto de luz durante todo período do experimento (52 dias). O terceiro Estudo de Caso (EC3), o vaso controle, ficou em área externa recebendo luz natural - difusa na maior parte do tempo.

Foi realizado controle da quantidade de água utilizada para irrigação das plantas. No primeiro dia do experimento, as espécies vegetais foram regadas com 1,5 litro de água. Nas semanas seguintes, foi utilizado apenas 0,75 litro, e as plantas foram irrigadas nos dias de coleta de dados, pois o substrato permanecia úmido entre uma coleta e outra.

No 1º dia do experimento, as plantas estavam saudáveis com coloração típica da espécie e sem sinais aparentes de praga ou doença, conforme pode ser visualizado na figura 101. Nessa figura, são mostradas imagens de cada um dos estudos de caso no primeiro e no último dia do experimento (Semana 0 e Semana 7, respectivamente). À esquerda dos vasos estão as mudas de *Nephrolepis exaltata marisa* (Samambaia-havaiana), e à direita estão os exemplares de *Asparagus densiflorus Sprengeri* (Aspargopendente). As plantas do vaso controle cresceram e se desenvolveram ao longo dos 45 dias do experimento sem apresentar sinais de falência. Sendo assim, a descrição a seguir refere-se ao comportamento da vegetação em EC1 e em EC2. As imagens utilizadas para avaliação podem ser visualizadas no Apêndice 5.

Figura 101 – Evolução da vegetação nos três estudos de caso (EC1, EC2 e EC3): sequência de imagens do primeiro (18/08/18, semana 0 – S0) e do último dia do experimento (7/10/18, semana 7 – S7).



Fonte: fotos da autora.

Na última semana do experimento, uma muda de aspargo (em EC1) e uma de samambaia (em EC2) estavam com a coloração completamente modificada. Os exemplares de samambaia e de aspargo localizados na região central sofreram menos alteração de cor. Isso também se repetiu em outras duas mudas de aspargo de EC1 e em mais uma de EC2. As outras mudas apresentaram grandes alterações de pigmentação, conforme mostrado na figura 101.

Na primeira semana de coleta de dados, as samambaias estavam com aparência similar àquela do primeiro dia do experimento, embora apresentassem pequenas manchas em tom marrom. Essa pigmentação, que estava localizada nas extremidades dos ramos, foi observada em três pontos de cada vaso. Na segunda semana, foi notado aumento da área pigmentada (figura 102). Não houve possibilidade de coleta na 3ª e 4ª semanas. Na quinta semana, essas manchas aumentaram consideravelmente e cobriam quase 50% das folhas das samambaias, exceto nas mudas localizadas no centro dos vasos, as quais recebiam mais luminosidade. Isso caracteriza processo de clorose (diminuição da produção de clorofila) devido à insuficiência de luz, que pode levar à necrose. Nessa mesma coleta, foi possível constatar que as plantas estavam começando a murchar. Na sexta semana, essas manchas aumentaram novamente, mas em ritmo mais lento, como nas primeiras semanas. Na última semana, as áreas em cor marrom (sinal de necrose) cresceram em ritmo mais acelerado que na semana anterior. Em EC2, uma das samambaias estava totalmente marrom.

Figura 102 – Ilustração das manchas de cor marrom (necrose) nas samambaias (à esquerda) e das folhas com pigmentação amarela (clorose) no aspargo (à direita), ambas de EC 2 e coletadas na semana 2 do experimento.



Fonte: foto da autora.

O aspargo estava sem alterações aparentes até a semana 2, quando começou a apresentar algumas folhas com coloração laranja-amarelada e novos ramos (figura 102). Na quinta semana, foram encontradas folhas caídas nos substratos e vários ramos haviam crescido na direção dos dutos em busca de luminosidade, processo chamado de estiolamento. Esses caules estavam dentro dos cilindros e tiveram que ser cortados para liberar a entrada da luz (figura 103). Nesse período, também aumentou a quantidade de folhas com pigmentação laranja-amarelada, mas elas estavam localizadas em pequenas áreas das mudas, em pouquíssima quantidade ainda, exceto no Estudo de Caso 1, em que uma muda estava quase inteiramente amarela. Essa muda ficava no lado oposto do acesso à caixa. Na semana seguinte, essa mesma planta estava totalmente alaranjada, e a proporção de folhas com essa cor havia aumentado mais rapidamente nos outros exemplares, em relação às semanas anteriores. Nessa ocasião, também foram observados ramos se estendendo na direção do duto novamente.

Figura 103 – Ilustração do aspargo ingressando no duto e dos caules (com quase 0,40 m), que foram cortados na semana 5 do experimento.



Fonte: foto da autora.

Na semana 7, as plantas apresentaram aumento da quantidade de folhas amareladas novamente. Mas, diferentemente da samambaia, nos dois estudos de caso ainda foram encontradas algumas mudas com pouca alteração de cor. Isso indica que a espécie de aspargo pode ser mais resistente a essas condições que a samambaia utilizada.

Durante o experimento, também foi observado o surgimento de brotos³⁷ (na segunda semana) e de cogumelos (na sétima semana) no substrato de EC2 (Figura 104). Na semana 5 do experimento, foi constatada entrada de água da chuva na caixa desse estudo de caso. Isso deixou o ambiente mais úmido e, somado à baixa luminosidade, pode ter favorecido a proliferação desses exemplares de fungos, que podem ter vindo junto com o substrato ou com as mudas de plantas.

Figura 104 – Ilustração das espécies de cogumelos observadas em EC 2 na coleta da semana 7.



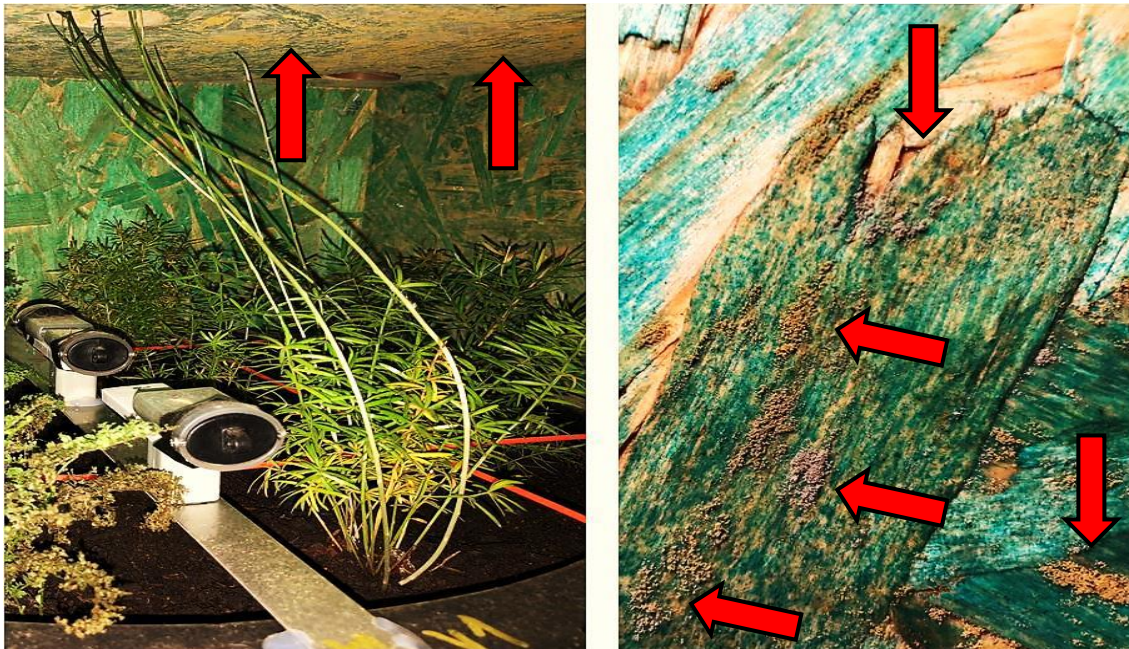
Fonte: foto da autora.

Na quinta semana, as caixas estavam tomadas por outra espécie de fungos (figura 105). Conforme indicado por profissional da agronomia, as paredes infestadas foram limpas com pano molhado em água sanitária. Nas semanas seguintes, não foi observada nova infestação. Na mesma semana, observou-se em EC3 a presença de pequenos pontos

³⁷ Segundo profissional da área de agronomia, o surgimento de desenvolvimento de novo vegetal pode ter ocorrido devido à existência de semente no substrato adquirido para o experimento.

brancos nas folhas das mudas de aspargo, indicando possível infestação de Cochonilha (*Dactylopius coccus*), um pequeno inseto parasita (figura 106).

Figura 105 – Imagem da 5ª semana do experimento: ilustração dos fungos observados no interior das caixas.



Fonte: foto da autora.

Figura 106 – Pontos brancos observados no Estudo de Caso 3, na quinta semana do experimento.



Fonte: foto da autora.

6.3.3 | Discussão

Na terceira fase do experimento, o duto de luz do EC1 conduziu altas iluminâncias quando o heliostato foi ativado, e seu ápice foi às 11h15 do dia 19.08, momento em que transferiu 176.357 lux para o interior da caixa. Durante seu uso, foram obtidos os maiores fotoperíodos, que variaram entre 5h30 e 8h. Também foi possível atingir fotoperíodos dentro dessa faixa sem o auxílio do heliostato. Isso ocorreu no 16º, 25º, 31º e 40º dias, e os valores variaram entre 5h45 e 6h30. Contudo, a média de fornecimento de iluminâncias acima de 300 lux ficou entre 2h20 (em EC1) e 1h09min (em EC2). Esses valores são bastante inferiores ao fotoperíodo de Porto Alegre, que varia entre 14h04min e 10h13min, conforme relatado no capítulo 4.

Neste estudo, as espécies vegetais não apresentaram desenvolvimento saudável quando iluminadas pelos dutos de luz empregados. A vegetação utilizada começou a apresentar sintomas de adoecimento na primeira semana do experimento, quando surgiram as primeiras manchas de cor marrom (necrose) nas mudas. O aspargo resistiu por mais tempo, mas também revelou sinais de alteração na saúde, constatados a partir da segunda semana (folhas amareladas, que indicaram sinal de clorose). Algumas mudas dessa espécie cresceram no sentido vertical em busca de luz (fototropismo). Isso indica estresse do vegetal e não é considerado desenvolvimento saudável, mas, por outro lado, aponta que essa espécie tem maior capacidade para se estiolar em busca de luminosidade, quando comparada com a samambaia utilizada. O nascimento de brotos (na 2ª semana) e de cogumelos (na 7ª semana) sugere haver alguma condição favorável para o seu cultivo nos contextos propostos. Isso pode ser objeto de estudo de outras pesquisas que queiram analisar o comportamento desses seres vivos.

Portanto, espécies vegetais locais provavelmente não resistirão nesse contexto se não forem propostas melhorias a esse conjunto, as quais tenham como objetivo atingir o fotoperíodo necessário para o seu adequado desenvolvimento. A utilização de lâmpadas elétricas, específicas para o crescimento de plantas, e o aumento da eficiência dos dutos de luz podem ser alternativas para viabilizar a existência de vegetação em áreas subterrâneas da cidade. Este estudo forneceu dados para a aplicação de dutos com variadas alturas (6,00 m; 10,00 m; 20,00 m; 30,00 m) e diâmetro de 1,00 m, e outras dimensões e formatos também devem ser explorados.

Cabe lembrar que a ventilação dos modelos construídos também pode ter sido uma limitação para o desenvolvimento das samambaias e aspargos. Esse quesito favorece as trocas gasosas dos vegetais, porém não foi possível controlar e avaliar essa variável no experimento. Recomenda-se que todos os fatores que se relacionam com a saúde do vegetal sejam acompanhados e controlados em pesquisas futuras, para que se

estabeleça com precisão o comportamento desses seres vivos nessas condições. Ressalta-se que investigações como essas implicam pesquisa multidisciplinar e podem demandar grande tempo de estudo, e isso deve ser considerado.

Quanto às condições de céu de Porto Alegre, verificou-se que as iluminâncias externas em dias de céu claro foram superiores às de céu encoberto, como mostraram os dados registrados no 6º e 7º dias do experimento, por exemplo, em que as iluminâncias médias foram 91.861 lux e 11.027 lux, respectivamente. Diante disso, esperou-se que, em dias de céu parcialmente encoberto, essas iluminâncias seriam intermediárias, o que foi constatado, conforme ilustrou o dado coletado no 2º dia, em que a iluminância média foi de 71.072 lux.

Há referenciais teóricos que apontaram que dutos de luz diminuem bastante sua eficiência em condições de céu encoberto, devido à diminuição das iluminâncias, e que diminuem seu desempenho à medida que a altura solar se aproxima da linha do horizonte. Com base nisso, entendeu-se que os dutos de luz também diminuiriam seu desempenho em dias de céu parcialmente encoberto, se comparados a um dia de céu claro, em virtude da presença de nuvens.

Esse comportamento foi verificado nas fases 1 e 2 do estudo realizado, bem como no período inicial da 3ª fase, nos dias em que o heliostato estava atuando. Entretanto, em diversos dias da etapa final, os dutos conduziram mais iluminâncias em dia de céu parcialmente encoberto e encoberto do que em dias de céu claro, de acordo com o que foi relatado anteriormente. As nuvens, dependendo da quantidade, pareceram favorecer a captação de iluminâncias. Sua presença pode implicar o surgimento de maior quantidade de raios solares com ângulo de incidência favorável à penetração nos dutos.

Os dados registrados sugerem que os dutos de luz aumentaram sua eficiência quando estavam expostos a altos índices de iluminâncias e à luz difusa simultaneamente. Sendo assim, o tipo de céu claro e limpo, inicialmente considerado como mais favorável para este estudo, nem sempre ofereceu a condição mais adequada para o melhor desempenho dessas tecnologias. Essa condição parece ser favorável quando o sol está com altura elevada, durante os picos de iluminâncias diários. Em dia de céu claro e limpo, a maior parte dos raios se propaga na mesma direção, o que restringe seu acesso nos dutos. Quanto menor a altura solar, menor o ângulo de acesso do raio de luz no duto e maior a quantidade de reflexões que atingem a outra extremidade do duto. Isso implica grande perda de capacidade luminosa. A luz difusa é refletida em diversas direções, o que pareceu favorecer a coleta da luz natural.

Nesse contexto, surgem algumas perguntas, tais como: à medida que a altura solar diminui, a presença de nuvens no céu favorece o desempenho da tecnologia? Dias de céu parcialmente encoberto poderiam ser mais adequados para o uso dessas tecnologias, ainda que disponibilizem menores iluminâncias? Diante disso, é levantada a hipótese de que um tipo de céu com altas iluminâncias e presença de luz difusa pode oferecer mais vantagens para a utilização das tecnologias aqui estudadas do que um dia de céu claro e limpo (com presença apenas de luz direta). Sendo assim, destaca-se a importância de aprofundar os estudos de dutos de luz na cidade de Porto Alegre, onde predomina a condição de céu parcialmente encoberto, pois essa circunstância pode ser favorável e não uma limitação, como suposto anteriormente. Aliás, esse pode ser o motivo pelo qual esse tipo de tecnologia é tão difundido nos países europeus em que a incidência de dias encobertos é maior que no Brasil.

Cabe lembrar que a classificação do tipo de céu adotada neste trabalho refere-se àquela recomendada pela NBR 15215 (ABNT, 2005). Entretanto, segundo o CIE ISO 15469 (2003), cada um dos três tipos de céu ainda pode ser subdividido em mais cinco categorias, que se diferenciam pelos seguintes aspectos: homogeneidade, variação gradual de brilho e intensidade de brilho. Essa classificação é mais próxima da realidade, pois considera a diferença de iluminâncias para o mesmo tipo de céu e proporciona análise mais detalhada do contexto. Sendo assim, para a continuidade deste estudo, recomenda-se a utilização dessa classificação a fim de estabelecer uma investigação mais profunda acerca do comportamento do heliostato e dos dutos de luz. Isso também explica a grande diferença de captação de luz natural entre diferentes dias de céu encoberto, por exemplo, conforme relatado anteriormente (na análise da 7ª e 6ª semanas do experimento, tabelas 14 e 17).

Em alguns períodos, foram encontrados focos de água condensada no interior dos dutos, indicando alta umidade no ambiente. Esse assunto não foi levantado em nenhum dos referenciais teóricos utilizados e deve ser considerado, principalmente em países tropicais e em áreas com alta umidade relativa do ar, como Porto Alegre. A transpiração dos vegetais também pode implicar aumento da umidade do ambiente, e esse fator deve ser considerado em experimentos desse tipo.

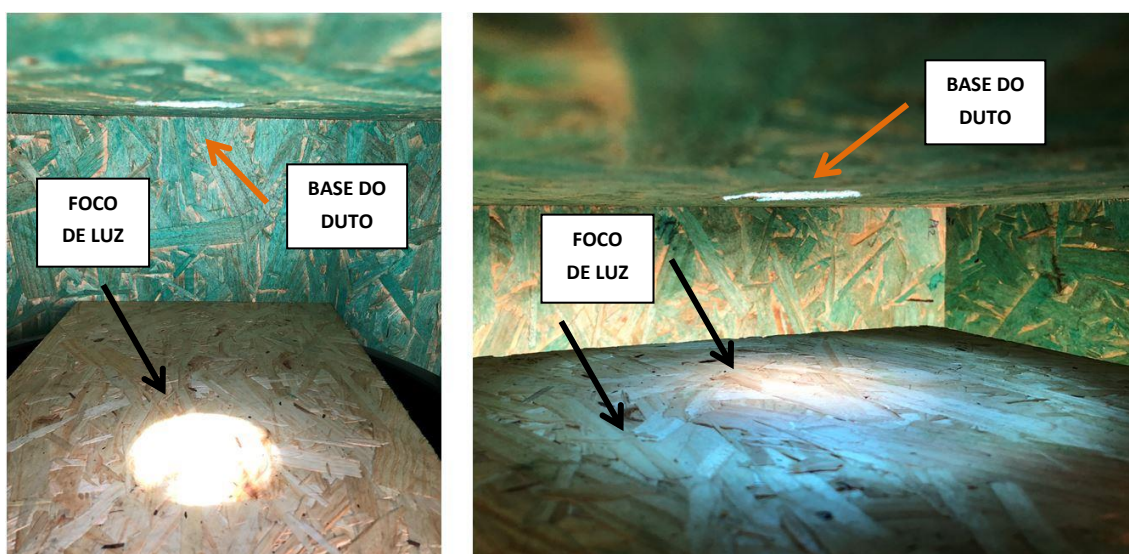
No mês de setembro, as iluminâncias aumentaram bastante em alguns dias de céu claro e atingiram 1.044 lux. Um dos fatores que pode ter influenciado nesses resultados é a ocorrência de ventos, pois isso pode tirar os dutos do prumo, deixando-os inclinados para uma direção que favoreça a captação de luz. A conferência de prumada foi feita apenas no dia de início do experimento, já que não era esperado que a estrutura fosse movimentar-se. Entretanto, os resultados apontam que a ortogonalidade dos dutos

deve ser conferida e reajustada com mais frequência para diminuir a interferência dessa variável nos dados obtidos.

A utilização de modelos em escala reduzida é mais acessível e torna mais ágil o processo. Entretanto, é preciso escolher escala adequada para possibilitar a limpeza interna dos dutos, quando o teste demandar longos períodos. Em escala reduzida, os pequenos erros de fabricação podem interferir de maneira mais intensa, quando confrontados com o mesmo processo em escala real. Por exemplo, 1 mm a mais de cola no modelo pode representar um erro de 2 cm na escala real, o qual seria facilmente identificado e corrigido. No entanto, a correção desses erros é mais difícil quando se trata de maquetes, e isso deve ser considerado.

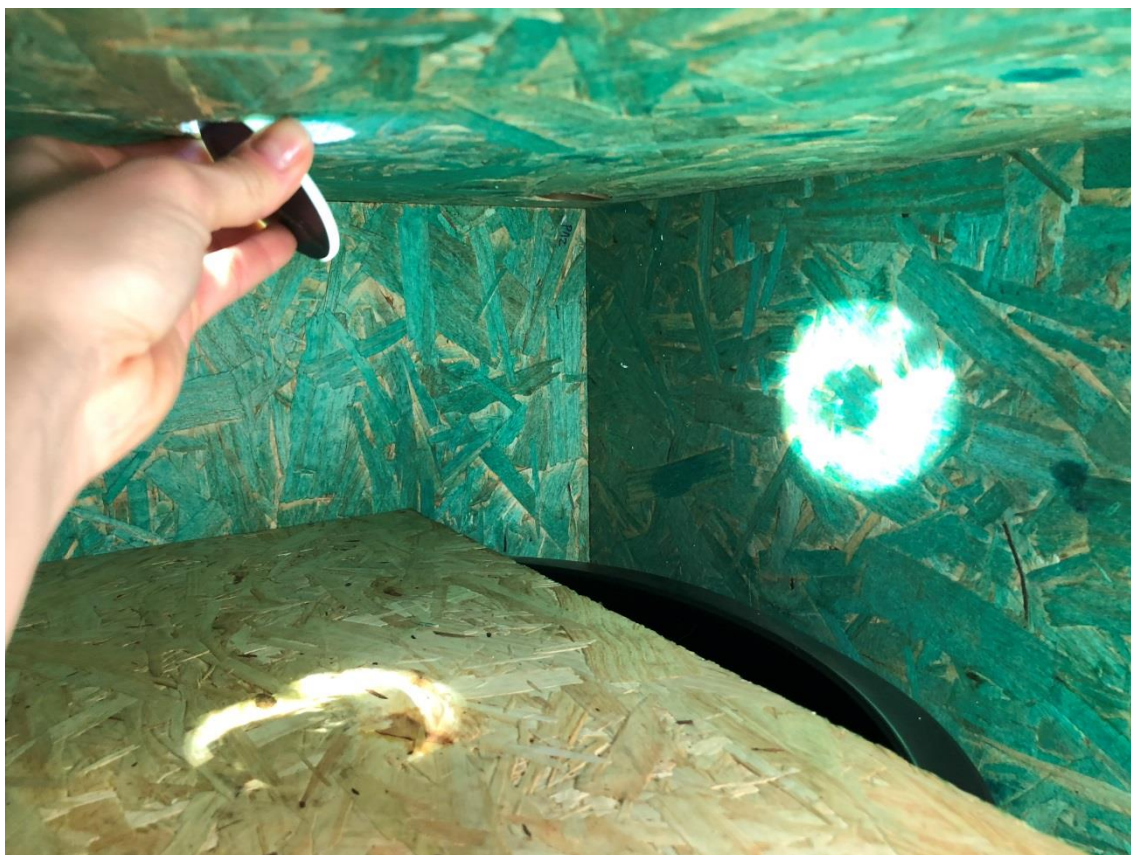
Quanto ao heliostato utilizado, verificou-se que, embora a parte superior do duto tenha sido totalmente iluminada pelos raios solares redirecionados, parte dessa luz foi refletida para fora. Isso indicou a possibilidade de utilização de espelho com dimensões menores, que diminui o custo e o peso do conjunto. Também é importante lembrar que não foi possível programá-lo para retornar automaticamente para a posição Norte. Portanto, ressalta-se a necessidade de investigação mais profunda acerca do funcionamento e formato desse dispositivo com o intuito de enfrentar essas limitações, simplificando e tornando mais eficiente o conjunto. Também é importante frisar que a luz refletida por esse dispositivo é focada e se localiza logo abaixo do duto (figura 107), e estratégias para a sua distribuição no ambiente, como espelhos refletores, também são uma alternativa a ser explorada, pois oferecem grande potencial conforme ilustra a figura 108.

Figura 107 – Ilustração do foco de luz direta (à esquerda) e indireta (à direita) refletidas pelo duto aliado ao uso de heliostato durante a montagem da 3ª fase do experimento (14/08/18).



Fonte: foto da autora.

Figura 108 – Imagem do espelho redirecionando a luz transmitida pelo duto: possibilidade para distribuição dos raios solares no interior do ambiente iluminado pelas tecnologias testadas.



Fonte: foto da autora.

Quanto aos materiais reflexivos, o Alumínio Vega 95 foi considerado o mais adequado dentre os estudados. Também foi encontrado outro material mais reflexivo que ele, o Alumínio Vega 98 (98% de refletividade), mas não foi possível conseguir amostras para utilização no experimento. O material escolhido era o mais eficiente, mas não se esperava, depois dos testes já realizados com os dutos de 1,50 m de altura (na 2ª fase), que ele seria capaz de conduzir as iluminâncias que os sensores de luz captaram, conforme descrito anteriormente. A luz natural transmitida pelos dutos, sem o auxílio do heliostato, variou entre 0 lux e 613 lux em dias de céu encoberto durante o mês de agosto. Esse valor é maior que o esperado, visto que os primeiros testes da fase 2 (com o alumínio comum) apresentaram resultado nulo e apontaram, conseqüentemente, a necessidade de utilização de espelhos móveis em grande parte do tempo. Isso indica que é preciso maior investigação sobre os materiais mais eficientes para o aumento do desempenho do conjunto testado e verificação da viabilidade de uso desse material sem a obrigatoriedade de um heliostato, diminuindo, assim, os custos do projeto e de manutenção.

Quanto à porcentagem de luz transportada pelos dutos, calculada na primeira e segunda fases do experimento, observou-se, em diversas situações, que essa taxa aumentou à medida que o sol se aproximou do horizonte, como foi relatado anteriormente nas tabelas 7 e 10. Nesses momentos, os dutos estavam expostos à luz difusa. Isso vai ao encontro das questões levantadas anteriormente e também deve ser investigado em estudos futuros.

Quanto ao Fator de Luz Diurna (FLD), o referencial estudado recomenda o uso de outro sensor externo que faça a medição da quantidade de luz na sombra. Entretanto, não foi possível obter equipamentos para essa função. Ressalta-se que o objetivo deste estudo foi verificar a capacidade de os dutos, aliados ao uso de heliostato, em conduzir a luz natural para espaços muito afastados da superfície e, nesses casos, analisar se essa tecnologia aumenta sua eficiência quando está captando a luz solar direta, sendo esse o principal ator nesse contexto. O heliostato diminuiu consideravelmente sua eficiência quando precisa redirecionar a luz difusa, principalmente nos casos em que a iluminância precisa percorrer grandes distâncias. Sendo assim, a utilização de um sensor sob a luz direta do sol foi considerada essencial para medir a eficiência dos sistemas testados.

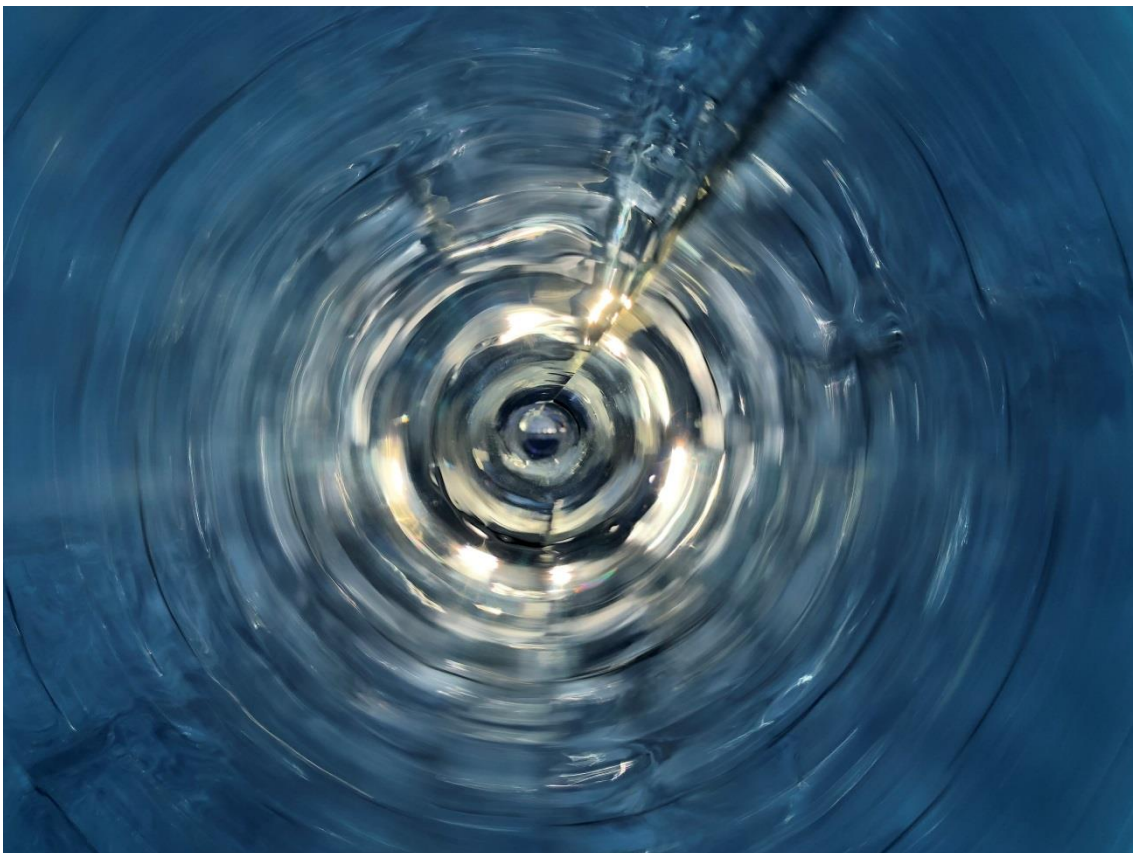
Quanto à localização dos sensores nos momentos de coleta de dados, é importante lembrar que, na primeira e segunda fases deste experimento, esses equipamentos foram posicionados na base dos dutos. Essa situação indicou panorama mais satisfatório, quando comparado com testes em que os sensores estavam afastados do núcleo iluminado. Na fase 3 do experimento, os equipamentos de medição de luz estavam a 0,25 m de distância da extremidade inferior do duto, e as iluminâncias captadas diminuíram significativamente, fator que deve ser considerado em estudos futuros.

Quanto ao funcionamento dos sensores de luz utilizados (HOBO UA-002-64), cabe ressaltar ainda que esses equipamentos medem entre 0-300.000 lux e que sua precisão fica entre 60 e 80%. Isso aponta certa limitação desses *loggers* para medir iluminâncias (BYSTRONSKI, COSTA-NETO, MARTAU, 2017). Entretanto, esses foram os equipamentos disponibilizados pela universidade. Na primeira fase do experimento, foi verificado que os maiores resultados alternavam-se entre o alumínio polido e a película reflexiva para vidros, conforme relatado anteriormente. Constatou-se que isso ocorreu quando as iluminâncias externas variaram entre 1.980,6 lux e 49.600,3 lux (das 17h30 até as 20h00), sugerindo que os sensores apresentam essa instabilidade dentro dessa faixa de iluminâncias. O restante dos dados coletados seguiu o mesmo padrão, com o alumínio polido apresentando melhor desempenho. Isso pode ter ocorrido devido a interferências externas no momento da medição. Também é possível que os sensores

não tenham capacidade de diferenciar com precisão resultados aproximados, apontando uma limitação dos equipamentos utilizados. Diante disso, recomenda-se a utilização de equipamentos mais precisos em estudos futuros com o objetivo de definir parâmetros de projeto para a utilização dessas tecnologias com exatidão.

As questões acima citadas dão suporte para a continuidade e o aperfeiçoamento do estudo acerca do comportamento – antes desconhecido - dessas tecnologias na cidade de Porto Alegre. Os dutos de luz, revestidos com o alumínio Vega 95 (figura 109), apresentaram potencial para iluminação de subsolos durante determinados períodos do dia - até mesmo quando expostos à luz difusa -, e isso deve ser explorado, visto que indica a grande viabilidade da sua utilização. A necessidade de levar essa fonte de luz para os ambientes subterrâneos, em prol da saúde dos seus usuários, é comprovada, e essa pesquisa vai ao encontro dos urgentes esforços para conectar homem e natureza nesse contexto. Além disso, o emprego dessas tecnologias também impulsiona o desenvolvimento sustentável das cidades ao possibilitar a criação de áreas verdes e a diminuição de gasto energético com luz elétrica nas edificações.

Figura 109 – Imagem da área interna do duto revestido com alumínio Vega 95, ilustrando o brilho e a refletividade do material.



Fonte: foto da autora.

Esse estudo pode ser usado como parâmetro em relação às iluminâncias coletadas nos diversos testes realizados com dutos de variadas alturas, ao comportamento do heliostato fabricado, aos materiais testados, às espécies de plantas utilizadas, ao sistema de ventilação e irrigação adotados para o cuidado da vegetação, e ao método e aos procedimentos empregados (figura 110). Este trabalho é uma base com valores numéricos aplicados ao contexto local, os quais indicam um ponto de partida para o estabelecimento de novas pesquisas acerca desse tema.

Figura 110 – Ilustrações dos principais elementos desta pesquisa, coletadas na 3ª fase do experimento: sistema de iluminação natural constituído do heliostato fixado no topo do duto (à esquerda), e as espécies vegetais, representada pelo aspargo nesta imagem (à direita).



Fonte: foto da autora.

Capítulo 7 | CONCLUSÕES

Diante da busca para manter a qualidade de vida dos grandes centros urbanos mundiais, que atingem seu limite de crescimento na superfície, o uso dos espaços subterrâneos é apontado como alternativa para a continuidade do desenvolvimento eficiente das cidades. A ocupação dessas áreas é crescente no panorama mundial, nacional e local. Entretanto, a falta de atenção em relação à percepção e às necessidades fisiológicas humanas ainda é uma limitação apontada nos projetos desses ambientes.

A presença de luz natural e de vegetação nos subsolos é indicada como alternativa ideal para enfrentar essa dificuldade, e a utilização de dutos de luz pode viabilizar a aplicação dessa estratégia, visto que são capazes de conduzir a luz por longas distâncias. Para sobreviver, as plantas necessitam receber iluminância mínima durante determinadas horas diariamente (fotoperíodo). O objetivo deste trabalho foi verificar a capacidade dos dutos de luz, aliado ao uso de heliostato, em auxiliar no desenvolvimento de vegetação em áreas afastadas da superfície.

Ficou claro que as tecnologias testadas não fornecem integralmente o fotoperíodo requerido diariamente para o crescimento de espécies vegetais nesse contexto. Contudo, este estudo indicou a possibilidade dos dutos de luz auxiliarem no desenvolvimento de vegetação durante parte do dia. Para complementar o fotoperíodo necessário, uma hipótese seria testar essas tecnologias em conjunto com fontes de luz elétricas, específicas para o crescimento de plantas (bastante difundidas mundialmente).

Durante o período analisado, os dutos de luz também indicaram sua capacidade para iluminar tarefas básicas em ambientes afastados da superfície, por alguns períodos durante o dia, sem o uso de heliostato. O uso desse dispositivo móvel possibilita o aumento das iluminâncias coletadas e o tempo de disponibilidade dessas, mas pode ser dispensado, dependendo da quantidade de luz e do fotoperíodos requeridos.

Quanto ao tipo de céu predominante em Porto Alegre, parcialmente nublado, verificou-se que essa característica não é condição limitante para o uso dos dutos de luz estudados - como levantado no início desse trabalho. O experimento realizado sugere haver indícios que a presença de nuvens, e luz difusa, pode inclusive aumentar a eficiência dessas tecnologias quando não estão acompanhados de heliostato, e isso deve ser investigado.

Considerando ainda o contexto local, esta pesquisa acrescentou a umidade do ambiente como fator que também deve ser considerado ao se projetar essas tecnologias. O emprego de sistemas híbridos, em que o duto, além de conduzir luz natural e acionar lâmpadas elétricas quando preciso, também tem o papel de ventilação dos ambientes, pode ser uma alternativa para enfrentar as questões acima levantadas.

Frente à crescente necessidade de estudos a respeito dessa tecnologia no Brasil, este trabalho contribuiu ao indicar que essas tecnologias também podem oferecer potencial para iluminação natural em áreas subterrâneas. Nesse contexto, este trabalho ainda representou um ponto de partida para as pesquisas acerca do tema na cidade de Porto Alegre, e enriqueceu a discussão à medida que também trouxe contribuições para a iluminação em ambientes localizados próximos ao coletor de luz natural.

A utilização de dutos de luz nas edificações vai ao encontro da atual busca por cidades mais sustentáveis e ambientes mais saudáveis, à medida que traz a luz natural para iluminar os ambientes, e estimula a existência de áreas verdes. Além disso, a utilização dessas tecnologias também pode minimizar o consumo de energia nestas áreas e corrobora os esforços para a diminuição do gasto energético com iluminação elétrica. As iluminâncias e fotoperíodos registrados neste estudo indicaram que o sistema utilizado apresenta potencial para persistir nesse caminho. Mas é preciso avançar neste estudo a fim de enfrentar os desafios levantados.

A utilização de dutos de luz ainda implica grande investimento em pesquisa, fabricação e manutenção. E quanto maior a complexidade, maior o custo. Como visto, a adição de heliostato aumenta significativamente a eficiência desses sistemas, principalmente quando é preciso conduzir grande quantidade de luz a longas distâncias. Porém, exige maior custo e manutenção frequente, decorrente de sistemas móveis e devido à exposição às intempéries.

Quando esse dispositivo recebe luz solar direta, as iluminâncias atingidas são bastante altas e podem causar ofuscamento, danos à saúde humana e até mesmo risco de incêndio, devido à concentração dos raios solares. Mas sem esse auxílio, os dutos de luz diminuem as iluminâncias transportadas e isso deve ser considerado.

Portanto, a fim de aumentar a quantidade de luz coletada e o fotoperíodo, diminuir o custo do sistema e evitar os riscos que implica o uso de heliostato (através da reflexão direta do raio solar), sugere-se investigar ainda o comportamento de dispositivos estáticos nesse contexto. Lentes, painéis cortados a laser e prismas são alguns exemplos que podem ser aplicados, e que são capazes de aumentar a captação de luz natural.

Há ainda diversas medidas que também podem ser testadas para o aumento da eficiência do duto de luz estudado, tais como: utilização de material mais reflexivo, leve inclinação do duto para o norte, ajuste da forma do heliostato (para não redirecionar raios de luz para fora dos dutos). Também pode ser realizado ajuste da forma do duto, como por exemplo aumento do diâmetro ou chanfro no topo do cilindro, conforme indicado no referencial teórico. O ofuscamento e a variação do brilho podem ser controlados com lentes difusoras e sistema de abertura móvel que diminui a abertura quando as iluminâncias estão excessivas. Para distribuir a luz trazida pelos dutos ainda pode ser utilizado sistema de espelhos ou painéis refletores, como na Low line (em Nova Iorque), além de forro reflexivo.

A validação de softwares para simulação do comportamento dos dutos de luz deve ser explorada no contexto local a fim de tornar o processo mais eficiente. Essa ferramenta pode viabilizar análise mais precisa do desempenho dessas tecnologias nas diversas situações de céu, e possibilita que as melhorias sejam testadas mais rapidamente.

O comportamento das espécies vegetais deve ser investigado com maior profundidade durante as quatro estações, e a utilização de novas espécies é um caminho que também deve ser explorado. Plantas com fotoperíodo menor podem ser alternativas para este estudo. As espécies de cogumelos que surgiram na última semana do experimento indicam a possibilidade de cultivo dessas espécies e isso também pode ser explorado futuramente. A realização de nova sequência do experimento, com os dutos de luz aliados ao uso de lâmpadas elétricas, é um caminho a ser testado para verificar seu potencial no desenvolvimento saudável de vegetação em espaços subterrâneos em Porto Alegre.

Quanto ao método e aos procedimentos utilizados nesta pesquisa, sugere-se ainda aprofundar o estudo acerca da automatização e precisão do movimento do heliostato, bem como a sua resistência às intempéries; realizar modelos de escala reduzida mais estáveis (resistência ao vento) e precisos (aumentar a escala pode ser uma alternativa); investigar estratégias que possam ser eficientes sem necessitar auxílio de heliostato; e realizar os testes preliminares localizando os sensores de luz a uma distância do foco de luz igual àquela que será utilizada no projeto.

Também é indicada investigação mais profunda acerca do desempenho do heliostato em dias de céu encoberto com iluminâncias externas inferiores àquelas em que foi testado neste estudo, a fim de verificar seu comportamento nas situações de baixas quantidades de luz. Para a continuação desse estudo, recomenda-se ainda a utilização de classificação de céu mais precisa, como a sugerida pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE ISO 15469, 2003), a fim de estabelecer análise mais profunda acerca

da relação entre as condições de céu e o comportamento dos dutos de luz e do heliostato.

Ressalta-se ainda a necessidade de aprofundar este estudo a fim de verificar se o desempenho dos dutos de luz e do heliostato é satisfatório ao longo de todo ano. Do mesmo modo, é destacada a importância de utilização de equipamentos mais precisos para a medição das iluminâncias, a fim de estabelecer valores e parâmetros para o projeto dessas tecnologias em Porto Alegre. Esta pesquisa aponta um caminho que deve ser explorado, a fim de se obter resultados mais concretos que possibilitem estabelecer diretrizes para a aplicação desses sistemas neste contexto.

Por fim, as descobertas deste estudo apontam novos caminhos de pesquisa e redirecionam os olhares quanto à utilização de dutos de luz no contexto local, na medida em que trazem dados concretos sobre o seu comportamento, antes desconhecido. As evidências preliminares indicam que se deve persistir na investigação acerca dos dutos de luz, já que eles podem auxiliar na criação de ambientes mais dinâmicos e saudáveis, na diminuição do gasto energético com luz elétrica e na criação de ambientes urbanos sustentáveis, visto que possibilitam a qualificação dos ambientes em subsolos.

Este trabalho é um ponto de partida na travessia para a utilização eficiente dessas tecnologias no contexto da cidade de Porto Alegre. Os resultados, as surpresas e as limitações encontrados apontam, simultaneamente, o potencial de pesquisas nesta área e as novas estratégias que devem ser exploradas a fim de encontrar os parâmetros de projeto adequados para a sua aplicação em cada contexto. É clara a urgência na busca de estratégias que conectem os usuários dos ambientes subterrâneos aos elementos da natureza. A luz natural e a presença de vegetação são comprovadamente capazes de atingir esses objetivos, e os dutos de luz podem viabilizar a utilização dessas estratégias.

Reforça-se ainda que a utilização dessa fonte de luz e a criação de mais espaços com vegetação são ações que vão ao encontro dos esforços mundiais para a recuperação de um planeta que clama pela sua vida e que vivencia a escassez dos seus recursos naturais, além de nos oferecer diariamente a luz solar, fonte inesgotável de geração de energia e de saúde para os seres vivos.

REFERÊNCIAS

ACUITY BRANDS. **Acuity Brands: LED lighting, controls and daylighting leader**. 2016. Disponível em: <http://www.acuitybrands.com>. Acessado em: 20 out.2016.

ALMECO GROUP. Almeco Group Company. 2017. Disponível em: <http://www.almecogroup.com/en>. Acesso em: 28 abr.2017.

AKHADOV, Z. Z. *et al.* A system with a tracking concentrating heliostat for lighting underground spaces with beams of sunlight. **Applied Solar Energy**, v. 50, n. 2, p. 122-124, apr. 2014.

ARCHDAILY. Clássicos da Arquitetura: Edifício Seagram/ Mies van der Rohe. **Archdaily**: 14 nov.2012. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/br/01-80364/classicos-da-arquitetura-edificio-seagram-mies-van-der-rohe>. Acesso em: 30abr.2016.

ARCHDAILY, b. Fundadores do High Line recebem Prêmio Vincent Scully. **Archdaily**: 18 set.2013. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/br/01-140834/fundadores-do-high-line-recebem-premio-vincent-scully>. Acesso em: 1 nov.2016.

ARCHDAILY, c. House of Vans London/ Tim Greatrex. **Archdaily**: 12 jan.2015. Disponível em: <http://www.archdaily.com/585818/house-of-vans-london-tim-greatrex>. Acesso: 20 set.2016.

ARCHDAILY, d. Sistema modular de muros verdes gera eletricidade a partir de musgos. **Archdaily**: 10 jun.2016. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/br/788971/sistema-modular-de-muros-verdes-gera-eletricidade-a-partir-do-musgo>. Acesso em: 30 abr.2016.

ARCHITIZER. Riverpark Farm. **Architizer**. Disponível em: <http://architizer.com/projects/riverpark-farm/>. Acesso em: 1 nov.2016.

ARNHOLD, Audrey Luz Nassif. As passagens subterrâneas de pedestres em Brasília: iluminação e percepção. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS: 2018.

ARRIGONE, Maria Giovanni; MUTTI, Cristine do Nascimento. Aproveitamento da Luz Natural através da Aplicação de Tubos de Luz em Alumínio. In: **II Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí**, Itajaí, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15215-3**: Iluminação natural. Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15215-4**: Iluminação natural. Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR/ ISSO 8995-1:** Iluminação em ambiente de trabalho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BACKES, R. **Naturalux-Solatube-Ginásio Vila Militar-Rio de Janeiro** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por rene_backes@hotmail.com em 8 set.2009.

BAKER, H. Geoffrey. **Le Corbusier:** uma Análise da Forma. Tradução: Alvamar Helena Lamparelli. SP: Martins Fontes, 1998.

BAUVAL, Robert; BROPHY, Thomas. **Imhotep the African:** Architect of the Cosmos. Red Wheel Weiser, 2013, cap. 1.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Cidade.** SP: Perspectiva, São Paulo, 2009.

BESNER, Jacques. The sustainable usage of the underground space in metropolitan area. In: **Proceedings of the 9th International Conference of ACUUS**, Torino. 2002.

BEUTE, Femke; KORT, Yvonne AW. Salutogenic effects of the environment: Review of health protective effects of nature and daylight. **Applied Psychology: Health and Well-Being**, v. 6, n. 1, p. 67-95, 2014.

BLOOMING ROCK. Blooming rock: your personal guide to architecture in pohoenix. What's so great about Solatube? **Bloomingrock:** 24.fev.2010. Disponível em: <http://bloomingrock.com/2010/02/24/whats-so-great-about-a-solatube/>. Acesso em: 27 out.2016.

BOBYLEV, Nikolai. Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use. **Land Use Policy**, v. 26, n. 4, p. 1128-1137, 2009.

BODART, Magali; DENEYER, Arnaud. A Guide for the Building of Daylight Scale Models. In: **The 23ª Conference on Passive and Low Energy Arcgitecture**, Geneva, Suíça, 2006.

BOMIN SOLAR. 2016. Disponível em: <http://www.bomsolar.com>. Acesso em: 20 fev.2016.

BONFIGLIOLI, Gustavo. A hora das cidades compactas. **O Estado de São Paulo**, 04 jun. 2011. Disponível em: <https://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,a-hora-das-cidades-compactas,728060>. Acesso em: 5 jun.2016.

BORGES, Claudia. Conheça 10 das florestas mais sinistras do mundo. **Mega curioso:** 11 nov.2014. Disponível em: <http://www.megacurioso.com.br/misterios/51324-conheca-10-das-florestas-mais-sinistras-do-mundo.htm> - acessado em 15.set.2016.

BORUSAN YATIRIM. 2018. Disponível em: <http://www.borusanyatirim.com>. Acesso em: 19 mar.2018.

BOUBEKRI, Mohamed. **Daylighting design:** planning strategies and best practice solutions. Basel: Birkhäuser, 2014.

BOYCE, Peter; HUNTER, Claudia; HOWLETT, Owen. The Benefits of Daylight through Windows. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. **Capturing the Daylight Dividend Program.** Troy, NY, EUA: p. 8-31, 2003.

BRAINARD, G. C. *et al.* Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. **The Journal of Neuroscience**, v. 21, n. 16, p. 6405-6412, 2001.

BRASIL NOTÍCIA. A vida pulsa nos subterrâneos de Brasília. **Brasil notícia**: 10 jun.2014. Disponível em: <http://brasilnoticia.com.br/cidades/a-vida-pulsa-nos-subterraneos-de-brasilia/13007>. Acesso em: 20 ago.2016.

BRENDLER, Guilherme. Escura e estreita, passagem de pedestre vira ‘toca do medo’ em São Paulo. **Folha de São Paulo**: São Paulo, 20 fev.2016. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/02/1741391-escura-e-estreita-passagem-de-pedestre-vira-toca-do-medo-em-sp.shtml>. Acesso em: 20 ago.2016.

BRIGHTEN YOUR HOME. **Hybrid solar fiber optic lighting system**. 2016. Disponível em: <http://www.brightenyourhome.net/Hybrid-Solar-Lighting.html>. Acesso em: 12 fev.2016.

BRINGSLIMARK, Tina; HARTIG, Terry; PATIL, Grete Grindal. Psychological benefits of indoor plants in workplaces: Putting experimental results into context. **HortScience**, v. 42, n. 3, p. 581-587, 2007.

BROWN, G. Z.; DEKAY, Mark. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. p. 79, 226-228.

BYSTRONSKI, Yasmin de A.; COSTA-NETO, Waldo; MARTAU, Betina T. Experimental Study of Light Pipe and Heliostat for Conducting Sunlight to Underground Spaces in Porto Alegre. In: **Passive and Low Energy Architecture 2017 Conference – Design to Thrive: Foundations for a Better Future**, Edinburgh, Scotland, vol II, pp. 3183-3190.

BYSTRONSKI, Yasmin de A.; MARTAU, B. T. Estudo experimental do comportamento de dutos de luz aliado ao uso de heliostato para iluminação de edificações subterrâneas em Porto Alegre. In: **Encontro Latino-americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, São Leopoldo, Brasil, pp. 1145-1156.

BYSTRONSKI, Yasmin de A.; MARTAU, Betina T.; COSTA-NETO, Waldo. Use of Light Pipe and Electronic Heliostat for Lighting of Underground Areas in Porto Alegre. In: **ASES National Solar Conference 2017 Proceedings**, Denver, EUA, pp. 25-31

CALLOW, Joel Morrison. **Daylighting using tubular light guide systems**. 2003. Thesis (Doctor of Philosophy) – University of Nottingham, 2003, p. 87-89.

CAMPOS, Gisleine Coelho de *et al.* O “invisível” espaço subterrâneo urbano. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 2, p. 147-157, abr./jun. 2006. Disponível em: http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v20n02/v20n02_11.pdf. Acesso em: 10 maio 2016.

CARBÚS, Ricardo. Validação do Programa Troplux. **Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, p. 250-259, 2005.

CARPENTER LOWINGS. Solar Light Pipe. **Carpenter Lowings Architecture & Design**, 2014. Disponível em: http://carpenterlowings.com/portfolio_page/solar-light-pipe/. Acesso em: 13 fev. 2016.

CARPENTER, James; NORRIS, Davidson. Columna luminosa en Washington. **Detail Revista de Arquitectura y Detalles Constructivos**, Ano 2004, 5, p. 541-543, nov./dez, 2004.

CARPENTER NORRIS. Solar Light Pipe 1998-01. **Carpenter Norris Consulting Inc.**, 2018. Disponível em: <http://carpenternorris.com>. Acesso em: 10 mar. 2018.

CENTRE DE COMMERCE MONDIAL MONTRÉAL. 2016. Disponível em: <http://www.centredecommercemondial.com/en/>. Acesso em: 17 jun. 2016.

CICLO VIVO. Edifício em SP cria horta subterrânea para aproveitar resíduos orgânicos. **CicloVivo**, 7 jun. 2016. Disponível em: <http://ciclovivo.com.br/noticia/sao-paulo-ganha-sua-primeira-horta-subterranea>. Acesso em: 20 set. 2016.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE (CIE). **Spatial distribution of daylight – cie standard general sky**. ISO 15469:2004(E)/CIE S 011/E:2003. Viena: CIE, 2003.

COMITÊ BRASILEIRO DE TÚNEIS (CBT). 2016. Disponível em: <http://www.tuneis.com.br/index.php>. Acesso em: 30 mar. 2016.

COMUNELLO, Patrícia. Conta de luz da CEEE vai subir 8,3% para consumidores residenciais. **Jornal do Comércio**: Porto Alegre, 13 nov.2018. Disponível em: http://jornaldocomercio.com/_conteudo/economia/2018/11/656783-conta-de-luz-da-ceee-vai-subir-8-3-para-consumidores-residenciais.html - acessado em 03.jun.19.

COLUSSI, Joana. Agricultura ganha espaços em centros urbanos no Rio Grande do Sul. **Zero Hora**: Porto Alegre, 23 fev.2016. Disponível em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/campo-e-lavoura/noticia/2016/02/agricultura-ganha-espaco-em-centros-urbanos-no-rio-grande-do-sul-4980949.html>. Acesso em: 25 ago.2016.

CORBIOLI, Nanci. Bernardes arquitetura: salão de beleza C. Kamura, Rio de Janeiro. Percurso convidativo. **Projeto Design**, v. 410, maio 2014. Disponível em: <https://arcoweb.com.br/projetodesign/interiores/bernardes-arquitetura-salao-beleza-ckamura-rio-janeiro>. Acesso em: 20 out. 2016.

DE VECCHI, Antonio et al. **Daylight-transfer systems**: physiological and energetic advantages. In: XXXII IAHS World Congress on Housing Theme: Sustainability of the Housing Projects, 32., Trento Italy, 21-25 sep. 2004. p. 56-62.

DELMASTRO, Chiara; LAVAGNO, Evasio; SCHRANZ, Laura. Underground urbanism: Master Plans and Sectorial Plans. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 55, p. 103-111, 2016.

DETAIL INSPIRATION. Detail Online. **Solar Light Pipe in Whashington, D. C.** 2016. Disponível em: <http://www.detail-online.com/inspiration/solar-light-pipe-in-washington-dc-103869.html>. Acesso em: 10 fev. 2016.

DIJKSTRA, Karin.; PIETERSE, Marcel; PRUYN, Ad. Stress-reducing effects of indoor plants in the built healthcare environment: The mediating role of perceived attractiveness. **Preventive medicine**, v. 47, n. 3, p. 279-283, 2008.

D-LITE. **Database of light interacting Technologies for envelopes** - UFO System. Disponível em: http://d-lite.org/page/ufo_system_p133.php. Acesso em: 13 fev.2016.

DOSTOIÉVSKI, Fiódor. **Memórias de Subsolo**. Trad. Boris Schmaiderman. Cidade, Estado: Editora 34, p. 50-54, 2001.

DUFFAUT, Pierre. Underground City-Planning: A French born concept for sustainable cities of tomorrow. In: **International symposium on Utilization of underground space in urban areas**, Sham-Sheikh, Egypt. 2006. p. 6-7.

DURMISEVIC, Sanja. The Future of the Underground Space. Delft University of Technology, Faculty of Architecture, Department of Computer Science. Netherlands: 1999.

DURMISEVIC, Sanja. Perception aspects in underground spaces using intelligent knowledge modeling. **TU Delft**, Delft University of Technology, 2002.

DURMISEVIC, Sanja; SARIYILDIZ, Sevil. A Systematic Quality Assessment of Uderground Spaces – public transport stations. **TU Delft**, Delft University of Tecnology, Faculty of Architecture, Department of Computer Science. Netherlands: 2001.

ECO, Humberto. **Como se Faz uma Tese**. Trad. Gilson Cesar Cardoso de Souza. SP: Perspectiva, 2014, 25 ed. Coleção Estudos 85.

ECO DESENVOLVIMENTO. **Faça você mesmo: sistema de gotejamento com garrafa PET**. 2011. Disponível em: <http://www.ecodesenvolvimento.org/voceecod/faca-voce-mesmo-sistema-de-gotejamento-com-garrafa>. Acesso em: 10 out.2016.

ESPÍ, Mariano V. Una brevísima historia de la arquitectura solar. **Boletín CF+ S**, n. 9, 1999, p. 2-6.

FANTINELLI, Jane T. A iluminação natural através de dutos de sol em ambientes enclausurados. In: **Anais: ENCAC-ELCAC 2005**. pp 659-668. Maceió, 5 a 7 de outubro de 2005.

FAZIO, Michael; MOFFETT, Marian; WODEHOUSE, Lawrence. **A História da arquitetura mundial**. AMGH Editora, 2011, p.40-45.

FIBER OPTIC ASSOCIATION (FOA). Fiber Optic Lighting. 2016. Disponível em: <http://thefoa.org/tech/lighting/lighting.html>. Acesso em: 10 jul. 2016.

FRAMPTON, Kenneth. **História Crítica da Arquitetura Moderna**. SP: Martins Fontes, 2008.

FRANZ, Eliane; MARTAU, Betina Tschiedel. Percepção de conforto ambiental em espaços subterrâneos. In: **XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. São Paulo, 2016, paper 116.

FUKSA, Antonín. Light and the biological clock. **Cosmetic Dentistry**, no. 1, p. 28–30. 2010. Disponível em: http://www.nasli.net/pdf/light_and_the_biological_clock_2010.pdf. Acesso em: 20 jul.2016.

GARCIA, Gabriel. Brasil enfrenta a pior crise energética da história. **Jornal O Globo**, 21 jan. 2015. Disponível em <http://noblat.oglobo.globo.com/geral/noticia/2015/01/brasil-enfrenta-pior-crise-energetica-da-historia.html>. Acesso em: 11 nov. 2016.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. SP: Atlas, 2002, 4 ed.

GLADSTONE INSTITUTES. **The Gladstone Institutes – Science Overcoming Disease**. 2016. Disponível em: <https://gladstone.org/>. Acesso em: 02 nov. 2016.

GRAHN, Patrick. Green structures - The importance for health of nature areas and parks. In: **European Conference of Ministers responsible for Regional Planning (CEMAT)**, in collaboration with the Swedish Ministry for Physical Planning. Örnsköldsvik, Suíça: Council of Europe, p. 89-112, 1994.

GRAHN, Patrick; STIGSDOTTER, Ulrica A. Landscape Planning and Stress. In: **Urban Forestry & Urban Green**. 2. ? : 2003.

GRAHN, Patrick; STIGSDOTTER, Ulrica A. What Makes a Garden a Healing Garden? In: **American Horticultural Therapy Association**. ? : p. 60-69, 2002.

GRINDE, Bjørn; PATIL, Grete Grindal. Biophilia: does visual contact with nature impact on health and well-being?. **International journal of environmental research and public health**, v. 6, n. 9, p. 2332-2343, 2009.

GROENEWEGEN, P. P. *et al.* Vitamin G: effects of green space on health, well-being, and social safety. **BMC public health**, v. 6, n. 1, p. 1, 2006.

GROW PLANT. **Carolina Soil**. 2019. Disponível em: <http://www.growplant.com.br/carolina-soil.html>. Acesso em: 17 abr. 2019.

HAN, H. J. *et al.* Fiber optic solar lighting: Functional competitiveness and potential. **Solar Energy**, v. 94, p. 86-101, 2013.

HANNIBAL, J. *et al.* The photopigment melanopsin is exclusively present in pituitary adenylate cyclase-activating polypeptide-containing retinal ganglion cells of the retinohypothalamic tract. **The Journal of neuroscience**, v. 22, n. 1, p. RC191, 2002.

HANSEN, Veronica Garcia. Innovative daylighting systems for deep-plan commercial buildings. PhD thesis, Queensland University of Technology, 2006, p. 1-19; 2-17 a 2-18; 2-54 a 2-58.

HANSEN, Veronica Garcia; EDMONDS, Ian. Natural Illumination of Deep-plan Office Buildings: Light Pipe Strategies. In: **ISES Solar World Congress**, Göteborg, Suécia, 2003.

HANSEN, Veronica Garcia; EDMONDS, Ian; BELL, John. Improving daylighting performance of mirrored light pipes. 2009.

HANSEN, Veronica Garcia; EDMONDS, Ian. Methods for the illumination of multilevel buildings with vertical light pipes. **Solar Energy**, v. 117, p. 74-88, 2015.

HARB, Francine; HIDALGO, Maria Paz; MARTAU, Betina. Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms. **Chronobiology international**, v. 32, n. 3, p. 368-375, 2015.

HASAN, Nagham Ali. Lighting design in architecture “daylight”. **University of Palestine**, 2009. Disponível em: <http://slideplayer.com/slide/4365092>. Acesso em: 12 fev. 2016.

HELIOBUS. **Heliobus – The daylight company**. 2016. Disponível em: <http://www.heliobus.com/>. Acesso em: 12 fev. 2016.

HELIOBUS. **Light pipe Schollhouse St. Gallen, Schweiz**. 2016b. Disponível em: <http://www.heliobus.com/en/light-engineering/light-pipe/st.gallen.html>. Acesso em: 12 fev. 2016.

HELIOBUS. **Light pipe at Potsdamer Platz, Berlin**. 2016c. Disponível em: <http://www.heliobus.com/en/light-engineering/light-pipe/berlin.html>. Acesso em: 12 fev. 2016.

HELIOBUS. **Light pipe in Istanbul Turkey**. 2016d. Disponível em: <http://www.heliobus.com/en/light-engineering/light-pipe/istanbul.html>. Acesso em: 12 fev. 2016.

HOBDAY, Richard. **The Light Revolution**. Health, Architecture and the Sun. Scotland, UK: Findhorn Press, 2006.

HOE-ARCHITECTS. **Berlin – regional railroad station Potsdamer Platz (in collaboration with Hilmer & Sattler, Modersohn-Freiesleben)**. 2018. Disponível em: <http://www.hoe-architects.com>. Acesso em: 31 mar. 2018.

HOLIGILM. **Hollow Light Guide Interior iLlumination Method**. 2016. Disponível em: <http://www.holigilm.info/>. Acesso em: 6 set.2016.

INHABITAT. **Sunportal uses pipes to deliver daylighting anywhere within a building**. 2012. Disponível em: <http://inhabitat.com/sunportal-uses-pipes-to-deliver-daylighting-anywhere-within-a-building/sunportal-daylighting-natural-daylight-solar-light-pipes-building-schematic/>. Acesso em: 13 fev.2016.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Crise no setor energético: como entramos e como sair**. São Paulo: Unicamp, 28 maio 2014. Disponível em: http://www.acendebrasil.com.br/media/eventos/20140528_Crise_-_como_entramos_e_como_sair_rev2.pdf. Acesso em: 11 nov. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 25 jun. 2016.

ITA WORKING GROUP. **Report on underground solutions for urban problems**. Netherlands: Longrine, 2012. (ITA Report, n° 11).

JACOB RIIS. **Wikipedia Commons**. 2016. Disponível em: http://hu.m.wikipedia.org/wiki/Jacob_Riis. Acesso em: 15 jun. 2016.

KALIAMPAKOS, D.; BENARDOS, Andreas.; MAVRIKOS, A. A review on the economics of underground space utilization. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 55, p. 236-244, 2016.

KÄMPF, Atelene. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2a edição. Guaíba: Agrolivros, 2005.

KIM, Gon; KIM, Jeong Tai. Visual environment within the already-built underground development in South Korea. **Indoor and Built Environment**, v. 19, n. 1, p. 184-191, 2010.

KISHII, Takayuki. Utilization of underground space in Japan. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 55, p. 320-323, 2016.

KITTLER, Richard; KOCIFAJ, Miroslav; DARULA, Stanislav. **Daylight science and daylighting technology**. Springer Science & Business Media, 2011.

KREZZINGER, Arno. Contribución al Diseño de Sistemas Fotovoltaicos con Paneles Bifaciales en Combinación con Reflectores Difusos de Caracter General. Tese de Doutorado, Universidad Politécnica de Madrid - Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Madrid, Espanha, 1987.

KURTH, Gaby (Coord.). **Think deep**: planning, development and use of underground space in cities. Netherlands: Isocarp, 2015.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2a edição. São Paulo: ProLivros, 2013.

LECHNER, Norbert. **Heating, cooling, lighting**: Sustainable design methods for architects. John Wiley & Sons, 2014, p 399-410, 437-441, 445-449.

LIGHTEFX. EFX Lighting Fibre Optics. 2016. Disponível em: <http://www.lightefx.com.au/sunportal-cs>. Acessado em: 12 fev.2016.

LUZ, Bruna. Condução da Luz Natural por Sistemas não Convencionais. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. SP: P. 35-51, 2009.

MACÊDO, Catharina Cavalcante. Análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

MARKUS, Daniel. Iluminação natural por tubos pode gerar economia de até 100%. **AECweb Revista Digital**, 2018. Disponível em: http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/iluminacao-natural-por-tubos-pode-gerar-economia-de-ate-100-_6485_10_0. Acesso em: 25 abr. 2018.

MARQUEZ, Leonardo. Vídeo: Low Line New York – O Plano para um Parque Subterrâneo. Archdaily.br - **ArchDaily Brasil**. 2012. Disponível em:

<http://www.archdaily.com.br/45176/video-low-line-new-york-o-plano-para-um-parque-subterraneo>. Acesso em: 20 jun.2015.

MARTAU, Betina Tschiedel. A luz além da visão. **Lume Arquitetura**, São Paulo, ed. 38, Artigo, p. 62-68, 2009.

MAYHOUB, Mohammed S.; CARTER, David. Hybrid Lighting Systems: A feasibility Study for Europe. In: **Proceeding of the 11th Lux Europa**, p. 265-272, 2009.

MCASLAN, John. Project - Cooper Box. **The Building Centre**, 2018. Disponível em: <https://www.buildingcentre.co.uk/project/copper-box>. Acesso em: 10 abr. 2018.

MCKEE, Bradford. Landscape architecture magazine. **The magazine of the american society of landscape architects**. Vol. 106. Agosto, 2016, No 8. EUA: ASLA, 2016, p. 14.

MELBOURNE CITY. **Natural lighting opportunities**. North Sydney: Advanced Environmental Concepts, 2003. Disponível em: <https://www.melbourne.vic.gov.au/SiteCollectionDocuments/ch2-natural-lighting-opportunities.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2016.

MILLET; Marietta S. **Light Revealing Architecture**. New York, NY, EUA: VNR, p. 160-165, 1996.

NAYAR, Jean. Totally Tubular – At this D. C. law office, they’ve got sunshine on a cloudy day. **Architectural Lighting Magazine**, January/ February, 2003. EUA: VNU Business Media, 2003.

NELSON, Priscilla P. A framework for the future of urban underground engineering. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 55, p. 32-39, 2016.

NEUMANN, Dietrich (Ed.). **The structure of light: Richard Kelly and the illumination of modern architecture**. Yale University Press, 2010.

NISHI, J.; TANAKA, T.; SEIKI, T.; ITO, H.; OKUYAMA, K.. Estimation of the value of the internal and external environment in underground space use. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 15, n. 1, p. 79-89, 2000.

ONSET. Onset HOBO and In Temp Monitoring Solutions. 2016. Disponível em: <http://www.onsetcomp.com>. Acesso em: 21 maio.2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **ONU: mais de 70% da população mundial viverá em cidades até 2050**. 2013. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-mais-de-70-da-populacao-mundial-vivera-em-cidades-ate-2050/>. Acesso em: 10 mar.2016.

PACHECO, Sérgio. **O direito subterrâneo urbano: diretrizes para um marco jurídico do controle sustentável do uso do subsolo**. 2015.

PAMPLONA, Nicola. Governo analisa usar térmicas mais caras para enfrentar crise energética. **Folha de São Paulo**: São Paulo: 30 out.2017. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2017/10/1931451-governo-analisa-usar-termicas-mais-caras-para-enfrentar-crise-energetica.shtml>. Acesso em: 13 jan.2018.

PARK, Seong-Hyun; MATTSON, Richard H. Therapeutic influences of plants in hospital rooms on surgical recovery. **HortScience**, v. 44, n. 1, p. 102-105, 2009.

PILZ, Luísa Klaus. Sobre o seu tempo interno e o que são cronotipos. **Seu corpo seu tempo**. 16 set.2014. Disponível em: <https://seucorposeutempo.wordpress.com/tag/luz-artificial-2/>. Acesso em: 20 out.2016.

PRESTES, S. D. **Contato Portal** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por solismar.prestes@inmet.gov.br em 31 ago.2016.

PROFESSIONAL PLASTICS. 2016. Disponível em: <http://www.professionalplastics.com/>. Acesso em: 5 set.2016.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. **Uma Porto Alegre ainda mais moderna está chegando.** E ela vem de metrô. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/poametro/internas/Projeto/projeto.html>. Acesso em: 4 abr.2016.

QUINTANA, M. Aumento de 30% na conta de luz da CEEE já está em vigor. **Jornal do Comércio**, 21 dez. 2017. Disponível em: https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/2017/12/economia/603085-diario-oficial-publica-aumento-nas-tarifas-de-energia-da-ceee.html. Acesso em: 13 jan. 18.

RAANAAS, Ruth K. *et al.* Benefits of indoor plants on attention capacity in an office setting. **Journal of Environmental Psychology**, v. 31, n. 1, p. 99-105, 2011.

REDE SARAH DE HOSPITAIS DE REABILITAÇÃO. 2016. Disponível em: <http://www.sarah.br>. Acesso em: 25 set. 2016.

RIVERPARK FARM. 2016. Disponível em: <http://www.riverparkfarm.com>. Acesso em: 28 out.2016.

RODRIGUES, Daniela Diniz. Urbanismo subterrâneo: argumentos éticos para o uso e a ocupação do solo. 2009. x, 197 f., il. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009; p. 1-9, 146-169.

RÖNKA, Kimmo; RITOLA, Jouko; RAUHALA, Kari. Underground space in land-use planning. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 13, n. 1, p. 39-49, 1998.

ROOS, Scott. Circadian lighting: the time is now. **Juno Lighting Group**. 9 fev.2015. Disponível em: http://www.junolightinggroup.com/Whats_New/New_Products/Circadian_Correct_Lighting_The_Time_is_Now?alttemplate=newsArticle1. Acesso em: 20 jul.2016.

ROSEMANN, Alexander; KAASE, H. **Lightpipe applications for daylighting systems**. Solar Energy, v. 78, n. 6, p. 772-780, jun. 2005.

ROSEMANN, Alexander; KAASE, H. Combined daylight systems for lightpipe applications. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 1, n. 1, p. 10-21, jan. 2006.

RUSSEL, Sage. **The Architecture of Light**. La Jolla, CA, EUA: Conceptnine, 2008, p. 109-119.

SANCHEZ, Hugo A.; GOMES, Alaric. **A makeover in the nick of time** – The home of handball has been renamed the Copper Box while the venue will also host modern pentathlon's fencing. Gulf News, Dubai, 25 Jul.2012. Disponível em: <https://visual.ly/community/infographic/olympics/london-2012-olympic-venues-part-5-copper-box>. Acesso em: 12 ago. 2016.

SANCHEZ, Sabrina E.; KAY, Steve A. The plant circadian clock: from a simple timekeeper to a complex developmental manager. **Cold Spring Harbor perspectives in biology** 8, no. 12 (2016): a027748.

SIGMA SENSORS. 2016. Disponível em: <http://www.sigmasensors.com.br>. Acesso em: 21 mai. 2016.

SILVA, Andrigo Demétrio. Avaliação Teórica e Experimental do Desempenho de Dutos de Luz, na cidade de São Carlos – SP. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, 2005.

SIMON, Gilberto. Prefeitura estuda estacionamento subterrâneo no Largo Glênio Peres. **Porto Imagem**. Porto Alegre. 30 out.2010. Disponível em: <https://portoimagem.wordpress.com/2010/10/30/prefeitura-estuda-estacionamento-subterraneo-no-glenio-peres/>. Acesso em: 15 dez.2017.

SIMON, Gilberto. Estacionamento subterrâneo do Ramiro Souto tramita na Prefeitura. **Porto Imagem Blog**, Porto Alegre, 06 jun.2011, b. Disponível em: <https://portoimagem.wordpress.com/2011/06/06/estacionamento-subterraneo-do-ramiro-souto-tramita-na-prefeitura/>. Acesso em: 15 dez. 2017.

SIMON, Gilberto. Prefeitura lança edital para estacionamentos subterrâneos. **Porto Imagem Blog**. Porto Alegre, 16 ago.2011, c. Disponível em: <https://portoimagem.wordpress.com/2011/08/16/prefeitura-lanca-edital-para-estacionamentos-subterraneos/>. Acesso em: 15 dez.2017.

SITECO. **Siteco Beleuchtungstechnik**. Disponível em: <http://www.siteco.com/en/products.html> - acessado em: 13.fev.2016.

SOLARTRAN. Light channeling panel – Solartran. Disponível em: http://www.solartran.com.au/channel_panel.htm. Acesso em: 12 fev.2016.

SOLATUBE. Solatube Internacional Inc. Disponível em: <http://www.solatube.com/>. Acesso em: 5 set.2016

SOLATUBE, b. Solatube Internacional Inc. Disponível em: <http://www.solatube.com/residential/daylighting/technology#accessories>. Acesso em: 5 out.2016

SOTO, Francisco Javier Ibarra. Avaliação do Desempenho Luminoso de Duto de Luz: Estudo da Implementação em Ambientes. Padrões de Habitações Populares em Três Latitudes. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço

Habitado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010, p. 12-16; 62-63.

STERNER, Carl. Como a análise da luz natural está mudando o modo como projetamos. **ArchDaily Brasil**, 31 maio 2015. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/767478/levando-a-luz-solar-para-um-proximo-nivel-como-a-analise-da-luz-do-sol-esta-mudando-a-forma-de-projetar>. Acesso em: 18. Jul. 2016.

SUGIMOTO, Luiz. Crise no setor energético: como entramos e como sair. **UNICAMP**, 28 maio 2014. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2014/05/28/crise-no-setor-energetico-como-entramos-e-como-sair>. Acesso em: 11 nov. 2016.

SUN CENTRAL. 2016. Disponível em: <http://www.suncentralinc.com/>. Acesso em: 19 fev. 2016

SUSDESIGN. 2016. Sustainable by design. 2016 Disponível em: <http://susdesign.com/tools.php>. Acesso em: 10 dez.2016.

TAENGCHUM, Thanyalak *et al.* Tracing of daylight through circular light pipes with anidolic concentrators. **Solar Energy**, v. 110, p. 818-829, 2014.

TAKANO, Bruno Fernandes. Biologia subterrânea. **Grupo Pierre Martin de Espeleologia**, 2016. Disponível em: <http://www.gpme.org.br/si/biologia-subterranea/>. Acesso em: 30 set. 2016.

THE LOW LINE. 2016. Disponível em: <http://www.thelowline.org/>. Acesso em: 20 mai. 2016.

THE SUN PORTAL. 2016. Disponível em: <http://www.thesunportal.com/>. Acesso em: 14 fev. 2016.

TOLEDO, G. Beatriz. Integração de Iluminação Natural e Artificial: Métodos e Guia Prático para Projeto Luminotécnico. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília: 2008, p. 9-14.

TOLEDO, Gandhi Escajadillo. Parâmetro de design para configuração de dutos de luz Solar. Dissertação (Mestrado em Design). Setor de Artes, Comunicação e Design, Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2013.

TOURISME MONTRÉAL. 2016. Disponível em: <http://www.tourisme-montreal.org>. Acesso em: 17 jun. 2016.

TRAMONTINA, Mariana; TERRON, Paulo. **Subterrâneos** – debaixo de São Paulo. Disponível em: <http://tab.uol.com.br/subterraneos>. Acesso em: 20 out.2016.

TROPLUX. **Troplux**, versão 6.014beta. Maceió: Grillu. 2012.

TROPLUX. **Troplux** – Guia do usuário. Maceió: Grillu. 2011.

TSUNETSUGU, Y. *et al.* Physiological and psychological effects of viewing urban forest landscapes assessed by multiple measurements. **Landscape and Urban Planning**, v. 113, p. 90-93, 2013.

UNITED NATIONS (UN). **World population prospects: the 2017 revision**. New York: UN, 2017. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>. Acesso em: 09 maio 2019.

UNITED NATIONS (UN). **2018 Revision of world urbanization prospects**. New York: UN, 2018. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. Acesso em: 09 maio 2019.

VARGAS, Bruna. Promessa de Nelson Marchezan, estacionamento subterrâneo ainda é incógnita em Porto Alegre. **Gaúcha Zero Hora**. Porto Alegre, 11 jan.2017. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2017/01/promessa-de-nelson-marchezan-estacionamento-subterraneo-ainda-e-incognita-em-porto-alegre-9279547.html>. Acesso em: 15 dez.2017.

WILSON, M. *et al.* Sunlight, fibres and liquid optics: the UFO project. **Low Energy Architecture Research Unit (LEARN)**, London Metropolitan University, p. 1-6, 2002.

WOLCH, Jennifer R.; BYRNE, Jason; NEWELL, Joshua P. **Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'**. In: *Landscape and Urban Planning*, v. 125, p. 234-244, 2014.

WHO. World Health Organization. **Obesity and overweight**. fev.2018. Disponível em: <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Acesso em: 03 jun.2019.

YANG, Calvin. Singapore Looks Below for more Room. **New York Times**: New York, 25 set.2013. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2013/09/26/business/international/crowded-singapore-looks-below-for-room-to-grow.html>. Acesso em: 20 set.2016.

ZHANG, Xiaodong. Daylighting performance of tubular solar light pipes: measurement, modelling and validation. Tese de Doutorado. Edinburgh Napier University, 2002, p. iv, 20, 26.

APÊNDICE

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												OBS:
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 (V3) Controle		Sensores Externos						
						Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Sob Luz direta (S8)	Na Sombra					
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	
					6h	0	14,517	0	13,75	0	14,9	0	14,613	0	10,357	0	10,944	
					6h15	0	14,421	0	13,75	0	14,804	0	14,613	0	10,161	0	10,651	
					6h30	0	14,421	0	13,654	0	14,709	0	14,517	0	9,866	0	10,357	
					6h45	0	14,325	0	13,558	0	14,709	0	14,421	667,4	9,965	344,4	10,553	
					7h	0	14,23	0	13,558	0	14,613	0	14,421	1,184,00	10,553	592	10,944	
					7h15	0	14,23	0	13,461	0	14,613	0	14,325	2,238,90	11,236	396,11	12,11	
					7h30	0	14,23	0	13,461	0	14,517	0	14,325	3,100,00	11,919	551,11	13,076	
					7h45	10,8	14,23	0	13,461	10,8	14,517	0	14,325	3,444,50	12,304	654,45	13,654	
					8h	204,5	14,23	21,5	13,558	10,8	14,517	0	14,325	4,994,50	13,076	964,45	14,804	
					8h15	1,130,20	14,421	11,84	13,654	10,8	14,613	0	14,421	4,650,00	13,942	172,223	18,331	
					8h30	4,133,40	14,517	4,321	14,325	21,5	13,75	32,3	14,613	0	14,517	7,233,40	14,517	
					8h45	4,822,30	14,804	6,997	14,517	43,1	13,846	21,5	14,613	0	14,613	7,577,80	15,282	
					9h	2,152,80	15,473	1,463,90	14,996	53,8	14,23	53,8	14,9	0	14,9	9,644,50	17,76	
					9h15	4,408,20	16,237	527,4	15,473	32,3	14,613	43,1	15,187	0	15,187	7,577,80	18,806	
					9h30	6,889,30	17,57	3,983	15,855	21,5	15,091	43,1	15,569	0	15,664	7,233,40	19,948	
					9h45	6,889,30	17,57	3,983	15,855	21,5	15,091	43,1	15,569	0	15,664	7,233,40	19,948	
					10h	9,644,50	19,472	4,198	16,422	32,3	15,664	53,8	15,951	0	16,141	8,266,70	20,71	
					10h15	63,378,20	21,378	344,4	16,999	21,5	16,237	75,3	16,332	0	16,523	9,300,10	21,187	
					10h30	33,066,90	22,142	322,9	17,57	21,5	16,903	75,3	16,808	0	16,999	9,300,10	21,951	
					10h45	4,305,60	23,292	322,9	18,14	21,5	17,475	86,1	17,189	0	17,955	11,711,20	23,581	
					11h	4,822,30	23,484	301,4	18,616	21,5	17,95	118,4	17,665	0	18,331	11,022,30	24,062	
					11h15	17,635,670	24,158	226	19,092	32,3	18,521	96,9	18,14	0	18,331	11,022,30	24,062	
					11h30	3,444,50	24,448	258,3	19,662	32,3	18,996	150,7	18,616	0	18,906	14,466,80	24,738	
					11h45	24,800,20	26	258,3	20,138	32,3	19,567	96,9	19,187	10,8	19,377	14,466,80	25,416	
					12h	71,644,90	25,222	269,1	20,519	43,1	20,043	161,5	19,662	10,8	19,948	19,977,90	26,195	
					12h15	19,977,90	23,966	301,4	20,901	32,3	20,519	129,2	20,043	10,8	20,329	15,844,50	26,488	
					12h30	38,578,00	25,319	204,5	21,378	43,1	20,901	107,6	20,519	10,8	20,805	13,777,90	27,173	
					12h45	35,822,50	26,977	258,3	21,951	43,1	21,569	107,6	20,996	10,8	21,282	14,466,80	27,665	
					13h	5,166,70	26,195	419,8	22,621	43,1	22,046	398,3	21,473	10,8	21,76	21,355,70	27,567	
					13h15	17,911,20	26,292	432,1	23,196	32,3	22,535	107,6	21,855	10,8	22,142	12,400,10	27,468	
					13h30	12,400,10	26,292	559,7	23,966	32,3	23,004	118,4	22,238	0	22,525	12,400,10	27,567	
					13h45	4,822,30	26,488	61,35	24,255	21,5	23,484	96,9	22,621	0	23,004	11,711,20	28,258	
					14h	18,600,10	26,781	398,3	24,255	21,5	23,581	96,9	23,004	0	23,292	11,022,30	25,222	
					14h15	23,422,40	26,683	398,3	24,158	32,3	23,196	96,9	23,004	0	23,292	12,400,10	23,484	
					14h30	16,533,40	28,06	366	23,484	21,5	22,621	118,4	22,908	0	23,1	15,844,50	22,621	
					14h45	68,889,30	28,258	409	23,1	32,3	22,142	161,5	22,717	0	22,912	16,533,40	22,717	
					15h	1,465,90	26	236,8	22,621	0	21,76	322,9	22,621	0	22,621	34,444,70	22,621	
					15h15	172,2	22,812	43,1	22,046	0	21,282	139,9	22,333	0	22,333	15,155,70	21,76	
					15h30	893,4	21,855	13,99	21,569	0	20,901	279,9	22,046	0	21,951	2,893,50	22,908	
					15h45	322,9	21,473	96,9	21,378	0	20,615	183	21,76	0	21,664	18,600,10	21,473	
					16h	75,3	21,091	21,5	21,091	0	20,424	43,1	21,473	0	21,378	4,994,50	19,092	
					16h15	64,6	20,805	10,8	20,805	0	20,138	32,3	21,091	0	21,091	4,650,00	18,236	
					16h30	86,1	20,519	21,5	20,519	0	19,853	43,1	20,805	0	20,805	5,166,70	17,855	
					16h45	53,8	19,948	10,8	20,043	0	19,282	32,3	20,234	0	20,234	4,305,60	17,475	
					17h	32,3	19,758	0	19,758	0	18,996	21,5	20,043	0	19,948	2,927,80	16,808	
					17h15	10,8	19,282	0	19,282	0	18,806	10,8	19,567	0	19,662	2,411,10	16,141	
					17h45	0	18,996	0	19,092	0	18,236	0	19,187	0	19,187	0	17,665	
					18h	0	18,806	0	18,806	0	18,045	0	18,996	0	18,996	0	14,996	
					18h15	0	18,616	0	18,616	0	17,855	0	18,901	0	18,711	0	14,709	
					18h30	0	18,426	0	18,426	0	17,665	0	18,711	0	18,521	0	14,709	
					18h45	0	18,236	0	18,236	0	17,475	0	18,521	0	18,426	0	14,613	
					19h	0	18,045	0	18,045	0	17,282	0	18,236	0	18,236	0	14,613	
					Média diária	1,4815,881	20,549,49	227,66415	18,80202	15,63962	18,07166	72,91698	18,56204	1,426415	18,58711	8723,48113	19,4638491	71072,996
																		24,82317

P

Semana 1
Teste
Ploto (TP)

19/abio

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Previsão Umidade relativa do ar*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												Sensores Externos		OBS:		
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato			Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato			Vaso 3 (V3) Controle			Sob Luz direta (S8)		Na Sombra					
						Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		Ilum (lux)	Temp. (°C)
					6h	0	13,75	0	13,942	0	12,98	0	14,038	0	13,654	0	17,475	0	9,373			
					6h15	0	13,654	0	13,846	0	12,883	0	13,942	0	13,654	0	17,475	0	9,275			
					6h30	0	13,654	0	13,846	0	12,787	0	13,846	0	13,558	0	17,475	0	9,275			
					6h45	0	13,558	0	13,75	0	12,69	0	13,75	0	13,461	0	17,379	0	9,077			
					7h	0	13,461	0	13,654	0	12,594	0	13,654	0	13,365	0	17,284	43,1	9,077			
					7h15	0	13,365	0	13,558	0	12,594	0	13,654	0	13,269	0	17,189	935,1	9,077			
					7h30	0	13,365	0	13,558	0	12,497	0	13,558	0	13,269	0	17,189	935,1	9,077			
					7h45	0	13,269	0	13,461	0	12,497	0	13,461	0	13,173	0	17,094	935,5	9,077			
					8h	0	13,173	0	13,365	0	12,401	0	13,461	0	13,076	0	16,999	2,152,80	9,077			
					8h15	0	13,173	0	13,365	0	12,304	0	13,365	0	13,076	0	16,999	1,980,60	9,176			
					8h30	10,8	13,076	0	13,269	0	12,304	10,8	13,269	0	12,98	0	16,903	5,166,70	9,275			
					8h45	0	13,076	0	13,269	0	12,304	0	13,269	0	12,98	0	16,903	2,927,80	9,176			
					9h	0	12,98	0	13,173	0	12,207	10,8	13,173	0	12,883	0	16,808	3,788,90	9,275			
					9h15	0	12,98	0	13,173	0	12,207	0	13,173	0	12,883	0	16,713	3,616,70	9,472			
					9h30	21,5	12,883	0	13,076	0	12,11	21,5	13,076	0	12,787	0	16,713	8,611,20	9,571			
					9h45	0	12,883	0	13,076	0	12,11	10,8	13,076	0	12,787	0	16,618	4,133,40	9,472			
					10h	21,5	12,883	0	12,98	0	12,11	21,5	12,98	0	12,69	0	16,618	6,544,50	9,373			
					10h15	32,3	12,787	0	12,98	0	12,013	32,3	12,98	0	12,69	0	16,523	9,300,10	9,077			
					10h30	43,1	12,787	0	12,98	0	12,013	43,1	12,98	0	12,594	0	16,523	11,022,30	9,669			
					10h45	32,3	12,69	0	12,883	0	12,013	32,3	12,883	0	12,594	0	16,427	12,400,10	10,259			
					11h	53,8	12,69	0	12,883	0	12,013	53,8	12,883	0	12,594	0	16,427	13,089,00	10,748			
					11h15	21,5	12,69	0	12,883	0	11,916	21,5	12,883	0	12,594	0	16,332	12,400,10	10,161			
					11h30	43,1	12,69	0	12,883	0	12,013	43,1	12,883	0	12,594	0	16,332	12,400,10	10,161			
					11h45	43,1	12,69	0	12,883	0	12,013	43,1	12,883	0	12,594	0	16,237	14,466,80	10,651			
					12h	75,3	12,69	0	12,787	0	12,013	64,6	12,883	0	12,594	0	16,237	20,666,80	11,236			
					12h15	43,1	12,69	0	12,883	0	12,013	43,1	12,883	0	12,594	0	16,237	14,466,80	11,236			
					12h30	75,3	12,69	0	12,883	0	12,013	64,6	12,883	0	12,594	0	16,237	14,466,80	11,236			
					12h45	43,1	12,69	0	12,883	0	12,11	43,1	12,883	0	12,69	0	16,237	18,600,10	11,819			
					13h	43,1	12,69	0	12,883	0	12,11	43,1	12,883	0	12,69	0	16,237	12,400,10	11,041			
					13h15	64,6	12,69	0	12,883	0	12,11	53,8	12,883	0	12,69	0	16,237	14,466,80	10,748			
					13h30	43,1	12,787	0	12,883	0	12,11	43,1	12,883	0	12,69	0	16,141	9,644,50	10,748			
					13h45	21,5	12,787	0	12,883	0	12,11	21,5	12,98	0	12,69	0	16,046	6,200,00	10,455			
					14h	64,6	12,787	0	12,883	0	12,11	53,8	12,98	0	12,69	0	15,951	12,400,10	10,651			
					14h15	32,3	12,787	0	12,883	0	12,11	32,3	12,883	0	12,69	0	15,855	8,611,20	10,651			
					14h30	53,8	12,787	0	12,883	0	12,11	43,1	12,883	0	12,69	0	15,855	12,400,10	10,944			
					14h45	43,1	12,787	0	12,883	0	12,11	32,3	12,883	0	12,69	0	15,76	8,611,20	10,846			
					15h	32,3	12,787	0	12,883	0	12,11	21,5	12,883	0	12,69	0	15,76	6,200,00	10,259			
					15h15	21,5	12,69	0	12,883	0	12,11	21,5	12,883	0	12,69	0	15,664	7,233,40	10,455			
					15h30	10,8	12,69	0	12,883	0	12,11	10,8	12,883	0	12,69	0	15,664	4,822,30	10,357			
					15h45	21,5	12,69	0	12,883	0	12,11	10,8	12,883	0	12,69	0	15,569	5,166,70	10,161			
					16h	21,5	12,69	0	12,883	0	12,013	21,5	12,883	0	12,69	0	15,569	6,544,50	10,259			
					16h15	10,8	12,69	0	12,787	0	12,013	10,8	12,883	0	12,69	0	15,473	3,961,10	10,063			
					16h30	0	12,69	0	12,787	0	12,013	0	12,883	0	12,69	0	15,473	2,755,60	9,866			
					16h45	0	12,594	0	12,787	0	12,013	10,8	12,883	0	12,594	0	15,473	3,100,00	9,768			
					17h	10,8	12,594	0	12,69	0	11,916	0	12,787	0	12,594	0	15,378	3,272,20	9,768			
					17h15	0	12,594	0	12,69	0	11,916	0	12,787	0	12,594	0	15,378	1,894,50	9,571			
					17h30	0	12,497	0	12,594	0	11,819	0	12,69	0	12,497	0	15,282	1,377,80	9,571			
					17h45	0	12,497	0	12,594	0	11,819	0	12,69	0	12,497	0	15,282	775	9,472			
					18h	0	12,401	0	12,594	0	11,819	0	12,69	0	12,497	0	15,282	107,6	9,373			
					18h15	0	12,401	0	12,497	0	11,722	0	12,594	0	12,401	0	15,187	10,8	9,275			
					18h30	0	12,304	0	12,497	0	11,722	0	12,594	0	12,401	0	15,187	0	9,275			
					18h45	0	12,304	0	12,401	0	11,635	0	12,594	0	12,401	0	15,091	0	9,275			
					19h	0	12,304	0	12,401	0	11,625	0	12,497	0	12,304	0	15,091	0	9,373			
					Média diária	19,907/547	12,839/36	0	12,999/43	0	12,133/53	18,692/45	13,035/79	0	12,781/15	0	16,210/37/4	6,027/82/3	9,912/53			

E

Semana 1
Teste
Piloto (TP)

20/ago

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												OBS:
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 (V3) Controle		Sensores Externos						
		Zona 1 - central (S3)		Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)		Zona 4 - central (S5)		Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)		Zona 6 - central (S7)		Sob Luz direta (S8)		Na Sombra		
		Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	
					6h	0	11,236	0	11,334	0	10,651	0	10,944	0	10,944	0	8,68	
					6h15	0	11,236	0	11,334	0	10,651	0	10,944	0	10,944	0	8,68	
					6h30	0	11,236	0	11,334	0	10,651	0	10,944	0	10,944	0	8,81	
					6h45	0	11,236	0	11,334	0	10,651	0	10,944	0	10,944	0	8,82	
					7h	0	11,139	0	11,334	0	10,651	0	10,944	0	10,944	0	8,182	
					7h15	0	11,139	0	11,236	0	10,651	0	10,846	0	10,846	0	8,082	
					7h30	0	11,139	0	11,236	0	10,553	0	10,846	0	10,846	0	8,382	
					7h45	10,8	11,139	0	11,236	0	10,553	10,8	10,846	0	10,846	0	8,581	
					8h	21,5	11,139	0	11,236	0	10,553	21,5	10,846	0	10,846	0	9,571	
					8h15	21,5	11,139	0	11,236	0	10,553	21,5	10,846	0	10,846	0	9,571	
					8h30	183	11,139	0	11,236	0	10,553	43,1	10,944	0	10,846	0	14,134	
					8h45	43,1	11,139	0	11,236	0	10,651	53,8	11,041	0	10,846	0	10,846	
					9h	64,6	11,139	0	11,236	0	10,553	53,8	11,041	0	10,846	0	10,846	
					9h15	118,4	11,236	0	11,236	0	10,651	53,8	11,041	0	10,846	0	10,846	
					9h30	9,644,50	11,819	505,9	11,431	53,8	10,651	21,5	11,041	0	10,846	0	10,846	
					9h45	7,577,80	12,594	592	11,528	53,8	10,748	21,5	11,041	0	10,944	0	14,038	
					10h	5,338,90	12,69	613,5	11,722	53,8	10,846	32,3	11,139	0	10,944	0	14,038	
					10h15	1,806,30	13,365	107,6	11,819	0	11,041	21,5	11,334	0	11,236	0	13,942	
					10h30	6,200,00	14,23	818,1	12,11	53,8	11,334	32,3	11,431	0	14,038	0	14,038	
					10h45	99,200,70	15,473	355,2	12,497	43,1	11,722	43,1	11,722	0	14,038	0	14,038	
					11h	9,644,50	15,282	624,3	12,883	32,3	12,11	64,6	12,013	0	14,038	0	14,038	
					11h15	8,611,20	15,282	419,8	13,365	21,5	12,497	64,6	12,497	0	14,038	0	14,038	
					11h30	549	14,804	75,3	13,75	0	12,883	53,8	12,98	0	14,038	0	14,038	
					11h45	7,235,40	14,9	226	13,942	0	13,269	86,1	13,269	0	13,865	0	14,134	
					12h	1,097,90	14,996	161,5	14,23	0	13,558	150,7	13,75	0	14,134	0	14,134	
					12h15	247,6	14,996	43,1	14,517	0	13,942	129,2	14,038	0	14,134	0	14,134	
					12h30	475,6	14,709	75,3	14,613	0	14,134	204,5	14,23	0	14,325	0	14,23	
					12h45	505,9	14,709	75,3	14,613	0	14,134	236,8	14,325	0	14,325	0	14,23	
					13h	624,3	14,709	129,2	14,613	0	14,134	290,6	14,421	0	14,325	0	14,325	
					13h15	1,377,80	14,709	441,3	14,709	0	14,134	505,9	14,421	0	14,421	0	14,421	
					13h30	366	14,804	75,3	14,709	0	14,23	172,2	14,421	0	14,421	0	14,421	
					13h45	452,1	14,709	86,1	14,709	0	14,23	247,6	14,517	0	14,517	0	14,421	
					14h	236,8	14,709	43,1	14,709	0	14,23	129,2	14,421	0	14,421	0	14,421	
					14h15	409	14,709	75,3	14,613	0	14,134	269,1	14,421	0	14,421	0	14,421	
					14h30	387,5	14,613	86,1	14,613	0	14,134	236,8	14,421	0	14,325	0	14,325	
					14h45	376,7	14,613	75,3	14,613	0	14,038	226	14,325	0	14,325	0	14,325	
					15h	355,2	14,517	64,6	14,517	0	14,038	247,6	14,325	0	14,325	0	14,325	
					15h15	366	14,517	75,3	14,517	0	13,942	247,6	14,325	0	14,325	0	14,325	
					15h30	247,6	14,517	53,8	14,421	0	13,942	193,8	14,325	0	14,23	0	14,325	
					15h45	96,9	14,421	108	14,421	0	13,942	86,1	14,23	0	14,23	0	14,325	
					16h	75,3	14,325	108	14,325	0	13,846	129,2	14,23	0	14,23	0	14,325	
					16h15	43,1	14,325	108	14,325	0	13,75	139,9	14,134	0	14,134	0	14,325	
					16h30	21,5	14,23	0	14,23	0	13,75	64,6	14,134	0	14,134	0	14,421	
					16h45	0	14,134	0	14,134	0	13,654	32,3	14,038	0	14,038	0	14,421	
					17h	0	14,038	0	14,134	0	13,558	10,8	13,942	0	14,325	0	14,325	
					17h15	0	13,942	0	14,038	0	13,461	0	13,942	0	13,846	0	14,421	
					17h30	0	13,846	0	13,846	0	13,365	0	13,846	0	13,846	0	14,421	
					17h45	0	13,846	0	13,846	0	13,269	0	13,75	0	13,75	0	14,421	
					18h	0	13,75	0	13,75	0	13,173	0	13,654	0	13,654	0	14,421	
					18h15	0	13,654	0	13,654	0	13,076	0	13,558	0	13,558	0	14,421	
					18h30	0	13,558	0	13,654	0	12,98	0	13,461	0	13,461	0	14,421	
					18h45	0	13,461	0	13,558	0	12,98	0	13,461	0	13,461	0	14,421	
					19h	0	13,461	0	13,461	0	12,883	0	13,461	0	13,461	0	14,421	
					Média diária	3094,9434	13,44145	111,9	13,15149	5,888679	12,53336	87,73774	12,85977	0	12,80836	0	14,2475472	
																	15,64415	

E

Semana 1
Teste
Piloto (TP)

21/ago

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												OBS:	
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Zona 4 - central (S4)		Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S5)		Vaso 3 (V3) Controle		Sensores Externos			
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8)	Temp. (°C)		Na Sombra
					6h	0	12,787	0	12,883	0	12,304	0	12,883	0	16,046	0	12,594		
					6h15	0	12,787	0	12,883	0	12,304	0	12,883	0	16,046	0	12,594		
					6h30	0	12,787	0	12,883	0	12,304	0	12,883	0	16,046	0	12,594		
					6h45	0	12,883	0	12,883	0	12,304	0	12,883	0	16,046	21,5	12,497		
					7h	0	12,883	0	12,883	0	12,304	0	12,883	0	16,141	107,6	12,497		
					7h15	0	12,883	0	12,883	0	12,304	0	12,883	0	16,141	107,6	12,497		
					7h30	0	12,883	0	12,883	0	12,304	10,8	12,883	0	16,141	1.173,30	12,401		
					7h45	10,8	12,883	0	12,883	0	12,304	10,8	12,883	0	16,141	1.808,30	12,594		
					8h	21,5	12,883	10,8	12,883	0	12,304	32,3	12,883	0	16,046	7.233,40	12,69		
					8h15	86,1	12,883	10,8	12,883	0	12,401	53,8	12,883	0	15,951	6.200,00	12,69		
					8h30	75,3	12,883	10,8	12,98	0	12,401	43,1	12,98	0	15,855	4.822,30	12,787		
					8h45	107,6	12,883	21,5	12,98	0	12,401	64,6	12,98	0	15,855	6.544,50	13,076		
					9h15	118,4	12,883	21,5	12,98	0	12,401	64,6	12,98	0	15,76	7.233,40	13,173		
					9h30	86,1	12,98	21,5	12,98	0	12,401	53,8	12,98	0	15,76	6.544,50	13,173		
					9h45	161,5	12,98	32,3	12,98	0	12,401	107,6	13,076	0	15,664	11.711,20	13,461		
					10h	118,4	12,98	32,3	13,076	0	12,497	96,9	13,076	0	15,664	13.772,90	13,558		
					10h15	118,4	12,98	32,3	13,076	0	12,497	96,9	13,076	0	15,664	10.333,40	13,846		
					10h45	236,8	13,076	53,8	13,076	0	12,497	183	13,173	0	15,569	22.044,60	14,421		
					11h	193,8	13,173	43,1	13,173	0	12,594	150,7	13,173	0	15,569	15.155,70	14,421		
					11h15	193,8	13,173	43,1	13,269	0	12,69	139,9	13,269	0	15,569	19.289,00	14,9		
					11h30	247,6	13,269	64,6	13,269	0	12,787	183	13,269	0	15,569	22.044,60	14,9		
					11h45	279,9	13,365	75,3	13,365	0	12,883	204,5	13,365	0	15,569	22.044,60	14,9		
					12h	129,2	13,365	32,3	13,461	0	12,883	96,9	13,461	0	15,473	10.677,80	14,709		
					12h15	86,1	13,461	21,5	13,461	0	12,98	64,6	13,461	0	15,473	7.233,40	14,038		
					12h30	150,7	13,461	32,3	13,558	0	12,98	107,6	13,558	0	15,473	11.711,20	13,461		
					12h45	183	13,558	43,1	13,558	0	12,98	129,2	13,558	0	15,473	14.466,80	13,365		
					13h	236,8	13,558	53,8	13,558	0	12,98	172,2	13,558	0	15,473	18.600,10	13,558		
					13h15	355,2	13,558	96,9	13,558	0	12,98	269,1	13,558	0	15,473	27.555,70	14,325		
					13h30	215,3	13,558	64,6	13,558	0	13,076	139,9	13,558	0	15,473	17.222,30	13,942		
					13h45	204,5	13,558	53,8	13,558	0	13,076	139,9	13,558	0	15,473	19.289,00	14,325		
					14h	452,1	13,654	118,4	13,654	0	13,076	322,9	13,654	0	15,473	31.689,10	14,996		
					14h15	581,3	13,654	193,8	13,654	0	13,076	398,3	13,654	0	15,378	79.911,60	20,234		
					14h30	355,2	13,846	96,9	13,846	0	13,269	204,5	13,75	0	15,473	24.800,20	16,332		
					14h45	613,5	13,942	193,8	13,942	0	13,461	366	13,846	0	15,473	79.911,60	19,282		
					15h	322,9	14,134	96,9	14,134	0	13,654	204,5	14,038	0	15,378	22.044,60	17,094		
					15h15	301,4	14,23	86,1	14,23	0	13,846	183	14,134	0	15,378	20.666,80	15,76		
					15h30	236,8	14,325	64,6	14,325	0	13,846	139,9	14,23	0	15,378	17.222,30	14,996		
					15h45	172,2	14,421	53,8	14,421	0	13,846	107,6	14,325	0	15,378	14.466,80	15,187		
					16h	258,3	14,421	75,3	14,421	0	13,942	161,5	14,325	0	15,378	18.600,10	15,091		
					16h15	269,1	14,421	86,1	14,421	0	13,942	172,2	14,325	0	15,378	35.822,50	16,618		
					16h30	204,5	14,421	53,8	14,421	0	13,942	129,2	14,325	0	15,378	23.422,40	15,855		
					16h45	150,7	14,421	43,1	14,517	0	13,942	86,1	14,325	0	15,378	11.022,30	15,378		
					17h	86,1	14,421	21,5	14,517	0	13,942	53,8	14,421	0	15,378	6.200,00	14,9		
					17h15	43,1	14,421	0	14,421	0	13,942	21,5	14,325	0	15,378	3.444,50	14,421		
					17h30	21,5	14,421	0	14,421	0	13,942	10,8	14,325	0	15,282	2.497,20	14,325		
					17h45	10,8	14,421	0	14,421	0	13,942	0	14,325	0	15,282	1.291,70	13,942		
					18h	0	14,325	0	14,421	0	13,846	0	14,325	0	15,378	409	13,654		
					18h15	0	14,325	0	14,325	0	13,75	0	14,23	0	15,282	32,3	13,365		
					18h30	0	14,23	0	14,325	0	13,75	0	14,23	0	15,282	0	13,269		
					18h45	0	14,23	0	14,23	0	13,654	0	14,23	0	15,282	0	12,98		
					19h	0	14,134	0	14,23	0	13,654	0	14,134	0	15,282	0	12,883		
					Média diária	150,49434	13,54737	39,607547	13,57662	0	13,02815	101,3434	13,5514	0	15,6046981	13365,587	14,19668		

E

Semana 1
Teste
Piloto (TP)
22/ago

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												OBS:		
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 (V3) Controle		Sensores Externos								
						Zona 1 - central (S3) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 4 - central (S5) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 6 - central (S7) Ilum (lux) Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8) Ilum (lux) Temp. (°C)	Na Sombra Ilum (lux) Temp. (°C)							
					6h	0	12,11	0	12,207	0	11,431	0	11,722	0	16,141	0	8,282			
					6h15	0	12,013	0	12,111	0	11,334	0	11,916	0	16,141	0	8,282			
					6h30	0	11,916	0	12,111	0	11,334	0	11,916	0	16,141	0	8,282			
					6h45	0	11,916	0	12,013	0	11,236	0	11,819	0	16,141	333,7	8,481			
					7h	0	11,819	0	12,013	0	11,236	0	11,819	0	16,141	1.175,30	8,082			
					7h15	0	11,819	0	11,916	0	11,139	0	11,528	0	15,951	1.808,30	8,182			
					7h30	0	11,722	0	11,916	0	11,041	0	11,625	0	15,855	4.305,60	8,382			
					7h45	0	11,722	0	11,819	0	11,041	0	11,625	0	15,76	4.650,00	8,978			
					8h	2.669,50	11,722	31,22	11,819	21,5	11,041	0	11,625	0	15,664	5.166,70	9,866			
					8h15	861,1	11,916	41,98	11,916	32,3	11,041	0	11,334	0	15,569	31.689,10	1,76			
					8h30	602,8	11,916	32,29	11,916	0	11,139	0	11,334	0	15,569	17.222,30	18,236			
					8h45	1.151,70	12,013	75,35	12,013	21,5	11,139	21,5	11,528	0	15,569	44.089,20	20,234			
					9h	3.961,10	12,401	322,9	12,013	10,8	11,236	21,5	11,625	0	15,569	44.089,20	20,424			
					9h15	3.100,00	12,594	538,2	12,11	32,3	11,334	53,8	11,722	0	15,473	60.622,60	20,424			
					9h30	4.822,30	13,558	592	12,304	43,1	11,528	21,5	11,722	0	15,473	88.178,40	24,911			
					9h45	52.355,90	17,379	635,1	12,69	64,6	11,722	21,5	12,013	0	15,473	104.711,80	26,585			
					10h	55.111,50	17,95	602,8	13,076	53,8	12,013	21,5	12,207	0	15,473	121.245,20	27,075			
					10h15	82.667,20	20,043	409	13,365	43,1	12,304	32,3	12,401	0	15,378	137.778,70	28,159			
					10h30	93.689,50	19,758	376,7	13,75	43,1	12,69	43,1	12,787	0	15,378	154.312,10	28,655			
					10h45	82.667,20	21,378	333,7	14,23	43,1	13,269	43,1	13,076	0	15,378	165.334,40	30,154			
					11h	28.933,50	18,986	441,3	14,804	32,3	13,75	53,8	13,558	0	15,378	176.356,70	30,659			
					11h15	71.644,90	20,234	269,1	15,187	43,1	14,23	53,8	14,038	0	15,378	176.356,70	30,659			
					11h30	34.444,70	19,662	398,3	15,76	43,1	14,613	53,8	14,517	10,8	15,378	187.379,00	31,472			
					11h45	14.466,80	19,948	366	16,237	53,8	15,187	53,8	14,996	21,5	15,378	198.401,30	32,291			
					12h	110.223,00	19,758	344,4	16,713	64,6	15,664	53,8	15,664	0	15,378	209.423,60	32,086			
					12h15	79.911,60	20,043	355,2	17,189	75,3	16,141	53,8	16,046	32,3	15,378	209.423,60	32,086			
					12h30	74.400,50	20,519	322,9	17,76	75,3	16,808	53,8	16,713	32,3	15,378	209.423,60	32,086			
					12h45	68.889,50	21,091	505,9	18,236	64,6	17,379	53,8	17,284	32,3	15,378	209.423,60	32,497			
					13h	17.222,30	21,091	3.961,10	18,806	64,6	18,045	53,8	18,855	21,5	15,378	209.423,60	32,497			
					13h15	6.200,00	21,282	2.755,60	19,472	53,8	18,616	53,8	18,426	21,5	15,473	209.423,60	32,394			
					13h30	1.894,50	21,282	8.611,20	20,996	32,3	19,187	53,8	18,986	10,8	15,473	198.401,30	31,574			
					13h45	914,9	21,282	8.611,20	20,996	32,3	19,662	53,8	19,377	0	15,473	198.401,30	30,963			
					14h	16.553,40	22,046	925,7	21,282	32,3	20,043	43,1	19,853	0	15,473	198.401,30	32,807			
					14h15	2.325,00	22,621	11.022,30	21,664	21,5	20,519	43,1	20,234	0	15,473	187.379,00	33,014			
					14h30	30.311,30	24,641	387,5	22,142	21,5	20,901	43,1	20,615	0	15,569	187.379,00	31,778			
					14h45	38.578,00	2,6	366	22,238	21,5	21,282	43,1	20,996	0	15,569	176.356,70	32,911			
					15h	68.889,50	26,781	215,3	22,717	32,3	21,664	32,3	21,378	0	15,569	170.845,60	33,222			
					15h15	37.200,20	30,054	279,9	22,525	21,5	21,76	32,3	21,569	0	15,855	159.823,30	32,497			
					15h30	99.200,70	30,154	322,9	22,525	43,1	21,664	32,3	21,664	0	15,569	143.289,80	32,188			
					15h45	13.777,90	29,252	301,4	22,333	21,5	21,473	21,5	21,569	0	15,569	132.267,50	30,862			
					16h	55.111,50	28,06	258,3	22,142	10,8	21,091	10,8	21,473	0	15,569	115.734,10	29,552			
					16h15	21,5	23,004	10,8	21,473	0	20,615	10,8	21,091	0	15,664	6.200,00	23,966			
					16h30	21,5	21,378	0	20,901	0	20,138	10,8	20,71	0	15,664	5.166,70	19,092			
					16h45	10,8	20,615	0	20,424	0	19,662	10,8	20,043	0	15,664	4.822,30	18,616			
					17h	10,8	20,043	0	20,043	0	19,282	10,8	20,043	0	15,76	4.305,60	17,57			
					17h15	0	19,662	0	19,662	0	18,901	0	19,758	0	15,76	3.616,70	16,808			
					17h30	0	19,282	0	19,282	0	18,521	0	19,472	0	15,76	2.755,60	16,427			
					17h45	0	18,901	0	18,996	0	18,236	0	19,092	0	15,76	1.894,50	16,046			
					18h	0	18,616	0	18,616	0	17,855	0	18,806	0	15,76	816,1	15,282			
					18h15	0	18,331	0	18,331	0	17,57	0	18,521	0	15,76	86,1	14,804			
					18h30	0	18,045	0	18,045	0	17,284	0	18,236	0	15,76	0	14,325			
					18h45	0	17,76	0	17,855	0	17,094	0	18,045	0	15,76	0	14,517			
					19h	0	17,57	0	17,57	0	16,808	0	17,76	0	15,76	0	14,9			
					Média diária	23675,428	18,78442	951,69811	16,78417	25,96792	15,88477	23,96415	16,16798	3,858491	16,1887	0	15,6192264	9,1861662	22,90702	

C

Semana 1
Teste
Piloto (TP)
23/ago

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ hora mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												Sensores Externos	OBS:
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato			Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato			Vaso 3 (V3) Controle			Sensores Externos				
						Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Zona 6 - central (S7)	Sob Luz direta (S8)	Na Sombra					
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)
						0	14,709	0	14,038	0	14,804	0	14,613	0	16,903	0	13,942		
						6h15	14,709	14,804	14,038	14,804	14,613	16,903	13,942						
						6h30	14,709	14,709	14,038	14,804	14,613	16,903	13,942						
						6h45	14,709	14,804	14,038	14,804	14,613	16,903	13,942						
						7h	14,709	14,804	14,038	14,804	14,613	16,903	13,942						
						7h15	14,709	14,804	14,038	14,804	14,613	16,903	13,942						
						7h30	14,709	14,804	14,038	14,804	14,613	16,903	13,942						
						7h45	14,709	14,804	14,038	14,804	14,613	16,903	13,942						
						8h	14,804	14,804	14,23	53,8	14,9	14,804	16,999	5,166,70	15,951				
						8h15	107,6	14,804	14,325	96,9	14,9	14,804	16,999	5,166,70	15,951				
						8h30	150,7	14,996	14,421	129,2	14,996	16,808	13,089,00	18,521					
						8h45	10,8	15,091	14,613	10,8	15,187	16,808	13,089,00	18,521					
						9h	86,1	15,187	10,8	15,282	15,282	16,713	7,233,40	17,665					
						9h15	64,6	15,282	10,8	15,378	15,378	16,713	7,233,40	17,665					
						9h30	129,2	15,378	14,9	86,1	15,473	16,713	12,400,10	17,57					
						9h45	290,6	15,569	64,6	15,569	15,569	16,713	22,044,60	18,996					
						10h	344,4	15,664	75,3	15,664	15,664	16,713	26,178,00	20,805					
						10h15	247,6	15,951	86,1	15,951	15,951	16,713	49,600,30	23,1					
						10h30	312,2	16,237	129,2	16,141	16,237	16,713	148,801,00	28,258					
						10h45	322,9	16,618	139,9	16,618	16,618	16,713	115,734,10	30,356					
						11h	559,7	17,094	118,4	17,094	17,094	16,713	33,066,50	23,292					
						11h15	139,9	17,475	32,3	17,379	17,475	16,713	12,400,10	22,908					
						11h30	21,5	17,665	0	17,57	17,665	16,713	2,927,80	20,424					
						11h45	96,9	17,76	21,5	17,665	17,665	16,808	8,611,20	18,901					
						12h	86,1	17,76	21,5	17,76	17,855	16,808	6,544,50	19,092					
						12h15	279,9	17,76	64,6	17,76	17,855	16,808	15,155,70	19,377					
						12h30	32,3	17,76	0	17,76	17,855	16,808	1,980,60	18,806					
						12h45	21,5	17,76	0	17,665	17,76	16,808	3,616,70	18,711					
						13h	10,8	17,665	0	17,665	17,76	16,903	2,238,90	18,521					
						13h15	21,5	17,665	0	17,094	17,76	16,903	1,550,00	18,331					
						13h30	32,3	17,665	0	17,57	17,665	16,903	2,927,80	18,236					
						13h45	139,9	17,57	32,3	17,665	17,665	16,903	8,611,20	18,14					
						14h	119,4	17,57	32,3	17,57	17,57	16,903	8,266,70	18,045					
						14h15	139,9	17,475	32,3	17,475	17,57	16,999	10,677,80	17,855					
						14h30	129,2	17,475	32,3	17,475	17,475	16,903	7,233,40	18,14					
						14h45	75,3	17,379	21,5	17,379	17,475	16,999	5,511,10	18,045					
						15h	10,8	17,379	0	17,379	17,475	16,999	2,066,70	18,14					
						15h15	75,3	17,379	10,8	17,379	17,475	16,999	5,338,90	18,616					
						15h30	53,8	17,284	10,8	17,379	17,475	16,999	3,100,00	18,045					
						15h45	10,8	17,284	0	17,284	17,475	16,999	1,259,40	17,855					
						16h	0	17,284	0	17,379	17,379	16,999	430,6	17,665					
						16h15	0	17,284	0	17,379	17,379	17,094	516,7	17,76					
						16h30	0	17,284	0	17,379	17,379	17,189	344,4	17,665					
						16h45	0	17,284	0	17,379	17,379	17,189	355,2	17,665					
						17h	0	17,284	0	17,379	17,379	17,189	183	17,475					
						17h15	0	17,284	0	17,379	17,379	17,189	215,3	17,379					
						17h30	0	17,284	0	17,379	17,379	17,284	549	17,189					
						17h45	0	17,189	0	17,379	17,379	17,284	1,894,50	17,094					
						18h	10,8	17,189	0	17,379	17,379	17,284	1,894,50	17,094					
						18h15	0	17,189	0	17,379	17,379	17,284	1,894,50	17,094					
						18h30	0	17,189	0	17,379	17,379	17,284	1,894,50	17,094					
						18h45	0	17,094	0	17,284	17,284	17,284	1,894,50	17,094					
						19h	0	17,094	0	17,284	17,284	17,284	1,894,50	17,094					
						Média diária	80,2220755	16,56621	19,0905066	16,58236	0,203774	16,00474	16,63621	16,62364	0	16,53621	16,9428491	1,1027581	18,19509

E

Semana 1
Teste
Piloto (TP)

24/ago

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												OBS.:
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 (V3) Controle		Sensores Externos						
						Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Sob Luz direta (S8)	Na Sombra					
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	
					6h	0	12,98	0	12,207	0	12,98	0	12,594	0	17,379	0	11,041	
					6h15	0	12,883	0	12,11	0	12,883	0	12,497	0	17,379	0	11,041	
					6h30	0	12,883	0	12,11	0	12,883	0	12,497	0	17,379	0	10,846	
					6h45	0	12,787	0	12,013	0	12,787	0	12,497	0	17,379	9,69	10,846	
					7h	0	12,787	0	12,013	0	12,787	0	12,497	0	17,379	4,09	10,846	
					7h15	0	12,69	0	11,916	0	12,69	0	12,304	0	17,284	2,755,60	10,944	
					7h30	10,8	12,594	0	11,819	10,8	12,594	0	12,304	0	17,189	5,511,10	11,041	
					7h45	0	12,594	0	11,819	0	12,497	0	12,207	0	16,999	7,577,80	11,139	
					8h	43,1	12,497	0	11,722	43,1	12,497	0	12,207	0	16,903	19,289,00	12,883	
					8h15	32,3	12,497	0	11,722	32,3	12,497	0	12,11	0	16,903	30,311,30	14,709	
					8h30	43,1	12,497	0	11,722	43,1	12,497	0	12,11	0	16,808	19,289,00	13,076	
					8h45	75,3	12,497	10,8	11,722	64,6	12,401	0	12,11	0	16,808	57,867,00	20,424	
					9h	86,1	12,497	10,8	11,722	53,8	12,401	0	12,11	0	16,713	31,689,10	18,521	
					9h15	96,9	12,497	10,8	11,722	53,8	12,401	0	12,11	0	16,713	28,933,50	14,9	
					9h30	86,1	12,497	21,5	11,819	43,1	12,401	0	12,207	0	16,713	31,689,10	18,331	
					9h45	75,3	12,497	32,3	12,69	0	11,819	32,3	12,497	0	16,618	115,734,10	17,76	
					10h	215,3	12,594	43,1	12,69	0	11,916	139,9	12,497	0	16,618	49,600,30	25,61	
					10h15	161,5	12,69	86,1	12,787	10,8	12,11	75,3	12,594	0	16,618	159,823,30	25,319	
					10h30	118,4	12,787	107,6	12,883	21,5	12,207	43,1	12,594	0	16,523	159,823,30	25,319	
					10h45	247,6	12,98	75,3	13,076	0	12,401	139,9	12,883	0	16,523	46,844,80	23,1	
					11h	247,6	13,173	226	13,173	21,5	12,497	64,6	12,98	0	16,523	170,845,60	25,125	
					11h15	322,9	13,365	290,6	13,461	32,3	12,787	75,3	13,173	0	16,427	176,356,70	27,173	
					11h30	452,1	13,558	387,5	13,654	32,3	13,076	96,9	13,461	10,8	16,427	187,379,00	24,545	
					11h45	398,3	13,846	376,7	13,942	64,6	13,365	129,2	13,75	21,5	16,427	198,401,30	28,06	
					12h	204,5	14,23	301,4	14,325	75,3	13,75	86,1	14,134	21,5	16,427	198,401,30	26,488	
					12h15	129,2	14,517	215,3	14,613	10,8	14,038	75,3	14,421	32,3	16,332	187,379,00	25,805	
					12h30	107,6	14,9	139,9	14,996	86,1	14,421	75,3	14,804	32,3	16,332	198,401,30	27,567	
					12h45	96,9	15,187	107,6	15,282	64,6	14,804	64,6	15,091	32,3	16,332	198,401,30	26,977	
					13h	96,9	15,569	86,1	15,569	64,6	15,187	64,6	15,378	32,3	16,332	198,401,30	26,879	
					13h15	75,3	15,855	64,6	15,951	32,3	15,473	64,6	15,664	21,5	16,237	198,401,30	27,075	
					13h30	75,3	16,237	53,8	16,237	43,1	15,855	64,6	16,046	10,8	16,141	187,379,00	26,781	
					13h45	53,8	16,523	32,3	16,523	32,3	16,141	53,8	16,332	10,8	16,141	187,379,00	26,781	
					14h	53,8	16,903	32,3	16,903	43,1	16,523	53,8	16,713	0	16,332	187,379,00	26,781	
					14h15	75,3	17,189	64,6	17,094	32,3	16,713	53,8	16,808	0	16,237	176,356,70	26,585	
					14h30	64,6	17,379	43,1	17,379	53,8	16,999	43,1	16,903	0	16,332	176,356,70	26,195	
					14h45	53,8	17,665	43,1	17,57	107,6	17,189	43,1	16,999	0	16,237	170,845,60	27,173	
					15h	53,8	17,855	32,3	17,855	53,8	17,379	43,1	17,189	0	16,427	159,823,30	26	
					15h15	43,1	17,95	21,5	17,95	21,5	17,475	32,3	17,284	0	16,427	148,801,00	25,319	
					15h30	43,1	17,95	21,5	17,95	0	17,475	32,3	17,284	0	16,332	132,267,50	24,738	
					15h45	32,3	17,855	21,5	17,76	0	17,284	21,5	17,284	0	16,332	121,245,20	24,255	
					16h	32,3	17,189	10,8	17,475	0	16,999	21,5	17,094	0	16,332	104,711,80	22,812	
					16h15	21,5	17,189	0	17,189	0	16,618	10,8	16,903	0	16,332	6,200,00	18,045	
					16h30	21,5	16,808	0	16,808	0	16,141	10,8	16,618	0	16,332	5,166,70	15,187	
					16h45	21,5	16,427	0	16,427	0	15,76	10,8	16,332	0	16,237	4,822,30	14,613	
					17h	10,8	16,046	0	16,141	0	15,473	10,8	15,951	0	16,332	4,133,40	14,038	
					17h15	10,8	15,76	0	15,76	0	15,091	0	15,664	0	16,237	3,444,50	13,558	
					17h30	10,8	15,473	0	15,473	0	14,804	0	15,378	0	16,237	2,755,60	13,076	
					17h45	0	15,187	0	15,282	0	14,517	0	15,187	0	16,237	1,980,60	12,594	
					18h	0	14,996	0	14,996	0	14,325	0	14,9	0	16,237	990,3	12,11	
					18h15	0	14,804	0	14,804	0	14,134	0	14,709	0	16,237	183	11,916	
					18h30	0	14,613	0	14,613	0	13,942	0	14,517	0	16,237	0	11,528	
					18h45	0	14,421	0	14,517	0	13,75	0	14,421	0	16,237	0	11,431	
					19h	0	14,325	0	14,325	0	14,23	0	14,23	0	16,237	0	11,236	
					Média diária	77,381132	14,61415	56,05283	14,00291	38,79434	14,43943	4,266038	14,32813	0	16,552075	84,993,506	19,36866	

P

Semana 1
Teste
Piloto (TP)
25/ago

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																				
Plânilha 1 - Dados de Iluminação e Temperatura																				
Semana/ Data e hora levant.	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Vaso 1 (V1) Duto com heliostato				Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato				Vaso 3 (V3) Controle		Sensores Externos					
					Zona 1 - central (S3)		Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)		Zona 4 - central (S5)		Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)		Zona 6 - centro (S7)		Sob Luz direta (S8)		Na Sombra	
					Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		
					6h	0	9,866	0	9,985	0	9,176	0	9,768	0	9,472	0	6,471			
					6h15	0	9,768	0	9,965	0	9,176	0	9,669	0	9,373	0	0	6,37		
					6h30	0	9,669	0	9,866	0	9,077	0	9,571	0	9,275	0	21,5	6,37		
					6h45	0	9,669	0	9,768	0	8,978	0	9,571	0	9,275	0	473,6	6,268		
					7h	0	9,571	0	9,768	0	8,879	0	9,472	0	9,176	0	1,377,80	5,86		
					7h15	0	9,571	0	9,768	0	8,879	0	9,373	0	9,176	0	2,497,20	5,655		
					7h30	0	9,472	0	9,669	0	8,779	0	9,373	0	9,077	0	4,133,40	5,86		
					7h45	0	9,472	0	9,669	0	8,779	0	9,275	0	9,077	0	4,994,50	6,674		
					8h	0	9,373	0	9,571	0	8,779	0	9,275	0	8,978	0	6,200,00	7,582		
					8h30	0	9,373	0	9,472	0	8,779	0	9,176	0	8,978	0	33,066,90	16,713		
					8h45	0	9,373	0	9,472	0	8,68	0	9,176	0	8,978	0	42,711,40	19,567		
					9h	0	9,373	0	9,571	0	8,779	0	9,176	0	8,978	0	52,355,90	20,234		
					9h15	10,8	9,472	0	9,571	0	8,879	10,8	9,176	0	8,978	0	66,133,80	21,569		
					9h30	10,8	9,571	0	9,571	0	9,077	10,8	9,275	0	9,077	0	79,911,60	21,664		
					9h45	10,8	9,571	0	9,669	0	9,176	10,8	9,571	0	9,275	0	93,689,50	23,196		
					10h	21,5	9,768	0	9,866	0	9,373	21,5	9,768	0	9,768	0	104,711,80	24,158		
					10h15	21,5	10,063	10,8	10,161	0	9,768	21,5	9,865	0	10,063	0	121,245,20	24,931		
					10h30	32,3	10,455	10,8	10,455	0	10,161	32,3	10,553	0	10,357	0	137,778,70	25,61		
					10h45	43,1	10,846	21,5	10,846	0	10,553	43,1	10,553	0	10,651	0	148,801,00	26,585		
					11h	53,8	11,334	43,1	11,334	10,8	11,041	43,1	10,944	0	11,139	0	165,334,40	27,665		
					11h15	64,6	11,722	53,8	11,819	21,5	11,528	53,8	11,431	0	11,528	0	170,845,60	27,665		
					11h30	64,6	12,594	53,8	12,207	43,1	12,013	75,3	11,916	10,8	12,013	0	187,379,00	28,357		
					11h45	75,3	13,173	53,8	12,594	64,6	12,401	64,6	12,401	21,5	12,497	0	187,379,00	29,752		
					12h	75,3	13,173	53,8	13,173	75,3	12,98	64,6	12,883	21,5	13,076	0	198,401,30	28,456		
					12h15	75,3	13,654	75,3	13,654	86,1	13,461	53,8	13,461	21,5	13,558	0	198,401,30	28,953		
					12h30	86,1	14,134	86,1	14,134	96,9	14,038	53,8	13,942	32,3	14,134	0	198,401,30	29,252		
					12h45	86,1	14,613	96,9	14,613	86,1	14,517	53,8	14,421	32,3	14,613	0	198,401,30	28,655		
					13h	86,1	15,091	107,6	15,091	75,3	14,996	53,8	14,9	32,3	15,091	0	198,401,30	29,152		
					13h15	86,1	15,569	107,6	15,569	53,8	15,473	53,8	15,378	32,3	15,569	0	198,401,30	29,252		
					13h30	86,1	15,951	86,1	15,951	43,1	15,855	43,1	15,76	21,5	16,046	0	198,401,30	28,555		
					13h45	86,1	16,332	75,3	16,332	32,3	16,237	43,1	16,046	10,8	16,332	0	198,401,30	28,456		
					14h	75,3	16,713	64,6	16,713	32,3	16,618	43,1	16,427	0	16,713	0	187,379,00	28,552		
					14h15	64,6	17,094	53,8	16,999	53,8	16,903	43,1	16,808	0	16,999	0	187,379,00	28,258		
					14h30	1,291,70	17,475	3,961,10	17,284	21,5	17,189	32,3	17,094	0	17,379	0	176,356,70	29,053		
					14h45	139,9	17,665	17,222,20	17,665	10,8	17,379	32,3	17,379	0	17,665	0	176,356,70	27,961		
					15h	107,6	17,855	710,4	17,95	0	17,57	32,3	17,57	0	17,76	0	165,334,40	27,664		
					15h15	86,1	17,95	75,3	17,95	0	17,665	21,5	17,665	0	17,95	0	154,312,10	26,683		
					15h30	75,3	17,855	43,1	17,76	0	17,475	21,5	17,57	0	17,76	0	143,289,80	26,292		
					15h45	64,6	17,665	32,3	17,57	10,8	17,284	21,5	17,475	0	17,57	0	126,756,40	25,902		
					16h	53,8	17,279	21,5	17,284	32,3	16,903	10,8	17,189	0	17,284	0	110,223,00	25,416		
					16h15	43,1	16,999	10,8	16,903	0	16,523	10,8	16,999	0	16,999	0	5,511,10	21,091		
					16h30	32,3	16,618	0	16,618	0	16,141	0	16,618	0	16,713	0	4,994,50	15,282		
					16h45	32,3	16,237	0	16,237	0	15,76	0	16,332	0	16,332	0	4,305,60	14,517		
					17h	21,5	15,855	0	15,855	0	15,378	0	15,951	0	15,951	0	3,616,70	13,942		
					17h15	21,5	15,569	0	15,569	0	14,996	0	15,664	0	15,664	0	3,100,00	13,365		
					17h30	10,8	15,187	0	15,187	0	14,709	0	15,282	0	15,282	0	2,497,20	12,69		
					17h45	10,8	14,9	0	14,9	0	14,325	0	14,996	0	14,996	0	1,808,30	12,304		
					18h	0	14,613	0	14,613	0	14,038	0	14,709	0	14,709	0	1,001,00	11,236		
					18h15	0	14,421	0	14,421	0	13,846	0	14,421	0	14,421	0	215,3	10,553		
					18h30	0	14,134	0	14,134	0	13,558	0	14,23	0	14,23	0	0	9,666		
					18h45	0	13,846	0	13,846	0	13,365	0	13,942	0	13,942	0	0	8,779		
					19h	0	13,558	0	13,558	0	13,076	0	13,75	0	13,75	0	0	7,983		
					Média diária	60,51887	13,20058	14,3,9887	13,23998	16,04528	12,78768	20,31321	13,06357	4,467925	13,08143	#DIV/0!	9,0996,1019	#DIV/0!	19,84832	#DIV/0!

C

26/ago

Semana 2
Teste
Piloto (TP)

Coleta
em:
03/09/18

Turno:
noite

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar* (%)	Previsão Temperat ura (máx/ mín)* (°C)	Tipo de céu**	Píntila 1 - Dados de luminância e temperatura												OBS.:
					Vaso 1 (V1) Duto com hellestato			Vaso 2 (V2) Duto sem hellestato			Vaso 3 (V3) Controle			Sensores Externos			
Zona 1 - central (S3)		Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)		Zona 4 - central (S5)		Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)		Zona 6 - centro (S7)		Sob luz direta (S8)		Na Sombra			
Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)		
6h	0	17,665	0	17,665	0	16,808	0	17,95	0	17,76	0	0	17,855	0	15,76		
6h15	0	17,665	0	17,665	0	16,808	0	17,95	0	17,76	0	0	17,855	0	15,76		
6h30	0	17,665	0	17,665	0	16,808	0	17,95	0	17,76	0	118,4	15,378	839,6	15,187		
6h45	0	17,665	0	17,665	0	16,713	0	17,95	0	17,665	0	2,411,10	14,996	5,166,70	15,282		
7h	0	17,57	0	17,57	0	16,713	0	17,855	0	17,665	0	6,544,50	16,523	14,466,80	17,76		
7h15	0	17,57	0	17,57	0	16,618	0	17,855	0	17,57	0	17,222,30	19,187	16,533,40	19,187		
7h30	0	17,475	0	17,475	0	16,618	0	17,76	0	17,57	0	17,222,30	19,187	17,222,30	19,187		
7h45	43,1	17,475	0	17,475	0	16,618	32,3	17,76	0	17,57	0	14,466,80	19,187	14,466,80	19,187		
8h	21,5	17,475	0	17,475	0	16,618	21,5	17,76	0	17,57	0	14,466,80	19,187	14,466,80	19,187		
8h15	21,5	17,475	0	17,475	0	16,618	21,5	17,76	0	17,57	0	14,466,80	19,187	14,466,80	19,187		
8h30	21,5	17,475	0	17,475	0	16,713	10,8	17,76	0	17,57	0	46,844,80	26,39	60,622,60	29,053		
8h45	32,3	17,475	0	17,57	0	16,713	21,5	17,76	0	17,665	0	71,644,90	29,552	85,422,80	30,558		
9h	43,1	17,57	10,8	17,57	0	16,808	32,3	17,855	0	17,855	0	104,711,80	32,394	88,178,40	31,064		
9h15	75,3	17,665	21,5	17,665	0	16,903	43,1	17,95	0	17,855	0	60,622,60	29,053	60,622,60	29,053		
9h30	75,3	17,76	21,5	17,76	0	17,094	53,8	18,045	0	18,045	0	104,711,80	32,394	88,178,40	31,064		
9h45	366	17,95	64,6	17,95	0	17,284	161,5	18,236	0	18,236	0	60,622,60	29,053	60,622,60	29,053		
10h	226	18,236	64,6	18,236	0	17,57	129,2	18,521	0	18,521	0	88,178,40	31,064	88,178,40	31,064		
10h15	387,5	18,521	107,6	18,521	0	17,855	204,5	18,806	0	18,806	0	60,622,60	29,053	60,622,60	29,053		
10h30	129,2	18,806	43,1	18,806	0	18,236	75,3	19,092	0	19,092	0	104,711,80	32,394	104,711,80	32,394		
10h45	624,3	19,187	193,8	19,187	10,8	18,521	301,4	19,377	0	19,377	0	88,178,40	31,064	88,178,40	31,064		
11h	269,1	19,472	86,1	19,472	10,8	18,806	150,7	19,567	0	19,567	0	60,622,60	29,053	60,622,60	29,053		
11h15	559,7	19,758	161,5	19,758	0	19,187	258,3	19,948	0	19,948	0	68,889,30	33,639	68,889,30	33,639		
11h30	958	20,043	279,9	20,043	32,3	19,377	495,1	20,138	21,5	20,234	0	242,490,50	27,075	242,490,50	27,075		
11h45	742,7	20,329	236,8	20,329	0	19,662	366	20,424	0	20,424	0	66,133,80	28,754	66,133,80	28,754		
12h	322,9	20,519	204,5	20,519	21,5	19,853	279,9	20,615	21,5	20,71	0	132,267,50	30,76	132,267,50	30,76		
12h15	1,022,60	20,901	290,6	20,805	10,8	20,138	538,2	20,901	0	20,996	0	88,178,40	31,067	88,178,40	31,067		
12h30	645,8	21,187	247,6	21,091	96,9	20,519	409	21,282	10,8	21,282	0	176,356,70	35,649	176,356,70	35,649		
12h45	850,4	21,569	279,9	21,473	21,5	20,901	452,1	21,664	0	21,76	0	121,245,20	33,43	121,245,20	33,43		
13h	355,2	21,951	107,6	21,855	21,5	21,282	204,5	21,951	10,8	22,142	0	132,267,50	34,058	132,267,50	34,058		
13h15	753,5	22,238	204,5	22,238	21,5	21,664	398,3	22,333	0	21,76	0	154,312,10	32,188	154,312,10	32,188		
13h30	699,7	22,525	215,3	22,429	21,5	22,046	279,9	22,812	0	21,76	0	110,223,00	29,152	110,223,00	29,152		
13h45	538,2	22,717	183	22,621	21,5	22,046	279,9	22,812	0	21,76	0	187,79,00	32,394	187,79,00	32,394		
14h	785,8	23,004	236,8	22,908	10,8	22,238	398,3	23,004	0	21,951	0	31,689,10	27,862	31,689,10	27,862		
14h15	538,2	23,196	139,9	23,1	0	22,429	236,8	23,196	0	22,142	0	10,333,40	22,238	10,333,40	22,238		
14h30	269,1	23,196	64,6	23,1	0	22,429	118,4	23,196	0	22,238	0	18,600,10	23,484	18,600,10	23,484		
14h45	258,3	23,004	53,8	23,004	0	22,333	118,4	23,196	0	22,142	0	18,600,10	23,484	18,600,10	23,484		
15h	279,9	22,908	64,6	22,908	0	22,142	118,4	22,908	0	22,142	0	22,044,60	23,292	22,044,60	23,292		
15h15	366	22,812	96,9	22,717	0	21,951	183	22,812	0	22,046	0	23,422,40	23,292	23,422,40	23,292		
15h30	193,8	22,621	32,3	22,525	0	21,76	86,1	22,621	0	21,951	0	10,333,40	22,238	10,333,40	22,238		
15h45	107,6	22,429	21,5	22,429	0	21,569	53,8	22,429	0	21,855	0	6,200,00	20,043	6,200,00	20,043		
16h	96,9	22,142	10,8	22,142	0	21,378	43,1	22,238	0	21,664	0	6,200,00	20,043	6,200,00	20,043		
16h15	107,6	21,951	21,5	21,951	0	21,187	64,6	22,046	0	21,569	0	13,089,00	19,662	13,089,00	19,662		
16h30	53,8	21,76	10,8	21,76	0	20,901	21,5	21,855	0	21,473	0	6,200,00	19,472	6,200,00	19,472		
16h45	64,6	21,569	10,8	21,569	0	20,71	21,5	21,664	0	21,282	0	4,994,50	19,377	4,994,50	19,377		
17h	53,8	21,378	0	21,378	0	20,519	21,5	21,473	0	21,187	0	4,822,30	19,092	4,822,30	19,092		
17h15	53,8	21,187	0	21,187	0	20,329	21,5	21,378	0	21,091	0	2,755,60	18,901	2,755,60	18,901		
17h30	0	20,996	0	20,996	0	20,138	0	21,187	0	20,996	0	592	18,616	592	18,616		
17h45	0	20,805	0	20,901	0	20,043	0	21,091	0	20,805	0	699,7	18,521	699,7	18,521		
18h	0	20,71	0	20,71	0	19,853	0	20,901	0	20,71	0	19,38	18,045	19,38	18,045		
18h15	0	20,519	0	20,615	0	19,662	0	20,805	0	20,615	0	10,8	17,855	10,8	17,855		
18h30	0	20,424	0	20,424	0	19,567	0	20,615	0	20,519	0	17,76	17,855	17,76	17,855		
18h45	0	20,234	0	20,329	0	19,377	0	20,519	0	20,424	0	0	17,76	0	17,76		
19h	0	20,138	0	20,234	0	19,282	0	20,329	0	20,329	0	0	17,855	0	17,855		
Média diária	245,5396	20,12155	71,49245	20,11604	5,686792	19,33328	128,5585	20,29566	1,218868	20,01804	#DIV/0!	4,80956226	23,90674	#DIV/0!	#DIV/0!		

E

Semana 2
Teste Piloto (TP)
30/ago

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Pilhula 1 - Dados de luminância e temperatura												OBS.:
						Vaso 1 (V1) Duto com hellestato			Vaso 2 (V2) Duto sem hellestato			Vaso 3 (V3) Controle			Sensores Externos			
						Zona 1 - central (S3) Ilum.(lux) Temp. (°C)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6) Ilum.(lux) Temp. (°C)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2) Ilum.(lux) Temp. (°C)	Zona 4 - central (S5) Ilum.(lux) Temp. (°C)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4) Ilum.(lux) Temp. (°C)	Zona 6 - centro (S7) Ilum.(lux) Temp. (°C)	Sob luz direta (S8) Ilum.(lux) Temp. (°C)	Na Sombra Ilum.(lux) Temp. (°C)					
					6h	0	18,331	0	18,426	0	17,475	0	18,521	0	18,331	0	16,999	
					6h15	0	18,331	0	18,331	0	17,475	0	18,521	0	18,331	0	16,993	
					6h30	0	18,236	0	18,331	0	17,475	0	18,426	0	18,331	0	16,999	
					6h45	0	18,236	0	18,331	0	17,379	0	18,426	0	18,331	32,3	17,094	
					7h	0	18,236	0	18,331	0	17,379	0	18,426	0	18,236	118,4	17,094	
					7h15	0	18,236	0	18,236	0	17,379	0	18,331	0	18,236	452,1	17,284	
					7h30	0	18,14	0	18,236	0	17,379	0	18,331	0	18,236	1.808,30	17,475	
					7h45	0	18,14	0	18,236	0	17,379	0	18,331	0	18,236	2.066,70	17,475	
					8h	0	18,14	0	18,236	0	17,379	32,3	18,331	0	18,236	4.994,50	17,665	
					8h15	0	18,14	0	18,236	0	17,379	32,3	18,331	0	18,236	5.511,40	17,665	
					8h30	0	18,14	0	18,236	0	17,284	32,3	18,331	0	18,236	5.338,90	17,665	
					8h45	0	18,14	0	18,14	0	17,284	10,8	18,331	0	18,236	2.927,80	17,665	
					9h	0	18,14	0	18,14	0	17,284	21,5	18,331	0	18,14	4.305,60	17,57	
					9h15	0	18,14	0	18,14	0	17,379	21,5	18,331	0	18,14	3.961,10	17,475	
					9h30	0	18,14	0	18,14	0	17,284	21,5	18,331	0	18,14	3.961,10	17,475	
					9h45	0	18,14	0	18,14	0	17,284	53,8	18,331	0	18,14	7.233,40	17,95	
					10h	0	18,14	0	18,14	0	17,284	32,3	18,236	0	18,14	4.822,30	18,045	
					10h15	0	18,14	0	18,14	0	17,284	32,3	18,331	0	18,14	4.994,50	17,76	
					10h30	0	18,14	0	18,14	0	17,379	53,8	18,331	0	18,14	8.611,20	17,855	
					10h45	0	18,14	0	18,14	0	17,379	53,8	18,331	0	18,14	8.266,70	17,475	
					11h	0	18,14	0	18,14	0	17,379	32,3	18,236	0	18,14	6.200,00	17,57	
					11h15	0	18,14	0	18,14	0	17,379	21,5	18,236	0	18,14	4.822,30	17,379	
					11h30	0	18,045	0	18,14	0	17,284	43,1	18,236	0	18,14	4.822,30	17,094	
					11h45	0	18,045	0	18,14	0	17,284	43,1	18,236	0	18,14	6.200,00	17,094	
					12h	0	18,045	0	18,14	0	17,284	21,5	18,236	0	18,14	4.822,30	17,094	
					12h15	0	18,045	0	18,14	0	17,284	53,8	18,236	0	18,045	8.611,20	17,76	
					12h30	10,8	18,045	0	18,14	0	17,284	64,6	18,236	0	18,045	10.333,40	18,045	
					12h45	10,8	18,045	0	18,14	0	17,284	75,3	18,236	0	18,045	10.677,80	18,426	
					13h	10,8	18,045	0	18,14	0	17,284	86,1	18,236	0	18,045	13.777,90	18,711	
					13h15	10,8	18,045	0	18,14	0	17,284	75,3	18,236	0	18,045	11.711,20	18,521	
					13h30	10,8	18,14	0	18,14	0	17,379	64,6	18,236	0	18,14	13.777,90	18,616	
					13h45	10,8	18,14	0	18,14	0	17,379	75,3	18,236	0	18,14	11.711,20	18,616	
					14h	0	18,14	0	18,236	0	17,379	32,3	18,236	0	18,14	6.200,00	18,331	
					14h15	10,8	18,14	0	18,236	0	17,475	64,6	18,331	0	18,14	9.300,10	18,331	
					14h30	10,8	18,14	0	18,236	0	17,475	75,3	18,331	0	18,14	11.711,20	18,331	
					14h45	10,8	18,14	0	18,236	0	17,475	86,1	18,331	0	18,14	13.089,00	18,901	
					15h	0	18,236	0	18,236	0	17,475	32,3	18,331	0	18,14	6.544,50	18,616	
					15h15	0	18,236	0	18,331	0	17,475	10,8	18,331	0	18,236	3.272,20	18,331	
					15h30	0	18,236	0	18,331	0	17,475	21,5	18,331	0	18,236	4.650,00	18,331	
					15h45	10,8	18,236	0	18,331	0	17,475	53,8	18,331	0	18,236	8.611,20	18,236	
					16h	21,5	18,236	0	18,331	0	17,475	86,1	18,331	0	18,236	16.533,40	18,806	
					16h15	10,8	18,236	0	18,331	0	17,57	53,8	18,331	0	18,236	10.677,80	18,616	
					16h30	10,8	18,236	0	18,331	0	17,57	75,3	18,331	0	18,236	16.533,40	18,616	
					16h45	10,8	18,236	0	18,331	0	17,57	53,8	18,426	0	18,236	14.466,80	18,806	
					17h	21,5	18,331	0	18,331	0	17,57	107,6	18,426	0	18,236	20.666,80	19,377	
					17h15	0	18,331	0	18,331	0	17,57	32,3	18,426	0	18,331	10.333,40	18,996	
					17h30	0	18,331	0	18,331	0	17,665	32,3	18,426	0	18,331	7.233,40	18,901	
					17h45	0	18,331	0	18,426	0	17,665	0	18,426	0	18,331	17.222,20	17,95	
					18h	0	18,331	0	18,426	0	17,665	0	18,426	0	18,331	258,3	17,57	
					18h15	0	18,331	0	18,426	0	17,665	0	18,426	0	18,331	53,8	17,284	
					18h30	0	18,331	0	18,331	0	17,57	0	18,426	0	18,331	0	17,284	
					18h45	0	18,331	0	18,331	0	17,57	0	18,426	0	18,236	0	17,284	
					19h	0	18,236	0	18,331	0	17,57	0	18,426	0	18,236	0	16,993	
					Média diária	3.460377	18,18525	0	18,24277	0	17,42245	35,1283	18,33458	0	18,19966	6391,15094	17,89274	#DIV/0!

E

Semana 2
Teste
Piloto (TP)
31/ago

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Pilhula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												OBS.:	
					Vaso 1 (V1) Duto com hellestato			Vaso 2 (V2) Duto sem hellestato			Vaso 3 (V3) Controle			Sensores Externos				
					Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - centro (S7)	Sob luz direta (S8)	Na Sombra						
					Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		
					0	17,475	0	17,57	0	16,808	0	17,665	0	17,475	0	16,903		
					6h15	0	17,475	0	17,57	0	16,808	0	17,665	0	17,475	0	16,903	
					6h30	0	17,475	0	17,57	0	16,713	0	17,665	0	17,475	0	16,903	
					6h45	0	17,475	0	17,57	0	16,808	0	17,665	0	17,475	0	16,903	
					7h	0	17,475	0	17,475	0	16,713	0	17,57	0	17,475	0	16,999	
					7h15	0	17,475	0	17,475	0	16,713	0	17,57	0	17,475	0	16,999	
					7h30	0	17,475	0	17,475	0	16,713	10,8	17,57	0	17,475	0	16,903	
					7h45	21,5	17,475	0	17,475	0	16,713	10,8	17,57	0	17,475	0	16,808	
					8h	118,4	17,475	10,8	17,475	0	16,713	53,8	17,57	0	17,475	9,300,10	17,094	
					8h15	172,2	17,475	32,3	17,475	0	16,713	86,1	17,57	0	17,475	13,089,00	17,284	
					8h30	118,4	17,475	21,5	17,475	0	16,713	53,8	17,57	0	17,379	8,611,20	17,475	
					8h45	118,4	17,475	10,8	17,475	0	16,713	53,8	17,57	0	17,379	8,266,70	17,489	
					9h	75,3	17,475	10,8	17,475	0	16,713	32,3	17,57	0	17,379	5,511,10	17,094	
					9h15	96,9	17,475	10,8	17,475	0	16,713	43,1	17,57	0	17,379	7,233,40	17,284	
					9h30	150,7	17,475	21,5	17,475	0	16,713	75,3	17,57	0	17,379	10,677,80	17,475	
					9h45	86,1	17,475	10,8	17,475	0	16,713	32,3	17,57	0	17,379	5,511,10	17,189	
					10h	43,1	17,379	0	17,475	0	16,713	21,5	17,57	0	17,379	3,444,50	16,903	
					10h15	0	17,379	0	17,475	0	16,713	0	17,57	0	17,379	936,5	16,713	
					10h30	0	17,379	0	17,475	0	16,713	0	17,475	0	17,379	958	16,713	
					10h45	21,5	17,379	0	17,475	0	16,713	10,8	17,475	0	17,379	2,927,80	16,713	
					11h	161,5	17,379	21,5	17,475	0	16,618	75,3	17,475	0	17,379	11,711,20	17,189	
					11h15	247,6	17,379	43,1	17,475	0	16,618	118,4	17,475	0	17,379	18,600,10	17,76	
					11h30	226	17,379	43,1	17,475	0	16,618	107,6	17,475	0	17,379	19,289,00	18,045	
					11h45	150,7	17,379	21,5	17,475	0	16,713	64,6	17,475	0	17,379	10,333,40	17,855	
					12h	215,3	17,475	43,1	17,475	0	16,713	96,9	17,57	0	17,379	14,466,80	17,95	
					12h15	247,6	17,475	53,8	17,475	0	16,713	107,6	17,57	0	17,379	17,222,30	18,426	
					12h30	322,9	17,57	75,3	17,57	0	16,808	150,7	17,57	0	17,379	24,800,20	18,996	
					12h45	699,7	17,57	183	17,57	0	16,903	301,4	17,665	0	17,475	52,355,90	21,855	
					13h	581,3	17,665	139,9	17,76	0	16,999	279,9	17,665	0	17,57	37,200,20	20,71	
					13h15	419,8	17,855	96,9	17,855	0	17,094	193,8	17,76	0	17,665	26,178,00	19,853	
					13h30	495,1	17,95	118,4	17,95	0	17,284	236,8	17,855	0	17,76	34,444,70	20,424	
					13h45	312,2	18,045	75,3	18,045	0	17,379	150,7	17,95	0	17,76	20,666,80	19,948	
					14h	139,9	18,14	32,3	18,14	0	17,379	64,6	18,045	0	17,855	10,677,80	18,711	
					14h15	118,4	18,14	21,5	18,14	0	17,475	53,8	18,045	0	17,855	7,577,80	18,426	
					14h30	64,6	18,14	10,8	18,236	0	17,475	32,3	18,14	0	17,95	4,650,00	17,855	
					14h45	10,8	18,14	0	18,14	0	17,475	0	18,14	0	17,95	1,463,90	17,665	
					15h	107,6	18,14	10,8	18,14	0	17,475	43,1	18,14	0	17,95	7,577,80	17,76	
					15h15	419,8	18,14	107,6	18,14	0	17,379	204,5	18,045	0	17,855	44,089,20	19,567	
					15h30	161,5	18,14	43,1	18,14	0	17,475	75,3	18,14	0	17,95	24,800,20	20,329	
					15h45	150,7	18,14	32,3	18,236	0	17,475	64,6	18,14	0	17,95	11,022,30	18,806	
					16h	279,9	18,236	64,6	18,236	0	17,475	129,2	18,14	0	17,95	18,600,10	19,092	
					16h15	107,6	18,236	21,5	18,236	0	17,57	43,1	18,236	0	18,045	8,266,70	18,901	
					16h30	64,6	18,236	10,8	18,236	0	17,57	21,5	18,236	0	18,045	5,166,70	18,616	
					16h45	10,8	18,236	0	18,236	0	17,57	0	18,236	0	18,045	1,463,90	18,14	
					17h	0	18,236	0	18,331	0	17,57	0	18,236	0	18,045	387,5	17,95	
					17h15	0	18,236	0	18,236	0	17,57	0	18,236	0	18,045	527,4	17,76	
					17h30	75,3	18,236	10,8	18,236	0	17,475	32,3	18,236	0	18,045	4,994,50	17,855	
					17h45	10,8	18,236	0	18,236	0	17,475	0	18,236	0	18,045	1,463,90	17,665	
					18h	0	18,14	0	18,236	0	17,475	0	18,14	0	18,045	775	17,475	
					18h15	0	18,14	0	18,14	0	17,379	0	18,14	0	17,95	86,1	17,379	
					18h30	0	18,045	0	18,14	0	17,379	0	18,045	0	17,95	0	17,379	
					18h45	0	18,045	0	18,045	0	17,284	0	18,045	0	17,95	0	17,379	
					19h	0	18,045	0	18,045	0	17,284	0	18,045	0	17,95	0	17,475	
					Média diária	128,7642	17,76717	26,60943	17,79964	0	17,05074	59,10189	17,81211	0	17,65751	9860,80189	17,95553	#DIV/0!

E

Semana 2
Teste
Piloto (TP)
01/Set

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Pilhilha 1 - Dados de luminosidade e temperatura														OBS.:
					Vaso 1 (V1) Duto com hellestato			Vaso 2 (V2) Duto sem hellestato			Vaso 3 (V3) Controle			Sensores Externos					
					Zona 1 - central (S3) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 4 - central (S5) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 6 - centro (S7) Ilum (lux) Temp. (°C)	Sob luz direta (S8) Ilum (lux) Temp. (°C)	Na Sombra Ilum (lux) Temp. (°C)							
6h					0	17,76	0	16,99	0	17,85	0	17,76	0	17,379	0	17,379			
6h15					0	17,76	0	16,99	0	16,99	0	16,99	0	17,665	0	17,284			
6h30					0	17,76	0	16,99	0	16,99	0	16,99	0	17,85	21,5	17,189			
6h45					0	17,76	0	16,99	0	16,99	0	16,99	0	17,85	24,76	17,094			
7h					0	17,76	0	16,99	0	16,99	0	16,99	0	17,85	925,7	17,189			
7h15					10,8	17,76	0	17,76	0	16,99	0	17,76	0	17,665	1.636,10	17,884			
7h30					53,8	17,76	0	17,76	0	16,99	21,5	17,76	0	17,665	4.994,50	17,284			
7h45					107,6	17,76	21,5	17,76	0	16,99	53,8	17,76	0	17,665	10.333,40	17,665			
8h					43,1	17,665	0	17,76	0	16,99	21,5	17,76	0	17,665	4.477,80	17,475			
8h15					118,4	17,76	21,5	17,76	0	16,99	53,8	17,76	0	17,665	9.300,10	18,045			
8h30					344,4	17,76	75,3	17,76	0	16,99	161,5	17,76	0	17,665	26.178,00	19,187			
8h45					419,8	17,76	118,4	17,85	0	16,99	193,8	17,85	0	17,665	49.600,30	21,855			
9h					473,6	17,76	129,2	17,85	0	17,094	215,3	17,85	0	17,76	49.600,30	21,887			
9h15					107,6	17,85	21,5	17,85	0	17,094	53,8	17,95	0	17,76	39.955,80	21,569			
9h30					452,1	17,95	129,2	17,95	0	17,189	215,3	17,95	0	17,85	49.600,30	24,835			
9h45					516,7	18,045	129,2	18,045	0	17,284	247,6	18,14	0	17,95	42.711,40	22,429			
10h					516,7	18,14	129,2	18,14	0	17,379	236,8	18,236	0	18,045	41.333,60	21,664			
10h15					559,7	18,236	139,9	18,236	0	17,57	258,3	18,331	0	18,14	39.955,80	21,473			
10h30					667,4	18,331	172,2	18,331	0	17,665	312,2	18,426	0	18,14	55.111,50	22,142			
10h45					618,5	18,521	183	18,521	10,8	17,76	290,6	18,521	0	18,236	98.689,50	25,708			
11h					667,4	18,616	193,8	18,616	0	17,95	322,9	18,711	0	18,331	66.133,80	25,61			
11h15					742,7	18,806	193,8	18,806	0	18,14	355,2	18,901	0	18,521	63.378,20	24,641			
11h30					753,5	18,996	204,5	18,996	0	18,331	352,2	18,996	0	18,616	63.378,20	24,738			
11h45					796,5	19,187	204,5	19,187	0	18,521	376,7	19,187	0	18,806	55.111,50	24,158			
12h					538,2	19,377	139,9	19,282	0	18,616	236,8	19,282	0	18,901	38.578,00	24,448			
12h15					355,2	19,472	96,9	19,472	0	18,806	172,2	19,472	0	18,996	31.689,10	23,196			
12h30					398,3	19,567	107,6	19,567	0	18,901	193,8	19,567	0	19,092	28.933,50	22,142			
12h45					258,3	19,662	53,8	19,662	0	18,501	118,4	19,567	0	19,092	18.600,10	21,887			
13h					352,2	19,662	86,1	19,662	0	18,996	161,5	19,567	0	19,187	24.800,20	21,473			
13h15					624,3	19,662	161,5	19,662	0	18,996	290,6	19,567	0	19,187	42.711,40	23,196			
13h30					807,3	19,758	215,3	19,758	0	18,996	376,7	19,567	0	19,187	63.378,20	24,351			
13h45					570,5	19,758	150,7	19,758	0	19,092	269,1	19,662	0	19,282	42.711,40	23,966			
14h					172,2	19,853	43,1	19,853	0	19,092	86,1	19,662	0	19,282	17.222,30	22,142			
14h15					279,9	19,758	64,6	19,853	0	19,092	129,2	19,662	0	19,282	20.666,80	21,664			
14h30					312,2	19,853	64,6	19,853	0	19,092	139,9	19,662	0	19,282	23.422,40	21,951			
14h45					484,4	19,853	118,4	19,853	0	19,092	215,3	19,662	0	19,282	34.444,70	23,1			
15h					301,4	19,853	75,3	19,853	0	19,092	139,9	19,662	0	19,282	22.044,60	22,333			
15h15					215,3	19,853	53,8	19,853	0	19,092	86,1	19,662	0	19,377	14.466,80	21,378			
15h30					183	19,853	43,1	19,853	0	19,092	86,1	19,662	0	19,377	16.533,40	21,282			
15h45					183	19,758	43,1	19,853	0	19,092	75,3	19,567	0	19,377	12.400,10	21,091			
16h					279,9	19,758	64,6	19,758	0	18,996	129,2	19,567	0	19,377	17.911,20	21,378			
16h15					236,8	19,758	53,8	19,758	0	18,996	107,6	19,567	0	19,282	15.844,50	20,805			
16h30					118,4	19,758	21,5	19,758	0	18,996	53,8	19,567	0	19,282	8.611,20	20,234			
16h45					96,9	19,662	21,5	19,662	0	18,901	43,1	19,472	0	19,282	7.233,40	19,758			
17h					64,6	19,567	10,8	19,662	0	18,901	32,3	19,472	0	19,282	5.338,90	19,377			
17h15					53,8	19,567	10,8	19,567	0	18,806	21,5	19,472	0	19,187	4.133,40	19,187			
17h30					32,3	19,472	0	19,567	0	18,711	10,8	19,377	0	19,187	2.497,20	18,996			
17h45					10,8	19,472	0	19,472	0	18,711	0	19,377	0	19,187	1.463,90	18,711			
18h					0	19,377	0	19,377	0	18,616	0	19,282	0	19,092	366	18,521			
18h15					0	19,282	0	19,377	0	18,521	0	19,282	0	19,092	53,8	18,426			
18h30					0	19,282	0	19,282	0	18,521	0	19,187	0	19,092	0	18,14			
18h45					0	19,187	0	19,282	0	18,426	0	19,187	0	18,996	0	18,14			
19h					0	19,092	0	19,187	0	18,426	0	19,092	0	18,996	0	18,045			
Média diária					251,0849	18,90866	71,08491	18,92658	0,203774	18,17987	130,5868	19,092	0	18,62328	24221,3472	20,82277	#DIV/0!	#DIV/0!	

02/Set
Teste
Piloto (TP)

E

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar* (%)	Previsão Temperat ura (máx/ mín)* (°C)	Tipo de céu**	Hora	Pilhilha 1 - Dados de luminância e temperatura												Sensores Externos		OBS.:	
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato			Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato			Vaso 3 (V3) Controle			Sensores Externos						
						Zona 1 - central (S3) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 4 - central (S5) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 6 - centro (S7) Ilum (lux) Temp. (°C)	Sob luz direta (S8) Ilum (lux) Temp. (°C)	Na Sombra Ilum (lux) Temp. (°C)								
					6h	0	17,76	0	17,855	0	16,999	0	17,855	0	17,76	0	16,427				
					6h15	0	17,76	0	17,855	0	16,999	0	17,855	0	17,665	0	16,427				
					6h30	0	17,76	0	17,855	0	16,903	0	17,76	0	17,665	0	21,5	16,427			
					6h45	0	17,665	0	17,855	0	16,903	0	17,76	0	17,665	269,1	16,523				
					7h	0	17,665	0	17,76	0	16,903	0	17,76	0	17,665	893,4	16,523				
					7h15	0	17,665	0	17,76	0	16,903	0	17,76	0	17,665	2.927,80	16,523				
					7h30	10,8	17,665	0	17,76	0	16,808	10,8	17,76	0	17,57	3.100,00	16,523				
					7h45	21,5	17,665	0	17,76	0	16,808	10,8	17,665	0	17,57	2.927,80	16,523				
					8h	21,5	17,57	0	17,76	0	16,808	10,8	17,665	0	17,57	6.200,00	16,713				
					8h15	43,1	17,57	0	17,665	0	16,808	32,3	17,665	0	17,57	6.200,00	16,713				
					8h30	64,6	17,57	0	17,665	0	16,808	43,1	17,665	0	17,475	8.266,70	16,903				
					8h45	64,6	17,57	0	17,665	0	16,808	53,8	17,665	0	17,475	7.577,80	16,808				
					9h	75,3	17,57	0	17,665	0	16,808	53,8	17,665	0	17,475	9.644,50	16,903				
					9h15	139,9	17,57	10,8	17,665	0	16,808	96,9	17,57	0	17,475	13.777,90	17,475				
					9h30	53,8	17,57	0	17,665	0	16,808	32,3	17,665	0	17,475	5.511,10	16,903				
					9h45	75,3	17,57	0	17,665	0	16,808	53,8	17,57	0	17,475	7.577,80	16,808				
					10h	75,3	17,57	0	17,665	0	16,808	53,8	17,57	0	17,475	6.544,50	16,713				
					10h15	107,6	17,57	0	17,665	0	16,808	75,3	17,57	0	17,475	14.466,80	16,903				
					10h30	172,2	17,57	21,5	17,665	0	16,808	118,4	17,57	0	17,475	21.355,70	17,475				
					10h45	215,3	17,57	21,5	17,665	0	16,808	139,9	17,57	0	17,475	20.666,80	17,95				
					11h	258,3	17,57	32,3	17,665	0	16,808	161,5	17,57	0	17,475	24.800,20	18,14				
					11h15	312,2	17,57	43,1	17,665	0	16,808	204,5	17,665	0	17,475	28.933,50	18,14				
					11h30	215,3	17,665	21,5	17,665	0	16,808	129,2	17,665	0	17,475	19.289,00	18,045				
					11h45	199,8	17,665	21,5	17,665	0	16,903	118,4	17,665	0	17,475	16.533,40	17,665				
					12h	258,3	17,665	32,3	17,665	0	16,903	161,5	17,665	0	17,475	26.178,00	17,95				
					12h15	269,1	17,665	32,3	17,76	0	16,903	172,2	17,665	0	17,57	26.178,00	18,236				
					12h30	226	17,665	21,5	17,76	0	16,903	139,9	17,76	0	17,57	22.044,60	18,045				
					12h45	366	17,76	43,1	17,76	0	16,999	215,3	17,76	0	17,57	37.200,20	18,521				
					13h	398,3	17,76	53,8	17,76	0	16,999	226	17,76	0	17,57	34.444,70	18,711				
					13h15	355,2	17,76	53,8	17,76	0	16,999	199,8	17,76	0	17,57	34.444,70	18,616				
					13h30	462,9	17,76	64,6	17,855	0	17,094	258,3	17,76	0	17,57	39.955,80	18,996				
					13h45	549	17,855	86,1	17,855	0	17,094	279,9	17,855	0	17,665	42.711,40	19,187				
					14h	398,3	17,855	64,6	17,855	0	17,094	215,3	17,855	0	17,665	30.311,30	18,901				
					14h15	441,3	17,95	75,3	17,95	0	17,189	226	17,95	0	17,76	34.444,70	19,092				
					14h30	215,3	17,95	32,3	17,95	0	17,189	118,4	17,95	0	17,76	17.222,30	18,045				
					14h45	236,8	17,95	32,3	17,95	0	17,189	129,2	17,95	0	17,76	18.600,10	17,95				
					15h	172,2	17,95	21,5	17,95	0	17,189	96,9	17,95	0	17,76	15.155,70	17,379				
					15h15	139,9	17,95	10,8	17,95	0	17,189	75,3	17,95	0	17,76	12.400,10	17,284				
					15h30	86,1	17,95	10,8	17,95	0	17,189	43,1	17,95	0	17,76	7.577,80	17,189				
					15h45	129,2	17,855	10,8	17,95	0	17,189	64,6	17,95	0	17,76	11.711,20	17,189				
					16h	118,4	17,855	10,8	17,95	0	17,094	64,6	17,855	0	17,665	12.400,10	17,284				
					16h15	226	17,855	32,3	17,95	0	17,094	118,4	17,855	0	17,665	20.666,80	17,57				
					16h30	129,2	17,855	10,8	17,855	0	17,094	64,6	17,855	0	17,665	10.677,80	17,284				
					16h45	64,6	17,855	0	17,855	0	17,094	32,3	17,855	0	17,665	6.200,00	17,094				
					17h	96,9	17,76	10,8	17,855	0	17,094	43,1	17,76	0	17,665	7.577,80	17,094				
					17h15	64,6	17,76	0	17,855	0	16,999	32,3	17,76	0	17,57	6.544,50	16,999				
					17h30	53,8	17,76	0	17,855	0	16,999	32,3	17,76	0	17,57	5.511,10	16,903				
					17h45	32,3	17,76	0	17,76	0	16,999	10,8	17,76	0	17,57	3.961,10	16,713				
					18h	0	17,665	0	17,76	0	16,903	0	17,76	0	17,57	775	16,427				
					18h15	0	17,665	0	17,76	0	16,903	0	17,665	0	17,57	204,5	16,237				
					18h30	0	17,665	0	17,665	0	16,903	0	17,665	0	17,475	0	16,046				
					18h45	0	17,57	0	17,665	0	16,808	0	17,57	0	17,475	0	15,951				
					19h	0	17,57	0	17,57	0	16,808	0	17,57	0	17,379	0	15,855				
					Média diária	143,5868	17,7134	16,6566	17,7792	0	16,95004	83,27358	17,74208	0	17,58432	13354,0075	17,29643				

E

Semana 2
Teste
Piloto (TP)
03/Set

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																	
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura											
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 (V3) Catedral		Sensores Externos		OBS:			
Zona 1 - central (S3)		Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)		Zona 4 - central (S5)		Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)		Zona 6 - central (S7)		Sob Luz direta (S8)			Na Sombra		
Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)		
6h	0	15,378	0	15,473	0	14,613	0	15,473	0	15,187	0	14,23	0	13,75			
6h15	0	15,378	0	15,473	0	14,613	0	15,378	0	15,187	0	14,23	0	13,75			
6h30	0	15,378	0	15,473	0	14,613	0	15,378	0	15,091	0	14,134	53,8	13,75			
6h45	0	15,282	0	15,473	0	14,613	0	15,378	0	15,091	21,5	14,23	419,8	13,846			
7h	0	15,282	0	15,378	0	14,517	0	15,282	0	15,091	64,6	14,134	742,7	13,846			
7h15	0	15,282	0	15,378	0	14,517	0	15,282	0	15,091	118,4	14,23	1.550,00	13,942			
7h30	21,5	15,282	0	15,378	0	14,517	21,5	15,282	0	14,996	549	14,134	6.544,50	14,038			
7h45	10,8	15,187	0	15,378	0	14,517	10,8	15,282	0	14,996	398,3	14,23	4.994,50	14,038			
8h	32,3	15,187	0	15,378	0	14,421	32,3	15,187	0	14,996	721,2	14,325	9.644,50	14,325			
8h15	21,5	15,187	0	15,282	0	14,421	21,5	15,282	0	14,996	484,4	14,421	620,00	14,517			
8h30	118,4	15,187	10,8	15,282	0	14,421	107,6	15,282	0	14,996	1.722,20	14,613	2.617,80	15,282			
8h45	118,4	15,187	10,8	15,378	0	14,517	107,6	15,282	0	15,091	2.066,70	15,187	23.422,40	16,713			
9h	107,6	15,282	10,8	15,378	0	14,517	96,9	15,282	0	15,091	1.463,90	15,282	20.666,80	16,332			
9h15	139,9	15,282	10,8	15,378	0	14,613	129,2	15,378	0	15,187	2.152,80	15,664	30.311,30	17,855			
9h30	258,3	15,378	43,1	15,378	0	14,709	226	15,473	0	15,282	3.616,70	16,141	49.600,30	18,806			
9h45	290,6	15,473	53,8	15,473	0	14,9	236,8	15,569	0	15,378	4.994,50	16,618	85.422,80	20,519			
10h	53,8	15,569	21,5	15,664	0	14,996	43,1	15,664	0	15,569	2.927,80	17,379	99.200,70	25,222			
10h15	204,5	15,855	53,8	15,855	0	15,282	150,7	15,855	0	15,855	2.411,10	17,855	60.622,60	27,665			
10h45	753,5	16,332	161,5	16,332	0	15,76	570,5	16,332	0	16,332	3.961,10	18,236	60.622,60	26,195			
11h	312,2	16,523	107,6	16,618	0	15,951	139,9	16,618	0	16,523	3.100,00	18,14	55.111,50	27,961			
11h15	107,6	16,808	43,1	16,903	0	16,237	53,8	16,808	0	16,808	1.259,40	18,14	165.334,40	32,188			
11h30	161,5	17,189	107,6	17,189	53,8	16,618	86,1	17,189	32,3	17,189	2.755,60	18,14	165.334,40	32,188			
11h45	452,1	17,57	204,5	17,57	75,3	17,094	322,9	17,57	43,1	17,665	3.100,00	18,331	220.445,90	34,374			
12h	193,8	18,045	86,1	18,045	0	17,475	75,3	18,045	0	18,045	1.808,30	18,045	57.867,00	29,752			
12h15	742,7	18,426	236,8	18,426	53,8	17,855	549	18,426	21,5	18,426	1.980,60	17,855	165.334,40	33,118			
12h30	226	18,901	172,2	18,996	86,9	18,426	107,6	18,901	43,1	18,901	1.550,00	17,76	220.445,90	35,864			
12h45	678,1	19,472	172,2	19,472	86,1	18,996	538,2	19,377	43,1	19,472	1.377,80	17,665	209.423,60	36,187			
13h	64,6	19,948	21,5	19,948	0	19,472	43,1	19,948	0	20,043	495,1	17,665	31.689,10	33,848			
13h15	107,6	20,424	64,6	20,424	75,3	19,948	86,1	20,329	43,1	20,424	1.108,70	17,76	209.423,60	35,115			
13h30	96,9	20,901	53,8	20,901	53,8	20,519	86,1	20,805	43,1	20,901	1.173,30	17,76	209.423,60	35,542			
13h45	86,1	21,473	43,1	21,473	32,3	20,996	75,3	21,187	21,5	21,378	990,3	17,665	198.401,30	35,542			
14h	75,3	21,951	32,3	21,855	10,8	21,472	64,6	21,569	10,8	21,76	979,5	17,665	198.401,30	35,009			
14h15	75,3	22,333	32,3	22,238	10,8	21,855	64,6	21,855	0	22,046	936,5	17,665	187.379,00	33,535			
14h30	64,6	22,621	21,5	22,525	0	22,142	53,8	22,046	0	22,238	882,6	17,665	187.379,00	33,326			
14h45	64,6	22,812	21,5	22,812	0	22,593	53,8	22,333	0	22,429	893,4	17,57	176.356,70	31,778			
15h	53,8	22,908	10,8	22,812	0	22,429	43,1	22,429	0	22,525	656,6	17,57	110.223,00	31,166			
15h15	53,8	22,908	21,5	22,908	0	22,429	43,1	22,429	0	22,621	753,5	17,57	159.823,30	31,778			
15h30	43,1	22,908	10,8	22,812	0	22,333	32,3	22,429	0	22,525	645,8	17,475	137.778,70	31,166			
15h45	43,1	22,717	10,8	22,621	0	22,046	32,3	22,333	0	22,429	516,7	17,379	121.245,20	30,255			
16h	21,5	22,429	0	22,333	0	21,76	21,5	22,238	0	22,138	430,6	17,284	104.711,80	28,754			
16h15	10,8	22,046	0	21,951	0	21,378	21,5	21,951	0	21,855	376,7	17,189	88.178,40	27,37			
16h30	10,8	21,664	0	21,664	0	20,901	10,8	21,569	0	21,473	333,7	17,094	9.644,50	19,948			
16h45	10,8	21,282	0	21,282	0	20,519	10,8	21,187	0	21,187	312,2	16,999	7.233,40	18,426			
17h	0	20,901	0	20,901	0	20,138	10,8	20,901	0	20,805	312,2	16,999	5.511,40	17,855			
17h15	0	20,519	0	20,519	0	19,758	0	20,519	0	20,424	279,9	16,808	4.822,30	17,284			
17h30	0	20,138	0	20,138	0	19,377	0	20,234	0	20,138	236,8	16,713	3.961,10	16,713			
17h45	0	19,853	0	19,948	0	19,092	0	19,948	0	19,853	172,2	16,523	2.927,80	16,237			
18h	0	19,567	0	19,662	0	18,806	0	19,662	0	19,567	86,1	16,237	1.636,10	15,76			
18h15	0	19,282	0	19,377	0	18,521	0	19,377	0	19,282	43,1	16,046	430,6	15,187			
18h30	0	19,092	0	19,092	0	18,236	0	18,236	0	18,996	32,3	15,855	21,5	14,613			
18h45	0	18,806	0	18,806	0	18,045	0	18,901	0	18,806	0	15,664	0	14,325			
19h	0	18,616	0	18,616	0	17,76	0	18,711	0	18,521	0	15,378	0	13,846			
Média diária	114,5434	18,48192	35,594906	18,51420	10,3566	17,84083	85,29811	18,42402	5,690566	18,36108	11,614962	16,55655	72610,62453	23,42981	#DIV/0!		

Semana 3

Teste Piloto (TP)

04/set

P

Coleta em: 24/09/18

Turno coleta: noite

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ hora mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												Sensores Externos		OBS:
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato			Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato			Vaso 3 (V3) Cisterna			Sob Sombra			Temp. (°C)		
Zona 1 - central (S3)			Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)			Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)			Zona 4 - central (S5)			Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)			Zona 6 - central (S7)			Temp. (°C)		
Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	
6h	0	13,654	0	13,75	0	12,787	0	13,942	0	13,654	0	10,161	0	8,779						
6h15	0	13,558	0	13,654	0	12,69	0	13,942	0	13,558	0	10,161	0	8,879						
6h30	0	13,461	0	13,654	0	12,594	0	13,846	0	13,461	0	10,455	0	8,779						
6h45	0	13,461	0	13,558	0	12,594	0	13,846	0	13,461	0	10,259	0	8,779						
7h	0	13,365	0	13,461	0	12,497	0	13,75	0	13,365	0	10,259	0	9,176						
7h15	0	13,269	0	13,461	0	12,401	0	13,654	0	13,365	0	11,139	0	11,625						
7h30	0	13,269	0	13,461	0	12,401	0	13,654	0	13,365	0	11,528	0	12,401						
7h45	10,8	13,269	0	13,461	0	12,401	10,8	13,654	0	13,365	0	11,528	0	12,401						
8h	10,8	13,269	0	13,461	0	12,497	10,8	13,654	0	13,365	0	12,497	10,8	13,558						
8h15	32,3	13,269	0	13,461	0	12,497	32,3	13,654	0	13,365	0	12,497	32,3	14,421						
8h30	75,3	13,365	0	13,461	0	12,594	64,6	13,75	0	13,461	0	13,173	37,200,20	16,237						
8h45	86,1	13,461	0	13,461	0	12,787	86,1	13,846	0	13,558	0	13,75	46,844,80	16,999						
9h	64,6	13,558	0	13,558	0	12,98	64,6	13,942	0	13,75	0	13,75	28,933,50	17,094						
9h15	43,1	13,654	0	13,654	0	13,076	43,1	14,038	0	13,846	0	14,613	42,711,40	20,805						
9h30	43,1	13,846	0	13,942	0	13,269	53,8	14,23	0	14,134	0	15,569	121,245,20	26,977						
9h45	32,3	14,038	0	14,134	0	13,558	43,1	14,421	0	14,421	0	15,855	132,267,50	30,356						
10h	43,1	14,517	0	14,517	0	14,038	32,3	14,804	0	14,804	0	16,618	99,200,70	32,086						
10h15	64,6	14,9	0	14,996	0	14,421	75,3	15,187	0	15,187	0	16,713	49,600,30	24,448						
10h30	183	15,282	21,5	15,378	0	14,804	193,8	15,473	0	15,473	0	16,903	176,356,70	25,125						
10h45	75,3	15,664	10,8	15,76	0	15,187	86,1	15,664	0	15,76	0	16,808	187,379,00	28,754						
11h	193,8	16,046	21,5	16,141	0	15,569	226	16,046	0	16,046	0	16,903	209,423,60	27,567						
11h15	75,3	16,523	10,8	16,523	0	16,046	129,2	16,427	0	16,427	0	16,903	198,401,30	32,188						
11h30	333,7	16,903	32,3	16,903	0	16,427	396,3	16,808	0	16,903	0	16,903	231,468,20	31,166						
11h45	75,3	17,379	21,5	17,379	0	16,903	161,5	17,284	0	17,284	0	16,808	209,423,60	35,009						
12h	344,4	17,76	43,1	17,76	0	17,284	419,8	17,665	0	17,76	0	16,903	170,845,60	33,014						
12h15	118,4	18,236	0	18,236	0	17,76	129,2	18,045	0	18,14	0	16,903	74,400,50	26,097						
12h30	86,1	18,616	21,5	18,616	0	18,336	193,8	18,426	0	18,521	0	17,189	209,423,60	34,903						
12h45	398,3	19,187	53,8	19,187	0	18,806	484,4	18,996	0	18,996	0	17,475	220,445,90	35,009						
13h	193,8	19,567	32,3	19,567	0	19,092	279,9	19,282	0	19,377	0	17,57	231,468,20	33,535						
13h15	86,1	20,043	32,3	20,043	0	19,662	183	19,662	10,8	19,758	0	17,284	209,423,60	35,328						
13h30	236,8	20,615	32,3	20,615	0	20,234	256,3	20,138	10,8	20,234	0	16,999	198,401,30	36,946						
13h45	64,6	21,187	21,5	21,187	0	20,805	118,4	20,71	10,8	20,805	0	16,903	198,401,30	36,837						
14h	64,6	21,855	21,5	21,855	0	21,378	118,4	21,187	10,8	21,378	0	16,903	198,401,30	37,055						
14h15	53,8	22,333	21,5	22,333	0	21,951	96,9	21,664	0	21,855	0	17,189	187,379,00	36,187						
14h30	53,8	22,717	21,5	22,717	0	22,333	86,1	22,046	0	22,238	0	16,808	187,379,00	35,009						
14h45	43,1	23,1	10,8	23,1	0	22,717	75,3	22,333	0	22,525	0	17,094	176,356,70	35,756						
15h	43,1	23,388	10,8	23,292	0	23,004	75,3	22,525	0	22,717	0	17,855	165,334,40	35,328						
15h15	32,3	23,484	10,8	23,388	0	23,1	53,8	21,664	0	23,1	0	17,95	154,312,10	34,479						
15h30	32,3	23,484	10,8	23,388	0	23,1	53,8	22,717	0	22,812	0	17,855	148,801,00	33,43						
15h45	21,5	23,388	0	23,196	0	22,812	43,1	22,621	0	22,717	0	17,76	126,796,40	30,054						
16h	10,8	22,621	0	22,908	0	22,525	32,3	22,333	0	22,429	0	17,95	110,223,00	30,154						
16h15	0	22,621	0	22,525	0	22,046	32,3	22,046	0	22,046	0	17,95	99,200,70	27,961						
16h30	43,1	22,238	0	22,142	0	21,569	75,3	21,664	0	21,664	0	17,95	14,466,80	22,142						
16h45	0	21,76	0	21,76	0	21,091	10,8	21,282	0	21,187	0	18,045	7,577,80	20,138						
17h	32,3	21,378	0	21,282	0	20,71	43,1	20,901	0	20,805	0	17,76	6,200,00	19,662						
17h15	0	20,996	0	20,996	0	20,329	0	20,615	0	20,519	0	17,475	3,788,90	18,806						
17h30	0	20,615	0	20,615	0	19,853	0	20,234	0	20,138	0	17,379	2,927,80	18,045						
17h45	0	20,234	0	20,234	0	19,567	0	19,853	0	19,853	0	17,189	2,238,90	17,284						
18h	0	19,948	0	19,948	0	19,187	0	19,567	0	19,472	0	16,903	1,377,80	16,713						
18h15	0	19,662	0	19,662	0	18,901	0	19,282	0	19,187	0	16,523	441,3	16,237						
18h30	0	19,282	0	19,377	0	18,521	0	18,996	0	18,806	0	16,237	21,5	15,76						
18h45	0	18,996	0	19,092	0	18,236	0	18,711	0	18,616	0	15,855	0	15,091						
19h	0	18,711	0	18,806	0	17,95	0	18,426	0	18,331	0	15,569	0	14,709						
Média diária	64,18302	17,95066	8,7333962	17,98143	0	17,35428	86,32075	17,81253	0,815094	17,75015	2,0869868	15,66415	9,3814,80943	24,01958	#DIV/0!	#DIV/0!				

C

Semana 3
Teste
Piloto (TP)

05/set

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ hora mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Pilhula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												Sensores Externos		OBS:						
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato						Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato						Vaso 3 (V3) Catedral						Sob Luz direta (S8)		
						Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)
					6h	0	13,558	0	13,654	0	12,69	0	13,75	0	13,558	0	10,161	0	8,481							
					6h15	0	13,461	0	13,558	0	12,69	0	13,75	0	13,461	0	10,063	0	8,182							
					6h30	0	13,365	0	13,461	0	12,594	0	13,654	0	13,365	0	9,965	0	8,282							
					6h45	0	13,269	0	13,365	0	12,497	0	13,558	0	13,269	0	9,866	0	8,382							
					7h	0	13,173	0	13,269	0	12,401	0	13,461	0	13,173	0	9,767	0	8,481							
					7h15	0	13,076	0	13,173	0	12,304	0	13,365	0	13,076	0	9,668	0	8,580							
					7h45	0	13,076	0	13,269	0	12,304	0	13,365	0	13,076	0	9,569	0	8,679							
					8h	0	13,076	0	13,173	0	12,304	0	13,365	0	13,076	0	9,469	0	8,778							
					8h15	0	13,173	0	13,269	0	12,401	0	13,461	0	13,173	0	9,368	0	8,877							
					8h30	0	13,173	0	13,269	0	12,594	0	13,461	0	13,173	0	9,267	0	8,976							
					8h45	10,8	13,269	0	13,269	0	12,69	0	13,558	0	13,269	0	9,166	0	9,075							
					9h	10,8	13,461	0	13,461	0	12,883	0	13,654	0	13,461	0	9,065	0	9,174							
					9h15	21,5	13,654	0	13,75	0	13,269	21,5	13,942	0	13,942	0	8,964	0	9,273							
					9h30	21,5	14,038	0	14,134	0	13,654	32,3	14,421	0	14,421	0	8,863	0	9,372							
					9h45	32,3	14,517	10,8	14,517	0	14,134	32,3	14,804	0	14,996	0	8,762	0	9,471							
					10h	43,1	14,996	10,8	14,996	0	14,613	43,1	15,282	0	15,282	0	8,661	0	9,570							
					10h15	53,8	15,569	21,5	15,569	0	15,187	43,1	15,76	0	15,855	0	8,560	0	9,669							
					10h30	53,8	16,141	32,3	16,237	0	15,76	53,8	16,237	0	16,427	0	8,459	0	9,768							
					10h45	75,3	16,808	43,1	16,903	0	16,427	64,6	16,808	10,8	16,999	0	8,358	0	9,867							
					11h	86,1	17,379	53,8	17,475	0	17,094	75,3	17,379	10,8	17,475	0	8,257	0	9,966							
					11h15	96,9	17,95	64,6	18,045	0	17,57	96,9	17,855	21,5	18,045	0	8,156	0	10,065							
					11h30	118,4	18,521	64,6	18,521	10,8	18,14	118,4	18,426	21,5	18,616	0	8,055	0	10,164							
					11h45	129,2	19,092	86,1	19,092	10,8	18,711	107,6	18,996	21,5	19,187	0	7,954	0	10,263							
					12h	129,2	19,662	86,1	19,567	10,8	19,282	96,9	19,472	21,5	19,758	0	7,853	0	10,362							
					12h15	129,2	20,234	96,9	20,138	10,8	19,853	96,9	20,043	21,5	20,329	0	7,752	0	10,461							
					12h30	129,2	20,805	96,9	20,805	10,8	20,424	96,9	20,71	21,5	20,901	0	7,651	0	10,560							
					12h45	118,4	21,473	96,9	21,378	21,5	21,091	86,1	21,378	32,3	21,569	0	7,550	0	10,659							
					13h	107,6	22,046	86,1	21,951	21,5	21,664	86,1	21,855	32,3	22,142	0	7,449	0	10,758							
					13h15	96,9	22,621	75,3	22,525	21,5	22,238	75,3	22,525	32,3	22,717	0	7,348	0	10,857							
					13h30	86,1	23,1	64,6	23,1	21,5	22,812	75,3	23,004	32,3	23,196	0	7,247	0	10,956							
					13h45	75,3	23,677	43,1	23,581	21,5	23,292	64,6	23,484	21,5	23,677	0	7,146	0	11,055							
					14h	64,6	24,158	32,3	24,062	21,5	23,773	64,6	23,869	10,8	24,158	0	7,045	0	11,154							
					14h15	64,6	24,641	32,3	24,545	10,8	24,255	53,8	24,255	0	24,545	0	6,944	0	11,253							
					14h30	53,8	25,028	21,5	24,931	0	24,641	53,8	24,641	0	24,835	0	6,843	0	11,352							
					14h45	43,1	25,319	21,5	25,222	0	24,931	43,1	24,835	0	25,125	0	6,742	0	11,451							
					15h	43,1	25,61	10,8	25,61	0	25,222	43,1	25,125	0	25,319	0	6,641	0	11,550							
					15h15	43,1	25,902	10,8	25,805	0	25,416	43,1	25,319	0	25,513	0	6,540	0	11,649							
					15h30	43,1	25,902	10,8	25,708	0	25,319	32,3	25,319	0	25,513	0	6,439	0	11,748							
					15h45	32,3	25,61	10,8	25,513	0	25,125	32,3	25,222	0	25,319	0	6,338	0	11,847							
					16h	21,5	25,319	0	25,222	0	24,738	21,5	24,931	0	25,028	0	6,237	0	11,946							
					16h15	21,5	24,931	0	24,835	0	24,255	21,5	24,641	0	24,641	0	6,136	0	12,045							
					16h30	10,8	24,448	0	24,351	0	23,773	10,8	24,255	0	24,255	0	6,035	0	12,144							
					16h45	10,8	24,062	0	23,966	0	23,292	10,8	23,869	0	23,869	0	5,934	0	12,243							
					17h	10,8	23,581	0	23,484	0	22,812	10,8	23,484	0	23,484	0	5,833	0	12,342							
					17h15	10,8	23,196	0	23,1	0	22,333	10,8	23,1	0	23,1	0	5,732	0	12,441							
					17h30	0	22,717	0	22,717	0	21,951	0	22,717	0	22,717	0	5,631	0	12,540							
					17h45	0	22,333	0	22,333	0	21,569	0	22,429	0	22,429	0	5,530	0	12,639							
					18h	0	22,046	0	22,046	0	21,282	0	22,142	0	22,142	0	5,429	0	12,738							
					18h15	0	21,76	0	21,76	0	20,996	0	21,951	0	21,855	0	5,328	0	12,837							
					18h30	0	21,569	0	21,569	0	20,71	0	21,664	0	21,569	0	5,227	0	12,936							
					18h45	0	21,282	0	21,282	0	20,424	0	21,378	0	21,378	0	5,126	0	13,035							
					19h	0	20,996	0	20,996	0	20,234	0	21,187	0	21,187	0	5,025	0	13,134							
					Média diária	39,81321	19,34498	22,34528	19,34128	5,656604	18,77211	35,3434	19,32983	5,888679	19,3587	1,275658	16,21406	9,726374528	26,51904							

C

Semana 3
Teste
Piloto (TP)
06/set

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ hora mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												OBS:		
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato				Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato				Vaso 3 (V3) Canteiro					Sensores Externos	
						Zona 1 - central (S3) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 4 - central (S5) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 6 - central (S7) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 6 - central (S7) Illum (lux) Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8) Temp. (°C)	Na Sombra Temp. (°C)						
6h	0	14,996	0	15,091	0	14,038	0	14,987	0	14,9	0	11,334	0	9,669						
6h15	0	14,9	0	14,986	0	14,038	0	15,091	0	14,804	0	11,431	0	9,866						
6h30	0	14,804	0	14,9	0	13,942	0	14,996	0	14,709	5,38	11,236	4,198	9,571						
6h45	0	14,709	0	14,804	0	13,846	0	14,996	0	14,613	1,83	11,139	1,377,80	9,472						
7h	0	14,613	0	14,709	0	13,75	0	14,9	0	14,517	3,37	11,139	2,325,00	9,768						
7h15	0	14,517	0	14,613	0	13,654	0	14,804	0	14,517	1,130,20	11,625	4,305,60	10,651						
7h30	0	14,421	0	14,517	0	13,554	0	14,709	0	14,421	1,894,50	12,207	5,166,70	11,431						
7h45	0	14,421	0	14,613	0	13,654	0	14,709	0	14,421	2,411,10	13,173	6,200,00	12,69						
8h	0	14,421	0	14,613	0	13,654	0	14,709	0	14,517	2,755,60	14,23	26,178,00	19,377						
8h15	0	14,517	0	14,613	0	13,75	0	14,804	0	14,517	3,100,00	15,282	37,200,20	24,738						
8h30	10,8	14,613	0	14,613	0	13,846	10,8	14,804	0	14,613	3,272,20	16,237	49,600,30	27,272						
8h45	10,8	14,613	0	14,709	0	14,038	10,8	14,996	0	14,709	3,444,50	16,903	60,622,60	30,659						
9h	10,8	14,804	0	14,804	0	14,23	10,8	15,091	0	14,996	3,444,50	17,475	74,400,50	31,268						
9h15	21,5	15,091	0	15,091	0	14,517	21,5	15,378	0	15,378	3,272,20	17,855	88,178,40	31,778						
9h30	21,5	15,473	0	15,473	0	14,9	21,5	15,855	0	15,951	3,272,20	18,14	99,200,70	33,848						
10h	32,3	15,855	10,8	15,951	0	15,378	32,3	16,332	0	16,523	3,100,00	18,331	115,734,10	33,743						
10h15	43,1	16,903	10,8	16,427	0	15,951	43,1	17,284	0	17,475	2,755,60	18,521	143,289,80	35,542						
10h30	43,1	17,475	21,5	17,57	0	16,999	43,1	17,76	0	17,855	2,497,20	18,711	154,312,10	35,435						
10h45	53,8	18,046	32,3	18,14	0	17,57	53,8	18,236	0	18,331	2,238,90	18,616	170,845,60	36,187						
11h	64,6	18,616	32,3	18,616	10,8	18,14	64,6	18,711	10,8	18,901	2,066,70	18,616	176,356,70	38,157						
11h15	75,3	19,187	43,1	19,187	10,8	18,806	75,3	19,282	10,8	19,472	1,636,10	18,521	187,379,00	38,157						
11h30	86,1	19,758	53,8	19,758	10,8	19,377	86,1	19,853	21,5	20,043	1,377,80	18,426	187,379,00	38,938						
11h45	96,9	20,329	64,6	20,329	10,8	19,853	96,9	20,424	21,5	20,519	1,291,70	18,426	198,401,30	39,502						
12h	118,4	20,901	75,3	20,805	10,8	20,424	118,4	20,901	21,5	21,091	1,205,60	18,331	198,401,30	40,185						
12h15	129,2	21,473	75,3	21,378	10,8	20,996	118,4	21,473	21,5	21,664	1,280,90	18,426	198,401,30	40,876						
12h30	129,2	21,951	86,1	21,951	10,8	21,569	129,2	22,042	21,5	22,142	1,248,60	18,426	209,423,60	39,957						
12h45	129,2	22,525	86,1	22,525	10,8	22,142	129,2	22,525	32,3	22,717	1,205,60	18,521	209,423,60	39,615						
13h	118,4	23,1	75,3	23,1	21,5	22,717	118,4	23,004	43,1	23,292	1,162,50	18,521	209,423,60	39,843						
13h15	107,6	23,677	75,3	23,581	32,3	23,196	107,6	23,581	43,1	23,773	1,087,20	18,521	209,423,60	41,108						
13h30	96,9	24,255	53,8	24,158	43,1	23,773	86,1	23,966	43,1	24,255	1,033,30	18,616	198,401,30	42,046						
13h45	86,1	24,738	32,3	24,738	43,1	24,351	75,3	24,545	32,3	24,835	990,3	18,616	198,401,30	41,928						
14h	75,3	25,319	32,3	25,222	21,5	24,835	64,6	25,028	10,8	25,319	958	18,616	198,401,30	41,692						
14h15	75,3	25,805	21,5	25,708	10,8	25,319	64,6	25,513	10,8	25,708	936,5	18,616	187,379,00	40,3						
14h30	64,6	26,195	21,5	26,097	0	25,708	53,8	25,805	0	26	914,9	18,521	187,379,00	40,761						
14h45	64,6	26,585	21,5	26,488	0	26	53,8	26,097	0	26,39	882,6	18,616	176,356,70	40,645						
15h	53,8	26,879	10,8	26,781	0	26,195	43,1	26,292	0	26,585	816,1	18,616	165,334,40	39,502						
15h15	53,8	27,075	10,8	26,977	0	26,097	43,1	26,488	0	26,683	742,7	18,616	154,312,10	39,276						
15h30	43,1	27,075	10,8	26,977	0	24,738	43,1	26,488	0	26,781	678,1	18,616	137,778,70	39,502						
15h45	43,1	26,977	10,8	26,781	0	23,888	32,3	26,39	0	26,585	635,1	19,187	121,245,20	36,728						
16h	32,3	26,683	10,8	26,488	0	22,812	32,3	26,195	0	26,292	538,2	18,901	110,223,00	35,971						
16h15	21,5	26,292	0	26,195	0	21,951	21,5	25,902	0	25,902	484,4	18,901	93,689,50	33,953						
16h30	21,5	25,805	0	25,708	0	21,664	21,5	25,513	0	25,513	441,3	18,996	7,577,80	26,39						
16h45	21,5	25,319	0	25,222	0	25,222	10,8	25,125	0	25,125	419,8	19,472	6,200,00	24,158						
17h	10,8	24,835	0	24,835	0	24,641	10,8	24,641	0	24,641	398,3	19,662	5,166,70	23,888						
17h15	10,8	24,448	0	24,351	0	24,158	10,8	24,255	0	24,255	366	19,567	4,477,80	22,812						
17h30	10,8	24,062	0	23,966	0	23,773	0	23,869	0	23,869	322,9	19,282	3,616,70	22,046						
17h45	0	23,677	0	23,581	0	23,292	0	23,581	0	23,484	247,6	19,187	2,669,50	21,378						
18h	0	23,292	0	23,292	0	22,908	0	23,196	0	23,196	118,4	18,901	1,636,10	20,615						
18h15	0	22,908	0	22,908	0	22,525	0	22,908	0	22,908	32,3	18,521	516,7	19,567						
18h30	0	22,621	0	22,621	0	22,238	0	22,621	0	22,525	0	18,426	53,8	18,996						
18h45	0	22,238	0	22,238	0	21,855	0	22,238	0	22,238	0	18,14	0	18,521						
19h	0	21,951	0	21,951	0	21,569	0	21,951	0	21,951	0	17,95	0	18,331						
Média diária	40,01321	20,60877	18,08491	20,60104	4,881132	19,77668	40,8283	20,60285	6,501887	20,65057	12,756321	17,34685	96537,27925	29,49115	#DIV/0!					

C

Semana 3
Teste
Piloto (TP)
07/set

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Pilhilha 1 - Dados de luminância e temperatura														Sob Sombra Illum (lux)	Temp. (°C)	OBS:
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato				Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato				Vaso 3 (V3) Câmara				Sensores Externos				
						Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)	Ilum. (lux)	Temp. (°C)			
					6h	0	15,951	0	15,951	0	15,378	0	16,046	0	15,76	0	12,013	0	10,161			
					6h15	0	15,76	0	15,855	0	15,282	0	15,951	0	15,569	0	11,916	43,1	9,965			
					6h30	0	15,664	0	15,76	0	15,187	0	15,855	0	15,473	6,6	11,819	484,4	9,965			
					6h45	0	15,664	0	15,664	0	15,091	0	15,76	0	15,378	193,8	11,722	1,377,80	9,965			
					7h	0	15,473	0	15,569	0	14,9	0	15,664	0	15,282	344,4	11,625	2,411,10	10,063			
					7h15	0	15,378	0	15,473	0	14,804	0	15,569	0	15,282	1,237,90	11,916	4,477,80	10,651			
					7h30	0	15,282	0	15,378	0	14,804	0	15,473	0	15,187	1,980,60	12,594	5,166,70	11,625			
					7h45	0	15,282	0	15,378	0	14,709	0	15,473	0	15,187	2,411,10	13,654	6,200,00	12,883			
					8h	0	15,187	0	15,378	0	14,709	0	15,473	0	15,187	2,755,60	14,613	28,933,50	20,519			
					8h15	0	15,282	0	15,378	0	14,804	10,8	15,473	0	15,187	3,100,00	15,664	41,333,60	26,195			
					8h30	10,8	15,378	0	15,378	0	14,9	10,8	15,473	0	15,282	3,272,20	16,523	49,600,30	29,953			
					8h45	21,5	15,378	0	15,473	0	15,091	10,8	15,664	0	15,378	3,444,50	17,379	60,622,60	31,166			
					9h	10,8	15,569	0	15,569	0	15,282	10,8	15,76	0	15,664	3,444,50	17,95	74,400,50	31,37			
					9h15	21,5	15,76	0	15,855	0	15,669	21,5	16,046	0	16,046	3,444,50	18,426	88,178,40	32,497			
					9h30	43,1	16,141	10,8	16,237	0	15,951	21,5	16,523	0	16,523	3,444,50	18,711	104,711,80	31,37			
					9h45	43,1	16,523	10,8	16,618	0	16,427	32,3	16,903	0	16,999	3,272,20	18,901	115,734,10	32,807			
					10h	53,8	17,094	21,5	17,094	0	16,903	43,1	17,379	0	17,475	2,927,80	19,092	132,267,50	34,056			
					10h15	64,6	17,475	21,5	17,475	0	17,379	43,1	17,76	0	17,855	2,755,60	19,377	143,289,80	36,403			
					10h30	64,6	18,045	21,5	18,045	10,8	17,95	53,8	18,331	0	18,426	2,583,40	19,758	154,312,10	37,055			
					10h45	64,6	18,616	24,5	18,711	21,5	18,711	64,6	18,996	0	19,092	2,325,00	19,567	166,334,40	38,938			
					11h	75,3	19,377	32,3	19,377	53,8	19,377	96,9	19,662	10,8	19,853	2,152,80	19,567	176,356,70	38,938			
					11h15	75,3	20,519	43,1	20,615	96,9	20,615	172,2	20,996	21,5	21,187	1,550,00	19,472	187,379,00	39,502			
					11h30	86,1	21,091	43,1	21,091	107,6	21,091	161,5	21,569	21,5	21,76	1,465,90	19,472	198,401,30	39,729			
					11h45	86,1	21,569	43,1	21,569	118,4	21,664	139,9	22,046	21,5	22,238	1,377,80	19,092	198,401,30	39,389			
					12h	96,9	22,046	43,1	22,046	118,4	22,046	118,4	22,046	21,5	22,621	1,345,50	19,487	198,401,30	40,185			
					12h15	96,9	22,621	43,1	22,621	118,4	22,621	107,6	23,004	21,5	23,196	1,291,70	19,282	209,423,60	39,615			
					12h30	96,9	23,1	43,1	23,1	129,2	23,196	96,9	23,484	21,5	23,677	1,237,90	19,567	209,423,60	39,957			
					12h45	86,1	23,484	43,1	23,484	118,4	23,581	96,9	23,869	32,3	24,062	1,162,50	19,853	209,423,60	38,49			
					13h	86,1	23,869	43,1	23,773	96,9	23,869	86,1	24,158	43,1	24,448	1,087,20	19,948	198,401,30	38,714			
					13h15	86,1	24,158	32,3	24,158	86,1	24,158	86,1	24,448	43,1	24,641	1,033,30	19,758	198,401,30	38,379			
					13h30	86,1	24,448	32,3	24,448	75,3	24,448	75,3	24,738	32,3	24,931	9,58	19,567	198,401,30	38,379			
					13h45	64,6	24,738	32,3	24,641	21,5	24,738	75,3	24,931	21,5	25,222	925,7	19,662	198,401,30	37,384			
					14h	64,6	24,931	21,5	24,931	10,8	24,931	64,6	25,319	10,8	25,319	925,7	19,567	187,379,00	37,384			
					14h15	53,8	25,222	21,5	25,125	0	25,125	53,8	25,319	0	25,513	893,4	19,758	187,379,00	36,946			
					14h30	53,8	25,319	21,5	25,319	0	25,222	53,8	25,416	0	25,61	861,1	19,662	176,356,70	36,187			
					14h45	53,8	25,416	21,5	25,416	0	25,416	43,1	25,513	0	25,61	835,6	19,758	165,334,40	35,756			
					15h	43,1	25,513	10,8	25,416	0	25,416	43,1	25,513	0	25,61	835,6	19,758	165,334,40	35,756			
					15h15	43,1	25,513	10,8	25,416	0	25,416	43,1	25,513	0	25,61	710,4	19,567	143,289,80	33,743			
					15h30	32,3	25,319	10,8	25,222	0	25,222	32,3	25,416	0	25,513	656,6	19,472	126,796,40	33,639			
					16h	32,3	25,125	0	24,931	0	24,835	32,3	25,125	0	25,222	592	19,377	110,223,00	31,166			
					16h15	21,5	24,641	0	24,545	0	24,448	21,5	24,738	0	24,738	538,2	19,377	93,689,50	30,255			
					16h30	21,5	24,255	0	24,158	0	23,966	10,8	24,351	0	24,255	430,6	19,377	72,33,40	23,388			
					16h45	21,5	23,773	0	23,773	0	23,484	10,8	23,869	0	23,869	409	19,282	6,200,00	21,091			
					17h	10,8	23,388	0	23,388	0	23,004	10,8	23,484	0	23,388	398,3	19,187	5,166,70	20,519			
					17h15	10,8	23,004	0	23,004	0	22,621	10,8	23,1	0	23,004	366	18,996	4,822,30	19,948			
					17h30	10,8	22,621	0	22,621	0	22,238	0	22,621	0	22,333	247,6	18,711	3,100,00	18,806			
					17h45	0	22,238	0	22,238	0	21,855	0	22,333	0	22,333	247,6	18,711	3,100,00	18,806			
					18h	0	21,951	0	21,951	0	21,473	0	22,046	0	21,951	150,7	18,521	1,980,60	18,426			
					18h15	0	21,664	0	21,664	0	21,76	0	21,76	0	21,664	32,3	18,331	581,3	17,76			
					18h30	0	21,378	0	21,378	0	20,996	0	21,473	0	21,473	0	18,14	64,6	17,094			
					18h45	0	21,091	0	21,187	0	20,71	0	21,282	0	21,187	0	17,95	0	16,903			
					19h	0	20,901	0	20,901	0	20,424	0	21,091	0	20,996	0	17,76	0	16,523			
					Média diária	36,96604	20,47425	13,51698	20,48479	23,5566	20,25211	41,63962	20,68715	6,498133	20,68247	13,121925	17,89575	96,696,30	26,20617	#DIV/0!		

C

Semana 3
08/set
Pilhoto (TP)

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Plânilha 4 - Dados de luminosidade e temperatura

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)**	Tipo de céu**	Hora	Vaso 2 (V2) Duto com helióstato										Vaso 3 (V3)										Sensores Externos	OBS.:
						Zona 1 - central (S3)		Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)		Zona 4 - central (S5)		Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)		Zona 6 - central (S7)		Zona 7		Sob luz direta (S8)		Na Sombra					
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)				
					6h	0	16,713	0	16,808	0	16,332	0	16,999	0	16,808	0	15,664	0	15,569								
					6h15	0	16,713	0	16,808	0	16,332	0	16,999	0	16,808	0	15,664	0	15,664								
					6h30	0	16,713	0	16,808	0	16,332	0	16,999	0	16,808	0	15,664	0	15,664								
					6h45	0	16,713	0	16,808	0	16,332	0	17,094	0	16,903	5,38	15,76	5,882	15,76								
					7h	0	16,713	0	16,808	0	16,332	0	16,999	0	16,808	9,69	15,855	11,3020	16,141								
					7h15	0	16,808	0	16,808	0	16,332	0	16,999	0	16,903	19,38	15,951	18,9450	16,332								
					7h30	0	16,808	0	16,808	0	16,332	10,8	16,999	0	16,903	26,91	16,046	25,8340	16,427								
					7h45	0	16,808	0	16,808	0	16,427	10,8	17,094	0	16,903	40,9	16,046	31,0000	16,618								
					8h	32,3	16,808	0	16,808	0	16,427	43,1	17,094	0	16,903	86,11	16,237	86,1120	17,189								
					8h15	32,3	16,808	0	16,903	0	16,427	43,1	17,094	0	16,903	92,57	16,523	7,57780	17,665								
					8h30	64,6	16,903	0	16,903	0	16,523	75,3	17,094	0	16,999	1,46390	16,713	13,08900	18,426								
					8h45	75,3	16,903	0	16,903	0	16,618	96,9	17,189	0	16,999	1,89450	16,999	15,84450	19,187								
					9h	118,4	16,999	10,8	16,999	0	16,713	139,9	17,189	0	17,094	2,75560	17,284	23,42240	20,138								
					9h15	172,2	16,999	10,8	17,094	0	16,808	204,5	17,284	0	17,189	3,58340	17,665	27,55570	20,71								
					9h30	183	17,094	21,5	17,189	0	16,903	226	17,284	0	17,284	2,92780	17,855	30,11130	21,282								
					9h45	290,6	17,284	43,1	17,284	0	17,094	344,4	17,475	0	17,379	4,47780	18,331	49,60030	23,004								
					10h	215,3	17,475	32,3	17,475	0	17,284	236,8	17,57	0	17,475	4,47780	18,806	49,60030	23,773								
					10h15	269,1	17,665	32,3	17,665	0	17,475	290,6	17,76	0	17,665	4,65000	18,901	44,08920	23,581								
					10h30	258,3	17,855	32,3	17,855	0	17,665	269,1	17,855	0	17,855	5,33890	19,996	42,71140	23,1								
					10h45	183	18,045	75,3	18,045	10,8	17,855	236,8	18,045	10,8	17,95	6,54450	19,282	209,42360	27,173								
					11h	236,8	18,331	86,1	18,331	10,8	18,14	269,1	18,236	21,5	18,236	3,78890	19,472	209,42360	27,173								
					11h15	430,6	18,616	75,3	18,616	0	18,426	430,6	18,521	0	18,521	4,48220	20,043	66,13380	33,014								
					11h30	667,4	18,996	139,9	18,996	10,8	18,806	581,3	18,901	43,1	18,901	2,75560	20,234	231,46820	29,953								
					11h45	710,4	19,472	161,5	19,472	0	19,282	599,7	19,282	0	19,282	3,44450	20,519	88,17640	35,328								
					12h	538,2	19,948	172,2	19,948	10,8	19,853	344,4	19,758	10,8	19,758	4,13340	20,519	88,17640	35,222								
					12h15	581,3	20,424	215,3	20,329	21,5	20,329	215,3	20,138	21,5	20,234	3,44450	20,519	220,44590	32,394								
					12h30	226	20,901	53,8	20,901	0	20,805	107,6	20,519	0	20,615	2,75560	20,805	39,95580	32,291								
					12h45	893,4	21,282	366	21,187	509,9	20,901	21,5	20,996	3,96110	20,805	231,46820	36,079										
					13h	573,4	21,664	129,2	21,569	0	21,569	409	21,282	0	21,378	1,80830	20,615	52,35590	30,154								
					13h15	236,8	21,951	161,5	21,855	129,2	21,473	32,3	21,664	1,63610	20,138	220,44590	31,983										
					13h30	599,7	22,333	226	22,238	64,6	22,238	376,7	21,855	43,1	22,046	2,75560	20,519	231,46820	37,494								
					13h45	828,8	22,717	247,6	22,621	43,1	22,717	419,8	22,238	32,3	22,429	3,44450	20,615	231,46820	37,055								
					14h	150,7	23,1	43,1	23,004	0	23,004	86,1	22,621	0	22,717	1,63610	20,519	38,57800	28,258								
					14h15	516,7	23,292	172,2	23,196	21,5	23,196	301,4	22,812	10,8	22,908	3,78890	20,71	77,15610	33,014								
					14h30	96,9	23,388	43,1	23,388	10,8	23,292	86,1	22,908	0	23,1	1,63610	20,805	198,40130	32,086								
					14h45	409	23,484	129,2	23,388	10,8	23,388	290,6	23,004	0	23,196	1,80830	21,091	209,42360	32,086								
					15h	129,2	23,581	53,8	23,484	0	23,388	75,3	23,1	0	23,196	2,75560	21,187	34,44470	29,053								
					15h15	290,6	23,484	75,3	23,388	0	23,292	199,8	23,004	0	23,1	2,06670	20,996	49,60030	29,552								
					15h30	269,1	23,388	75,3	23,292	0	23,196	199,8	23,004	0	23,004	2,49720	20,996	55,11150	27,567								
					15h45	86,1	23,196	43,1	23,1	0	23,004	32,3	22,812	0	22,812	1,46390	20,71	35,82250	26								
					16h	53,8	23,004	32,3	22,908	0	22,717	32,3	22,621	0	22,621	1,63610	20,615	46,84480	27,468								
					16h15	333,7	22,812	64,6	22,717	0	22,525	22,6	22,429	0	22,429	1,20560	20,71	34,44470	25,708								
					16h30	32,3	22,525	10,8	22,525	0	22,238	21,5	22,142	0	22,238	8,504	20,424	15,84450	23,292								
					16h45	43,1	22,333	21,5	22,238	0	21,951	21,5	21,951	0	21,951	1,17330	20,424	13,08900	22,908								
					17h	32,3	22,046	10,8	22,046	0	21,76	10,8	21,664	0	21,76	1,98060	20,329	11,02230	22,142								
					17h15	21,5	21,855	10,8	21,76	0	21,473	10,8	21,473	0	21,473	7,75	20,234	11,71120	21,951								
					17h30	10,8	21,569	0	21,569	0	21,282	10,8	21,282	0	21,282	6,243	19,948	6,54450	21,091								
					17h45	43,1	21,378	0	21,378	0	21,091	21,5	21,091	0	21,091	3,337	19,662	4,65000	20,329								
					18h	0	21,187	0	21,187	0	20,901	0	20,901	0	20,901	1,615	19,377	1,80830	19,377								
					18h15	0	20,996	0	20,996	0	20,615	0	20,71	0	20,71	4,31	19,092	5,92	18,901								
					18h30	0	20,71	0	20,71	0	20,424	0	20,519	0	20,519	0	18,901	6,46	18,616								
					18h45	0	20,519	0	20,519	0	20,234	0	20,329	0	20,329	0	18,806	0	18,426								
					19h	0	20,329	0	20,329	0	20,043	0	20,138	0	20,138	0	18,711	0	18,236								
					Média diária	204,7189	19,9177	58,08668	19,90315	6,70566	19,67479	154,5528	19,78925	4,673585	19,77498	1,983,2151	19,04325	62,025,18868	24,48309	#DIV/0!	#DIV/0!						

P

Semana 3
Teste
Piloto (TP)

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																		
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ hora mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura													
					Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 (V3) Duto sem heliostato		Vaso 4 - central (S4)		Vaso 5 - a 12,5 cm do centro (S5)		Vaso 6 - central (S7)		Sensores Externos	
		Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S4)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S5)	Zona 6 - central (S7)	Sob Luz direta (S8)	Na Sombra									
		Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	
		0	17,855	0	17,95	0	17,475	0	17,855	0	17,76	0	16,999	0	16,618			
		0	17,855	0	17,95	0	17,475	0	17,855	0	17,76	0	16,999	64,6	16,523			
		0	17,76	0	17,855	0	17,379	0	17,76	0	17,65	6,46	17,094	2066,7	16,713			
		10,8	17,76	0	17,855	0	17,379	10,8	17,76	0	17,57	764,2	17,094	4133,4	16,903			
		75,3	17,76	10,8	17,76	0	17,284	43,1	17,665	0	17,57	1463,90	17,094	7233,4	17,475			
		43,1	17,665	10,8	17,76	0	17,284	21,5	17,665	0	17,57	2927,80	17,379	14466,8	18,521			
		32,3	17,76	10,8	17,76	0	17,284	21,5	17,665	0	17,57	2238,90	17,76	16533,4	19,377			
		43,1	17,855	53,8	17,855	0	17,475	107,6	17,76	0	17,57	3272,20	18,14	19977,9	20,615			
		86,1	17,855	43,1	17,855	0	17,57	53,8	17,855	0	17,76	4305,60	18,616	34444,7	22,429			
		279,9	17,95	75,3	17,95	0	17,665	161,5	17,95	0	17,855	4822,30	18,806	28933,5	22,142			
		247,6	18,045	107,6	18,045	0	17,76	161,5	18,045	0	17,95	3444,50	19,092	33066,9	22,429			
		193,8	18,14	96,9	18,14	0	17,855	118,4	18,14	0	18,045	3616,70	19,187	37200,2	22,525			
		35,2	18,331	118,4	18,331	0	18,045	236,8	18,236	0	18,14	4822,30	19,377	44089,2	23,388			
		667,4	18,426	183	18,426	0	18,14	419,8	18,331	0	18,331	6544,50	19,853	165334,4	26,683			
		96,9	18,616	43,1	18,616	0	18,426	86,1	18,521	0	18,521	4994,50	20,138	154312,1	31,778			
		592	18,901	161,5	18,806	0	18,616	333,7	18,806	0	18,711	3961,10	20,234	57867	26			
		656,6	19,282	161,5	19,282	0	19,092	430,6	19,187	0	19,187	3161,70	20,71	66133,8	28,06			
		516,7	19,758	129,2	19,567	0	19,567	247,6	19,662	0	19,472	4305,60	20,901	41333,6	28,555			
		430,6	19,948	161,5	19,948	10,8	19,758	204,5	19,758	0	19,758	4650,00	20,901	71644,9	30,356			
		775	20,138	301,4	20,043	129,2	19,853	527,4	19,948	32,3	19,948	5165,70	20,901	253512,8	35,542			
		549	20,424	215,3	20,329	118,4	20,234	387,5	20,234	21,5	20,234	5511,10	21,187	242490,5	32,086			
		1044,10	20,71	258,3	20,615	0	20,424	667,4	20,424	0	20,424	2927,80	20,996	68889,3	31,778			
		419,8	20,901	129,2	20,805	0	20,71	247,6	20,71	0	20,71	4650,00	21,091	46844,8	27,665			
		893,4	20,996	204,5	20,996	129,2	20,805	570,5	20,805	21,5	20,805	2669,50	20,901	242490,5	27,961			
		183	21,187	96,9	21,091	53,8	20,901	129,2	20,901	0	20,901	4822,30	20,996	68889,3	28,357			
		387,5	21,282	129,2	21,187	0	20,996	258,3	20,996	0	20,996	2583,40	20,805	57867	27,075			
		635,1	21,378	139,9	21,378	0	21,091	366	21,091	21,5	21,091	4994,50	20,805	209423,6	31,064			
		269,1	21,378	75,3	21,378	0	21,091	129,2	21,187	0	21,187	2066,70	20,138	22044,6	22,908			
		355,2	21,282	64,6	21,282	0	20,996	204,5	21,091	0	21,091	2497,20	19,853	18600,1	21,855			
		215,3	20,71	53,8	20,71	0	20,424	118,4	20,519	0	20,424	1636,10	19,377	14466,8	21,187			
		107,6	20,615	21,5	20,615	0	20,234	64,6	20,329	0	20,234	1044,10	19,187	8611,2	20,615			
		172,2	20,424	43,1	20,424	0	20,138	86,1	20,138	0	20,138	2411,10	18,996	11711,2	20,043			
		43,1	20,329	10,8	20,329	0	19,948	32,3	20,043	0	19,948	1184,00	18,806	93689,5	22,333			
		107,6	20,138	43,1	20,138	0	19,853	64,6	19,853	0	19,758	2066,70	18,901	24800,2	21,855			
		64,6	20,043	10,8	20,043	0	19,662	43,1	19,758	0	19,662	1184,00	18,806	11711,2	20,138			
		21,5	19,853	0	19,853	0	19,472	10,8	19,567	0	19,567	635,1	18,521	8266,7	19,472			
		19,758	19,758	0	19,758	0	19,377	10,8	19,472	0	19,377	484,4	18,331	5511,1	18,616			
		10,8	19,567	0	19,567	0	19,187	0	19,377	0	19,282	387,5	18,045	18,045				
		10,8	19,472	0	19,472	0	19,092	0	19,187	0	19,092	269,1	17,76	2927,8	17,57			
		0	19,282	0	19,282	0	18,901	0	19,092	0	18,996	139,9	17,57	1894,5	17,189			
		0	19,092	0	19,187	0	18,711	0	18,806	0	18,806	32,3	17,379	462,9	16,903			
		0	18,996	0	18,996	0	18,521	0	18,616	0	18,616	0	17,284	43,1	16,808			
		0	18,806	0	18,901	0	18,426	0	18,616	0	18,426	0	17,094	0	16,523			
		0	18,616	0	18,711	0	18,236	0	18,521	0	18,236	0	16,999	0	16,523			
		258,9509	19,4836	74,94906	19,48713	9,955283	19,16387	158,8245	19,32723	2,030189	19,25366	2,634,7321	19,11362	5013,08132	12,77496	#DIV/0!	#DIV/0!	
		Média diária																

E

Semana 3
10/set
Teste Piloto (TP)

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																						
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativo ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Planilha 1 - Dados de luminância e temperatura																
						Vaso 1 (V1) Duto com heliozato		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 2 (V2) Duto sem heliozato		Zona 5 - A12,5 cm do centro (S5)		Vaso 3 (V3) Zona 6 - central (S7)		Sensores Externos						
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8)	Temp. (°C)	Na Sombra	Temp. (°C)			
						0	16,046	0	16,141	0	15,569	0	16,141	0	15,951	0	14,804	0	13,75			
						6h15	15,951	0	16,046	0	15,569	0	16,141	0	15,855	10,8	14,804	75,3	13,75			
						6h45	15,855	0	16,046	0	15,473	0	16,046	0	15,855	86,1	14,804	61,35	13,942			
						7h	15,855	0	15,951	0	15,378	0	15,951	0	15,76	290,6	14,9	1,894,50	14,23			
						7h15	15,76	0	15,855	0	15,378	0	15,951	0	15,76	710,4	14,9	3,616,70	14,325			
						7h45	21,5	15,76	0	15,855	0	15,378	21,5	15,951	0	15,664	2,497,20	15,569	8,266,70	15,187		
						8h	10,8	15,76	0	15,855	0	15,378	21,5	15,951	0	15,76	3,961,10	16,713	30,311,30	22,046		
						8h30	43,1	15,855	10,8	15,855	0	15,473	21,5	15,951	0	15,76	3,788,90	17,284	44,089,20	26,097		
						8h45	204,5	15,951	43,1	15,951	0	15,664	161,5	16,046	0	15,855	4,822,30	17,76	66,133,80	27,961		
						9h	139,9	16,046	32,3	16,141	0	15,855	118,4	16,237	0	16,141	5,338,90	18,14	44,089,20	23,1		
						9h15	290,6	16,237	64,6	16,332	0	16,046	236,8	16,332	0	16,332	5,338,90	18,616	57,867,00	24,062		
						9h30	409	16,523	96,9	16,523	0	16,332	301,4	16,523	0	16,523	6,200,00	19,092	57,867,00	26,781		
						9h45	333,7	16,808	86,1	16,808	0	16,618	204,5	16,808	0	16,808	4,994,50	18,901	44,089,20	23,869		
						10h	312,2	17,094	86,1	16,999	0	16,903	193,8	17,094	0	16,999	5,166,70	18,901	49,600,30	25,416		
						10h15	452,1	17,284	129,2	17,284	0	17,094	258,3	17,284	0	17,284	5,511,10	18,996	52,355,90	25,028		
						10h30	484,4	17,57	139,9	17,475	0	17,379	322,9	17,475	0	17,475	3,788,90	18,901	55,111,50	24,062		
						10h45	592	17,76	193,8	17,76	10,8	17,57	387,5	17,665	0	17,665	4,305,60	19,187	99,200,70	29,953		
						11h	635,1	18,045	172,2	18,045	0	17,855	366	17,95	0	17,95	3,961,10	19,472	63,378,20	31,472		
						11h30	731,9	18,521	161,5	18,426	0	18,331	387,5	18,426	0	18,331	4,477,80	19,377	37,200,20	24,062		
						11h45	882,6	18,711	172,2	18,616	0	18,426	473,6	18,521	0	18,426	4,477,80	19,377	77,156,10	28,159		
						12h	753,5	18,806	172,2	18,711	0	18,616	398,3	18,616	0	18,616	4,994,50	19,377	68,889,30	25,61		
						12h15	236,8	18,901	64,6	18,901	0	18,711	150,7	18,711	0	18,711	2,755,60	19,282	37,200,20	24,062		
						12h30	871,9	18,996	215,3	18,901	0	18,806	527,4	18,806	0	18,806	4,305,60	19,377	57,867,00	25,028		
						12h45	731,9	19,187	193,8	19,092	0	18,996	441,3	18,996	0	18,901	5,338,90	19,472	68,889,30	28,357		
						13h	312,2	19,282	96,9	19,282	0	19,092	172,2	19,092	0	19,092	3,444,50	19,472	31,689,10	23,966		
						13h15	484,4	19,377	129,2	19,282	0	19,187	279,9	19,187	0	19,092	3,272,20	19,187	41,333,60	24,351		
						13h30	947,2	19,377	204,5	19,377	53,8	19,187	592	19,187	10,8	19,092	4,305,60	19,187	143,289,80	26,195		
						13h45	785,8	19,472	204,5	19,377	0	19,187	473,6	19,187	0	19,187	3,788,90	19,092	60,622,60	24,738		
						14h	322,9	19,472	118,4	19,377	0	19,187	204,5	19,187	0	19,187	3,272,20	18,996	44,089,20	22,908		
						14h15	441,3	19,377	129,2	19,377	0	19,092	269,1	19,187	0	19,092	3,272,20	18,521	37,200,20	21,187		
						14h30	441,3	19,282	118,4	19,282	0	18,996	247,6	19,092	0	18,996	2,238,90	18,521	35,822,50	22,142		
						14h45	344,4	19,282	86,1	19,187	0	18,901	193,8	18,996	0	18,996	2,669,50	18,331	37,200,20	22,238		
						15h	441,3	19,187	129,2	19,187	0	18,901	258,3	18,996	0	18,901	3,272,20	18,426	49,600,30	24,158		
						15h15	656,6	19,187	193,8	19,092	0	18,806	398,3	18,996	0	18,901	3,272,20	18,521	55,111,50	22,717		
						15h30	753	19,092	21,5	19,092	0	18,806	43,1	18,996	0	18,901	1,550,00	18,236	55,111,50	29,452		
						15h45	204,5	19,187	53,8	19,092	0	18,901	172,2	19,092	0	18,996	1,550,00	18,331	39,955,80	27,272		
						16h	107,6	19,187	64,6	19,092	0	18,901	64,6	19,092	0	19,092	2,755,60	18,331	99,200,70	27,272		
						16h15	333,7	19,092	53,8	19,092	0	18,806	204,5	19,092	0	19,092	7,965	18,14	110,223,00	23,869		
						16h30	64,6	18,996	21,5	18,996	0	18,806	32,3	19,092	0	18,996	1,980,60	17,95	28,933,50	20,805		
						16h45	21,5	18,996	0	18,901	0	18,711	10,8	18,901	0	18,901	6,781	17,76	10,333,40	19,282		
						17h	21,5	18,806	0	18,806	0	18,521	10,8	18,711	0	18,711	3,767	17,284	9,644,50	18,236		
						17h15	10,8	18,616	0	18,616	0	18,331	10,8	18,616	0	18,521	4,306	16,999	9,300,10	17,855		
						17h30	10,8	18,426	0	18,426	0	18,14	10,8	18,331	0	18,331	3,122	16,808	6,544,50	17,379		
						17h45	10,8	18,236	0	18,236	0	17,95	0	18,236	0	18,14	2,153	16,618	3,100,00	16,713		
						18h	0	18,045	0	18,14	0	17,76	0	17,95	0	17,95	9,69	16,427	1,550,00	16,332		
						18h15	0	17,855	0	17,76	0	17,57	0	17,665	0	17,57	3,23	16,237	51,67	15,569		
						18h30	0	17,665	0	17,57	0	17,379	0	17,665	0	17,57	0	16,141	4,31	15,569		
						18h45	0	17,57	0	17,665	0	17,284	0	17,57	0	17,379	0	15,951	0	15,473		
						19h	0	17,475	0	17,475	0	17,094	0	17,379	0	17,094	0	15,855	0	15,187		
						Média diária	280,8774	17,84374	73,11887	17,84198	1,2188668	17,56328	172,0245	17,80258	0,203774	17,71802	2,752,117	17,78404	3857,8842	21,904	#DIV/0!	#DIV/0!

E

11/set

Coleta em: 24/09/18

Turno coleta: noite

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																						
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminância e temperatura										OBS:						
						Vaso 1 (V1) Duto com heliozato		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 2 (V2) Duto sem heliozato		Zona 5 - A12,5 cm do centro (S4)		Vaso 3 (V3) Crescedo			Sensores Externos					
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		Ilum (lux)	Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8)	Temp. (°C)	Na Sombra	Temp. (°C)
						6h	0	15,091	0	15,187	0	14,709	0	15,091	0	14,517	0	13,75				
						6h15	0	15,091	0	15,187	0	14,709	0	15,187	0	14,517	107,6	13,654				
						6h45	0	15,091	0	15,187	0	14,709	0	15,187	0	14,517	86,1	14,613	721,2	13,558		
						7h	0	15,091	0	15,187	0	14,709	0	15,187	0	14,517	226	14,613	2,066,70	13,942		
						7h15	10,8	15,091	0	15,091	0	14,709	10,8	15,187	0	15,091	301,4	14,709	2,411,10	13,942		
						7h30	10,8	15,091	0	15,091	0	14,709	10,8	15,187	0	15,091	1,980,60	15,187	6,200,00	15,091		
						7h45	10,8	15,091	0	15,091	0	14,804	10,8	15,187	0	15,091	2,669,50	15,855	7,233,40	16,046		
						8h	10,8	15,091	0	15,187	0	14,9	21,5	15,187	0	15,187	2,927,80	16,427	33,066,30	24,255		
						8h30	21,5	15,282	0	15,378	0	15,091	32,3	15,378	0	15,378	3,616,70	17,665	55,111,50	28,258		
						8h45	32,3	15,473	10,8	15,569	0	15,378	32,3	15,569	0	15,569	3,788,90	18,14	66,133,80	29,053		
						9h	32,3	15,76	10,8	15,855	0	15,664	43,1	15,76	0	15,76	3,788,90	18,521	79,911,60	30,154		
						9h15	32,3	16,141	10,8	16,141	0	16,141	43,1	16,141	0	16,141	3,788,90	19,092	93,689,50	32,291		
						9h30	43,1	16,618	10,8	16,618	0	16,618	43,1	16,523	0	16,523	3,616,70	19,377	110,223,00	33,118		
						9h45	43,1	17,094	10,8	17,094	0	17,094	53,8	16,903	0	16,999	3,272,20	19,662	126,756,40	34,374		
						10h	53,8	17,57	21,5	17,57	0	17,57	53,8	17,284	0	17,475	2,755,60	19,853	137,778,70	35,435		
						10h15	53,8	18,045	21,5	18,045	0	18,14	64,6	17,855	0	17,95	2,583,40	20,043	148,801,00	35,328		
						10h30	53,8	18,616	21,5	18,616	21,5	18,616	64,6	18,426	10,8	18,426	2,325,00	20,043	165,334,40	36,295		
						10h45	64,6	19,092	32,3	19,092	43,1	19,187	75,3	18,711	21,5	18,901	2,066,70	20,138	170,845,60	37,165		
						11h	64,6	19,567	32,3	19,567	96,9	19,662	86,1	19,282	32,3	19,472	1,411,10	20,329	176,356,70	38,602		
						11h15	86,1	20,138	43,1	20,138	107,6	20,138	96,9	19,758	43,1	19,948	2,066,70	20,424	187,379,00	38,157		
						11h30	96,9	20,615	32,3	20,519	96,9	20,615	107,6	20,234	21,5	20,424	1,722,20	20,329	159,823,30	38,268		
						11h45	86,1	20,996	43,1	20,996	96,9	21,091	107,6	20,615	21,5	20,805	1,463,90	20,329	198,401,30	38,379		
						12h	86,1	21,378	43,1	21,282	86,1	21,473	107,6	20,996	10,8	21,187	1,259,40	20,234	209,423,60	38,826		
						12h15	96,9	21,76	53,8	21,664	75,3	21,76	107,6	21,473	10,8	21,569	1,184,00	20,329	209,423,60	36,728		
						12h30	96,9	22,046	53,8	21,951	86,1	22,142	107,6	21,76	10,8	21,951	936,5	20,329	209,423,60	38,046		
						12h45	96,9	22,333	53,8	22,333	107,6	22,429	107,6	22,142	10,8	22,333	1,377,80	20,519	209,423,60	37,935		
						13h	96,9	22,621	43,1	22,525	129,2	22,717	96,9	22,429	21,5	22,621	1,011,80	20,615	209,423,60	38,602		
						13h15	86,1	22,908	43,1	22,908	118,4	23,004	96,9	22,812	32,3	23,004	925,7	20,615	198,401,30	37,824		
						13h30	86,1	23,196	43,1	23,1	107,6	23,292	96,9	23,1	43,1	23,292	882,6	20,71	198,401,30	38,046		
						13h45	75,3	23,484	32,3	23,388	86,1	23,581	86,1	23,388	32,3	23,581	850,4	20,71	198,401,30	37,604		
						14h	75,3	23,773	32,3	23,677	32,3	23,773	75,3	23,581	21,5	23,773	828,8	20,71	187,379,00	37,604		
						14h15	64,6	23,966	21,5	23,869	10,8	23,966	75,3	23,773	10,8	23,966	807,3	20,805	187,379,00	36,62		
						14h30	64,6	24,062	21,5	23,966	0	24,062	64,6	23,966	0	24,158	796,5	20,805	176,356,70	36,511		
						14h45	53,8	24,255	21,5	24,158	0	24,255	53,8	24,158	0	24,351	775	20,901	170,845,60	35,864		
						15h	53,8	24,351	10,8	24,255	0	24,351	53,8	24,255	0	24,448	721,2	20,805	159,823,30	34,585		
						15h15	43,1	24,351	10,8	24,255	0	24,351	43,1	24,351	0	24,448	635,1	20,615	148,801,00	33,743		
						15h30	43,1	24,351	10,8	24,158	0	24,255	43,1	24,255	0	24,448	581,3	20,519	137,778,70	33,222		
						15h45	43,1	24,158	10,8	23,966	0	23,966	32,3	24,062	0	24,158	538,2	20,424	121,245,20	31,472		
						16h	32,3	23,773	10,8	23,677	0	23,677	32,3	23,773	0	23,869	484,4	20,329	104,711,80	30,862		
						16h15	32,3	23,484	10,8	23,388	0	23,196	32,3	23,388	0	23,484	441,3	20,234	88,138,40	29,552		
						16h30	21,5	23,1	23,1	0	23,004	0	22,812	21,5	23,004	0	23,004	419,8	19,948	75,778,80	24,448	
						16h45	21,5	22,717	0	22,621	0	22,429	10,8	22,621	0	22,621	398,3	19,853	62,000,00	21,664		
						17h	21,5	22,333	0	22,238	0	21,951	10,8	22,238	0	22,142	387,5	19,567	51,667,00	20,901		
						17h15	21,5	21,951	0	21,855	0	21,664	10,8	21,855	0	21,855	366	19,377	48,223,00	20,329		
						17h30	10,8	21,569	0	21,569	0	21,282	0	21,473	0	21,473	333,7	19,092	39,611,00	19,662		
						17h45	10,8	21,282	0	21,187	0	20,901	0	21,187	0	21,091	236,8	18,806	29,927,80	19,092		
						18h	0	20,901	0	20,901	0	20,615	0	20,805	0	20,71	118,4	18,426	1,808,30	18,426		
						18h15	0	20,615	0	20,615	0	20,329	0	20,519	0	20,424	32,3	18,14	538,2	18,045		
						18h30	0	20,329	0	20,424	0	20,043	0	20,234	0	20,234	0	17,855	10,8	17,57		
						18h45	0	20,138	0	20,138	0	19,758	0	20,043	0	19,948	0	17,665	0	17,189		
						19h	0	19,853	0	19,853	0	19,472	0	19,758	0	19,662	0	17,475	0	17,094		
						Média diária	41,030	19,94436	15,64717	19,93715	24,7358	19,8146	44,0717	19,84175	6,70566	19,99558	12,99802	18,92053	96,865,891	28,47302	#DIV/0!	#DIV/0!

C

Semana 4
Teste
Foto (FP)

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativo ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação												OBS:			
						Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura						Vaso 2 (V2) - Duto sem heliostato							Vaso 3 (V3) - Centro		
						Vaso 1 (V1) - Duto com heliostato		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Zona 4 - central (S4)		Zona 5 - A12,5 cm do centro (S5)		Zona 6 - central (S6)		Zona 6 - central (S7)			Sensores Externos		
Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8)	Na Sombra						
					6h	0	16,523	0	16,618	0	16,141	0	16,713	0	16,523	0	15,282	0	13,75		
					6h15	0	16,523	0	16,618	0	16,046	0	16,713	0	16,523	43,1	15,187	290,6	13,75		
					6h30	0	16,427	0	16,523	0	16,046	0	16,618	0	16,427	129,2	14,996	968,8	13,558		
					6h45	0	16,427	0	16,523	0	15,951	0	16,618	0	16,427	430,6	14,9	3,100,00	13,461		
					7h	0	16,332	0	16,427	0	15,951	0	16,523	0	16,332	764,2	14,9	5,336,90	13,942		
					7h15	10,8	16,332	0	16,427	0	15,951	10,8	16,523	0	16,332	1,722,20	15,187	8,611,20	14,804		
					7h30	21,5	16,332	0	16,427	0	15,951	21,5	16,523	0	16,332	2,325,00	15,76	11,022,30	15,76		
					7h45	21,5	16,332	0	16,427	0	15,951	21,5	16,523	0	16,332	2,497,20	16,427	11,711,20	16,999		
					8h	21,5	16,332	0	16,427	0	15,951	21,5	16,523	0	16,332	2,411,10	16,999	24,800,20	21,569		
					8h15	21,5	16,332	0	16,427	0	16,046	21,5	16,523	0	16,427	3,100,00	17,855	39,955,80	26,488		
					8h30	32,3	16,427	0	16,427	0	16,141	32,3	16,618	0	16,523	3,616,70	18,616	52,355,90	29,752		
					8h45	43,1	16,523	10,8	16,618	0	16,332	43,1	16,713	0	16,618	3,788,90	19,187	63,378,20	31,166		
					9h	53,8	16,808	10,8	16,808	0	16,523	53,8	16,903	0	16,808	3,788,90	19,662	77,156,10	33,743		
					9h15	75,3	17,094	21,5	17,094	0	16,903	64,6	17,284	0	17,284	3,788,90	20,043	88,178,40	34,903		
					9h30	86,1	17,475	21,5	17,475	0	17,379	75,3	18,331	0	17,855	3,616,70	20,234	104,711,80	35,756		
					9h45	86,1	17,95	32,3	17,95	0	17,95	75,3	18,331	0	18,426	3,444,50	20,424	115,734,10	35,756		
					10h	183	18,521	64,6	18,521	0	18,426	139,9	18,806	0	18,996	3,272,20	20,519	137,778,70	38,268		
					10h15	150,7	19,092	53,8	19,092	10,8	18,996	118,4	19,377	0	19,472	2,927,80	20,615	132,267,50	36,187		
					10h30	183	19,567	64,6	19,567	21,5	19,567	150,7	19,758	10,8	19,948	2,755,60	20,996	148,801,00	37,055		
					10h45	215,3	20,138	75,3	20,138	32,3	20,043	161,5	20,234	10,8	20,329	2,755,60	20,996	159,823,30	37,274		
					11h	279,9	20,615	96,9	20,615	64,6	20,519	193,8	20,71	21,5	20,805	2,755,60	20,805	154,312,10	37,494		
					11h15	226	21,091	86,1	21,091	64,6	20,996	161,5	21,187	10,8	21,282	1,894,50	20,615	132,267,50	36,295		
					11h30	344,4	21,569	118,4	21,473	75,3	21,473	236,8	21,664	10,8	21,76	2,152,80	20,424	159,823,30	37,494		
					11h45	419,8	21,951	139,9	21,951	53,8	21,951	290,6	22,046	10,8	22,238	2,238,90	20,519	165,334,40	36,837		
					12h	409	22,333	139,9	22,333	43,1	22,333	290,6	22,429	10,8	22,525	2,238,90	20,519	154,312,10	36,187		
					12h15	505,9	22,717	172,2	22,717	43,1	22,717	344,4	22,812	10,8	22,908	2,755,60	20,519	170,845,60	37,274		
					12h30	755,5	23,196	226	23,1	23,1	23,1	462,9	23,1	0	23,292	3,444,50	20,805	132,267,50	35,864		
					12h45	731,9	23,484	215,3	23,388	32,3	23,388	462,9	23,388	0	23,484	3,100,00	20,996	137,778,70	34,903		
					13h	613,5	23,773	193,8	23,581	21,5	23,581	398,3	23,677	0	23,773	2,583,40	20,996	99,200,70	35,222		
					13h15	398,3	23,966	139,9	23,869	43,1	23,869	289,1	23,773	0	23,966	2,325,00	20,996	132,267,50	36,079		
					13h30	312,2	24,158	107,6	24,158	107,6	24,062	226	24,062	21,5	24,158	1,894,50	20,901	170,845,60	38,938		
					13h45	312,2	24,545	107,6	24,448	53,8	24,448	215,3	24,448	21,5	24,545	1,894,50	20,805	159,823,30	39,957		
					14h	538,2	24,931	172,2	24,835	21,5	24,835	344,4	24,738	10,8	24,931	2,497,20	21,091	187,379,00	40,761		
					14h15	355,2	25,319	107,6	25,222	10,8	25,222	226	25,125	0	25,319	2,411,10	21,664	148,801,00	39,163		
					14h30	398,3	25,61	118,4	25,513	10,8	25,416	236,8	25,319	0	25,513	2,755,60	21,951	110,223,00	37,055		
					14h45	312,2	25,708	96,9	25,61	0	25,319	193,8	25,513	0	25,61	1,550,00	21,664	66,133,80	32,188		
					15h	193,8	25,708	53,8	25,61	0	25,125	129,2	25,513	0	25,61	1,001,00	21,378	60,622,60	31,88		
					15h15	193,8	25,708	53,8	25,61	0	24,931	129,2	25,513	0	25,61	1,076,40	21,282	99,200,70	34,058		
					15h30	266	25,708	96,9	25,61	0	24,738	236,8	25,513	0	25,61	1,334,70	21,282	52,355,90	31,676		
					15h45	226	25,61	64,6	25,513	0	24,545	150,7	25,416	0	25,513	2,066,70	21,378	88,178,40	32,911		
					16h	172,2	25,513	53,8	25,416	0	24,255	107,6	25,319	0	25,416	1,377,80	21,378	63,378,20	32,394		
					16h15	161,5	25,319	43,1	25,222	0	24,062	96,9	25,222	0	25,319	1,248,60	21,951	39,955,80	29,953		
					16h30	215,3	25,125	53,8	25,028	0	23,869	118,4	24,931	0	25,028	1,463,90	22,238	27,555,70	27,567		
					16h45	183	24,931	43,1	24,835	0	23,581	107,6	24,738	0	24,835	1,377,80	22,142	21,355,70	26,292		
					17h	139,9	24,641	32,3	24,545	0	23,292	75,3	24,448	0	24,545	1,119,50	22,046	16,533,40	25,222		
					17h15	107,6	24,448	21,5	24,351	0	22,908	64,6	24,255	0	24,255	893,4	21,855	12,400,10	24,351		
					17h30	75,3	24,158	10,8	24,158	0	22,717	43,1	23,966	0	23,966	613,5	21,378	7,233,40	23,388		
					17h45	32,3	23,869	0	23,869	0	22,429	21,5	23,773	0	23,773	333,7	21,282	4,477,80	22,525		
					18h	10,8	23,581	0	23,581	0	22,142	0	23,484	0	23,484	129,2	21,091	1,980,60	21,951		
					18h15	0	23,388	0	23,388	0	21,855	0	23,196	0	23,196	10,8	20,901	247,6	21,282		
					18h30	0	23,1	0	23,1	0	21,664	0	23,004	0	23,004	0	20,71	10,8	20,996		
					18h45	0	22,908	0	22,908	0	21,473	0	22,717	0	22,717	0	20,615	0	20,805		
					19h	0	22,621	0	22,717	0	21,282	0	22,525	0	22,525	0	20,519	0	20,615		
					Média diária	192,3302	21,41111	58,89434	21,39432	13	20,87438	129,166	21,4713	2,84717	21,44832	188,1462	19,95247	7477,504	29,31166	#DIV/0!	#DIV/0!

P

Semana 4
Teste
Foto (FP)
13/set

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativo ar* min)	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação												OBS:				
						Planilha 1 - Dados de luminosidade e temperatura																
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Zona 5 - A12,5 cm do centro (S5)		Vaso 3 (V3) Zona 6 - central (S7)		Sensores Externos						
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8)	Temp. (°C)		Ilum (lux)	Temp. (°C)		
						0	19,282	0	19,282	0	17,855	0	19,282	0	18,14	0	17,57					
						6h15	19,187	0	19,282	0	17,76	0	19,377	0	18,14	0	17,57					
						6h45	19,187	0	19,282	0	17,76	0	19,377	0	18,14	75,3	17,475					
						7h	19,187	0	19,187	0	17,665	0	19,377	0	18,14	91,9	17,475					
						7h30	10,8	19,092	0	19,187	0	17,475	10,8	19,282	0	19,187	183	18,045	18,945	17,57		
						7h45	10,8	19,092	0	19,092	0	17,379	0	19,282	0	19,092	290,6	18,045	19,806	17,665		
						8h	43,1	19,092	0	19,092	0	17,379	32,3	19,282	0	19,092	441,3	18,045	3961,1	17,76		
						8h30	96,9	18,996	10,8	19,092	0	17,284	64,6	19,282	0	19,092	721,2	18,045	5511,1	18,045		
						8h45	107,6	18,996	10,8	19,092	0	17,379	75,3	19,187	0	19,092	936,5	18,14	7233,4	18,236		
						9h	172,2	18,996	21,5	19,092	0	17,284	107,6	19,187	0	19,092	1.192,0	18,236	8611,2	18,521		
						9h15	150,7	18,996	21,5	19,092	0	17,379	96,9	19,187	0	19,092	1.377,80	18,426	14.000,1	18,806		
						9h30	139,9	18,996	21,5	19,092	0	17,379	86,1	19,187	0	19,092	1.377,80	18,426	15.155,7	18,806		
						9h45	204,5	18,996	32,3	19,092	0	17,475	129,2	19,187	0	19,092	1.636,10	18,426	13.089	18,996		
						10h	269,1	18,996	43,1	19,092	0	17,475	172,2	19,187	0	19,092	2.325,00	18,426	18.600,1	18,996		
						10h15	172,2	19,092	32,3	19,092	0	17,379	118,4	19,187	0	19,092	1.291,70	18,521	13.089	19,187		
						10h30	247,6	19,092	43,1	19,092	0	17,284	139,9	19,187	0	19,092	2.238,90	18,521	16.533,4	18,996		
						10h45	247,6	19,092	43,1	19,092	0	17,284	150,7	19,282	0	19,092	2.583,40	18,616	16.533,4	19,282		
						11h	258,3	19,092	66,1	19,092	0	17,284	150,7	19,282	0	19,092	2.755,60	18,806	22.044,6	19,662		
						11h15	376,7	19,092	86,1	19,187	0	17,284	226	19,282	0	19,187	2.238,90	18,806	28.933,5	19,948		
						11h30	516,7	19,187	129,2	19,187	0	17,379	312,2	19,282	0	19,187	3.616,70	18,996	41.333,6	20,71		
						11h45	688,9	19,282	172,2	19,282	0	17,475	409	19,377	0	19,282	4.822,30	19,472	52.355,9	22,142		
						12h	678,1	19,282	183	19,282	0	17,57	419,8	19,377	0	19,377	5.166,70	19,853	63.378,2	22,717		
						12h15	398,3	19,377	107,6	19,377	0	17,76	226	19,472	0	19,472	3.444,50	19,948	30.666,9	21,664		
						12h30	755,5	19,472	204,5	19,472	0	17,855	473,6	19,567	0	19,567	3.444,50	20,043	68.893,3	23,388		
						12h45	570,5	19,662	150,7	19,662	0	17,76	344,4	19,758	0	19,662	4.305,60	20,329	52.355,9	23,869		
						13h	893,4	19,758	247,6	19,758	10,8	17,665	549	19,853	0	19,758	4.994,50	20,424	74.400,5	24,931		
						13h15	183	19,948	43,1	19,948	0	18,045	96,9	20,043	0	19,948	2.411,10	20,329	20.446,6	22,333		
						13h30	333,7	20,043	86,1	20,043	0	18,236	193,8	20,138	0	20,138	3.100,00	20,138	26,178	21,569		
						13h45	204,5	20,138	53,8	20,138	0	18,331	118,4	20,138	0	20,138	2.238,90	20,043	16.533,4	20,71		
						14h	322,9	20,138	75,3	20,138	0	18,331	193,8	20,234	0	20,138	1.980,60	19,758	26,178	20,138		
						14h15	150,7	20,138	32,3	20,138	0	18,236	86,1	20,234	0	20,138	1.636,10	19,662	17.111,2	20,138		
						14h30	462,9	20,138	107,6	20,138	0	18,236	269,1	20,234	0	20,138	2.755,60	19,662	30.311,3	20,901		
						14h45	322,9	20,138	75,3	20,138	0	18,331	193,8	20,234	0	20,138	2.325,00	19,758	20.446,6	20,615		
						15h	215,3	20,138	43,1	20,138	0	18,331	129,2	20,234	0	20,138	1.463,90	19,662	15.155,7	20,234		
						15h15	193,8	20,138	43,1	20,138	0	18,331	118,4	20,138	0	20,043	1.463,90	19,567	14.466,8	19,948		
						15h30	161,5	20,043	32,3	20,138	0	18,236	96,9	20,138	0	20,043	1.377,80	19,472	11.711,2	19,853		
						15h45	118,4	20,043	21,5	20,043	0	18,331	75,3	20,138	0	20,043	1.022,60	19,472	8.611,2	19,567		
						16h	118,4	20,043	21,5	20,043	0	18,236	64,6	20,043	0	20,043	871,9	19,282	9300,1	19,377		
						16h15	118,4	19,948	21,5	20,043	0	18,236	64,6	20,043	0	19,948	893,4	19,282	8.611,2	19,282		
						16h30	96,9	19,948	10,8	19,948	0	18,14	53,8	20,043	0	19,948	850,4	19,187	7.233,4	19,282		
						16h45	43,1	19,853	0	19,948	0	18,045	32,3	19,948	0	19,948	452,1	19,187	4.994,5	18,996		
						17h	32,3	19,853	0	19,853	0	18,045	21,5	19,948	0	19,853	452,1	18,996	3.616,7	18,806		
						17h15	21,5	19,758	0	19,853	0	18,045	10,8	19,948	0	19,853	247,6	18,901	2.497,2	18,521		
						17h30	10,8	19,758	0	19,758	0	17,95	0	19,758	0	19,758	1.93,8	18,806	1.808,3	18,331		
						17h45	10,8	19,662	0	19,758	0	17,95	0	19,758	0	19,662	1.29,2	18,616	1.636,1	18,14		
						18h	0	19,662	0	19,662	0	17,855	0	19,758	0	19,567	53,8	18,521	624,3	17,95		
						18h15	0	19,567	0	19,662	0	17,855	0	19,662	0	19,567	0	18,521	129,2	17,855		
						18h30	0	19,472	0	19,567	0	17,76	0	19,567	0	19,472	0	18,426	0	17,855		
						18h45	0	19,377	0	19,472	0	17,76	0	19,567	0	19,377	0	18,426	0	17,855		
						19h	0	19,377	0	19,472	0	17,665	0	19,377	0	19,377	0	18,426	0	17,855		
						Média diária	192,9453	19,49372	43,46415	19,53332	0,20374	17,77789	116,5774	19,65666	0	19,52434	1.488,79	18,93728	15.685,53	19,43121	#DIV/0!	#DIV/0!

E

Semana 4
Teste
Foto (FP)
14/sep

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																						
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativo ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura																
						Vaso 1 (V1) Duto com heliozato		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 2 (V2) Duto sem heliozato		Zona 5 - A12,5 cm do centro (S4)		Vaso 3 (V3) Zona 6 - central (S7)		Sensores Externos						
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)			
						0	17,57	0	17,665	0	15,091	0	17,665	0	17,475	0	16,618	0	16,141			
						6h15	17,57	0	17,665	0	14,996	0	17,665	0	17,475	0	16,618	21,5	16,141			
						6h45	0	17,475	0	17,665	0	14,23	0	17,665	0	17,475	43,1	16,713	37,67	16,141		
						7h	10,8	17,475	0	17,57	0	14,517	0	17,57	0	17,475	107,6	16,713	93,65	16,141		
						7h15	43,1	17,475	0	17,57	0	13,942	10,8	17,57	0	17,379	215,3	16,713	258,34	16,237		
						7h30	53,8	17,475	0	17,57	0	14,804	32,3	17,57	0	17,379	807,3	16,713	551,11	16,523		
						7h45	53,8	17,475	0	17,57	0	14,23	32,3	17,57	0	17,379	699,7	16,808	723,34	16,713		
						8h	107,6	17,475	10,8	17,57	0	14,517	64,6	17,57	0	17,379	958	16,903	6200	16,808		
						8h15	129,2	17,475	21,5	17,57	0	14,613	86,1	17,57	0	17,475	1.227,10	16,999	13089	17,284		
						8h30	161,5	17,475	21,5	17,57	0	14,709	96,9	17,57	0	17,475	1.377,80	17,094	16533,4	17,76		
						8h45	247,6	17,475	43,1	17,57	0	14,804	161,5	17,665	0	17,475	1.550,00	17,284	20666,8	18,14		
						9h	226	17,57	43,1	17,57	0	14,804	129,2	17,665	0	17,475	1.894,50	17,379	19,289	18,331		
						9h15	269,1	17,57	53,8	17,57	0	14,9	150,7	17,76	0	17,57	2.238,90	17,57	18600,1	18,426		
						9h30	139,9	17,665	21,5	17,665	0	14,325	75,3	17,76	0	17,57	1.636,10	17,665	15155,7	18,14		
						9h45	86,1	17,665	10,8	17,665	0	14,421	53,8	17,76	0	17,665	1.087,20	17,57	9300,1	17,76		
						10h	86,1	17,665	10,8	17,76	0	14,9	53,8	17,76	0	17,665	882,6	17,475	10333,4	17,665		
						10h15	183	17,665	32,3	17,76	0	16,332	107,6	17,855	0	17,665	1.324,00	17,379	15844,5	18,045		
						10h30	344,4	17,76	64,6	17,76	0	16,332	204,5	17,855	0	17,76	2.066,70	17,475	26178	18,806		
						10h45	443,3	17,76	96,9	17,76	0	16,332	247,6	17,855	0	17,76	2.583,40	17,665	35822,5	19,377		
						11h	505,9	17,855	129,2	17,855	0	16,427	279,9	17,95	0	17,855	3.788,90	17,855	49600,3	20,519		
						11h15	839,6	17,95	258,3	17,95	10,8	16,523	452,1	18,045	0	17,95	6.200,00	18,521	99200,7	24,738		
						11h30	667,4	18,14	215,3	18,14	21,5	16,713	398,3	18,236	10,8	18,14	5.166,70	18,996	159823,3	26,683		
						11h45	430,6	18,426	172,2	18,426	32,3	16,999	290,6	18,521	0	18,426	4.822,30	19,377	170845,6	28,159		
						12h	312,2	18,711	150,7	18,711	150,7	17,284	236,8	18,806	0	18,711	4.477,80	19,662	143289,8	30,356		
						12h15	312,2	19,092	204,5	19,092	43,1	17,665	258,3	19,187	10,8	19,187	3.444,50	19,853	88178,4	31,676		
						12h30	475,6	19,567	172,2	19,567	32,3	18,14	430,6	19,662	0	19,662	1.980,60	19,948	24290,5	32,704		
						12h45	635,1	19,948	269,1	19,948	0	18,521	538,2	20,043	0	20,043	4.650,00	20,043	209423,6	28,357		
						13h	505,9	20,329	129,2	20,329	0	18,806	312,2	20,329	0	20,424	3.100,00	20,424	71644,9	31,37		
						13h15	475,6	20,71	161,5	20,615	0	18,806	335,7	20,71	0	20,71	4.305,60	20,615	98689,5	32,911		
						13h30	193,8	20,901	107,6	20,901	0	19,092	139,9	20,996	0	20,996	3.272,20	20,71	46844,8	29,152		
						13h45	570,5	21,187	226	21,091	53,8	19,282	419,8	21,187	21,5	21,187	4.305,60	20,71	264535,1	28,655		
						14h	796,5	21,378	161,5	21,282	0	19,472	495,1	21,378	0	21,378	1.980,60	20,71	66133,8	33,743		
						14h15	150,7	21,664	96,9	21,569	10,8	19,472	150,7	21,664	0	21,664	3.961,10	20,805	137778,7	30,862		
						14h30	441,3	21,76	107,6	21,664	0	19,472	236,8	21,76	0	21,76	2.497,20	20,805	46844,8	33,43		
						14h45	75,3	21,855	32,3	21,855	0	19,282	64,6	21,855	0	21,855	1.033,30	20,615	176356,7	31,37		
						15h	322,9	22,046	75,3	22,046	0	21,951	247,6	22,046	0	22,046	1.259,40	20,519	187379	32,394		
						15h15	452,1	22,238	75,3	22,142	0	22,142	236,8	22,238	0	22,238	1.808,30	20,615	165334,4	33,639		
						15h30	269,1	22,429	64,6	22,333	0	22,333	183	22,429	0	22,429	882,6	20,615	159823,3	33,014		
						15h45	279,9	22,429	32,3	22,429	0	22,333	150,7	22,429	0	22,525	2.066,70	20,424	121425,2	30,659		
						16h	32,3	22,333	10,8	22,142	0	22,142	21,5	22,429	0	22,429	1.356,30	20,329	104711,8	30,659		
						16h15	150,7	22,238	32,3	22,142	0	22,046	75,3	22,333	0	22,333	947,2	20,329	99200,7	29,953		
						16h30	21,5	22,046	0	21,951	0	21,76	10,8	22,142	0	22,142	505,9	20,138	8611,2	25,805		
						16h45	21,5	21,855	0	21,76	0	21,569	10,8	21,855	0	21,855	398,3	19,948	6200	21,664		
						17h	10,8	21,569	0	21,569	0	21,282	10,8	21,569	0	21,569	355,2	19,758	53389	20,996		
						17h15	10,8	21,282	0	21,282	0	20,996	0	21,282	0	21,282	193,8	19,472	3444,5	20,138		
						17h30	10,8	21,091	0	21,091	0	20,71	0	21,091	0	20,996	126	19,187	3616,7	19,758		
						17h45	10,8	20,901	0	20,901	0	20,519	0	20,805	0	20,71	161,5	19,092	3272,2	19,472		
						18h	0	20,615	0	20,615	0	20,234	0	20,615	0	20,519	161,5	18,806	1722,2	19,187		
						18h15	0	20,234	0	20,234	0	20,043	0	20,424	0	20,329	32,3	18,616	624,3	18,711		
						18h30	0	20,234	0	20,234	0	19,758	0	20,234	0	20,043	0	18,236	53,8	18,236		
						18h45	0	19,948	0	20,043	0	19,567	0	19,948	0	19,853	0	18,14	0	18,236		
						19h	0	19,853	0	19,853	0	19,377	0	19,853	0	19,662	0	18,14	0	18,331		
						Média diária	218,1264	19,51347	62,55472	19,52441	4,469811	17,89285	141,966	19,57625	0,813208	19,49543	1709,645	18,75802	59815,734	23,26632	#DIV/0!	#DIV/0!

E

Semana 4
Teste
Foto (FP)
15/fev

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																							
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativo ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminância e temperatura												OBS:					
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 4 - central (S4)		Vaso 5 - A12,5 cm do centro (S5)		Vaso 6 - central (S7)			Sensores Externos				
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	
Semana 4 Teste Plôto (TP)	16/fev				6h	0	17,95	0	18,045	0	17,57	0	18,14	0	17,95	0	17,284	0	17,284				
					6h15	0	17,95	0	18,045	0	17,57	0	18,045	0	17,95	0	17,284	86,1	17,284				
					6h30	0	17,95	0	18,045	0	17,57	0	18,045	0	17,95	0	17,284	301,4	17,284				
					6h45	0	17,95	0	18,045	0	17,57	0	18,045	0	17,95	0	17,284	731,9	17,284				
					7h	10,8	17,95	0	18,045	0	17,57	0	18,045	0	17,95	0	17,284	181	17,284	1,894,50	17,379		
					7h15	43,1	17,95	0	18,045	0	17,475	21,5	18,045	0	17,855	43,06	17,379	55,11,10	17,76				
					7h30	118,4	17,95	10,8	17,95	0	17,475	86,1	18,045	0	17,855	1,033,30	17,475	10,333,40	18,331				
					7h45	75,3	17,95	10,8	17,95	0	17,57	32,3	18,045	0	17,855	1,894,50	17,855	9,300,10	18,616				
					8h	32,3	17,95	0	17,95	0	17,57	21,5	18,045	0	17,855	1,334,70	18,14	22,044,60	22,142				
					8h15	139,9	17,95	32,3	18,045	0	17,57	75,3	18,045	0	17,95	1,636,10	18,426	14,466,80	20,424				
					8h30	161,5	18,045	43,1	18,045	0	17,665	107,6	18,14	0	17,95	3,788,90	18,711	33,066,90	21,569				
					8h45	32,3	18,045	10,8	18,14	0	17,76	32,3	18,14	0	18,045	3,616,70	19,662	74,400,50	30,457				
					9h	150,7	18,236	32,3	18,331	0	18,045	96,9	18,331	0	18,236	3,616,70	20,329	93,689,50	32,394				
					9h15	43,1	18,521	21,5	18,616	0	18,331	43,1	18,616	0	18,521	3,616,70	20,71	99,200,70	33,014				
					9h30	43,1	18,806	10,8	18,806	0	18,616	43,1	18,901	0	18,806	3,272,20	20,901	110,223,00	33,639				
					9h45	75,3	19,187	43,1	19,187	0	18,996	53,8	19,187	0	19,187	5,338,90	21,282	132,267,50	35,222				
					10h	355,2	19,567	75,3	19,567	0	19,377	236,8	19,567	0	19,567	3,616,70	21,76	154,312,10	36,62				
					10h15	473,6	19,948	161,5	19,853	10,8	19,758	322,9	19,948	0	19,948	3,961,10	21,855	187,379,00	33,222				
					10h30	53,8	20,234	32,3	20,234	0	20,043	75,3	20,234	0	20,234	1,894,50	21,664	165,334,40	35,009				
					10h45	86,1	20,519	53,8	20,424	53,8	20,329	86,1	20,519	21,5	20,519	2,583,40	21,664	176,356,70	33,535				
					11h	635,1	20,71	150,7	20,71	64,6	20,615	409	20,71	10,8	20,805	2,066,70	21,473	93,689,50	32,807				
					11h15	645,8	20,996	129,2	20,996	75,3	20,901	376,7	20,996	10,8	21,091	3,444,50	21,76	209,423,60	38,714				
					11h30	86,1	21,278	43,1	21,282	53,8	21,187	86,1	21,378	10,8	21,378	2,238,90	21,664	209,423,60	37,935				
					11h45	366	21,664	139,9	21,664	43,1	21,569	312,2	21,76	10,8	21,76	1,636,10	21,76	132,267,50	38,046				
12h	279,9	21,951	107,6	21,951	0	21,855	215,3	22,046	0	22,046	1,270,10	21,76	46,844,80	35,222									
12h15	96,9	22,238	53,8	22,142	32,3	22,142	96,9	22,333	10,8	22,333	1,334,70	21,76	209,423,60	37,824									
12h30	96,9	22,429	53,8	22,429	32,3	22,429	96,9	22,525	0	22,621	1,076,40	21,473	209,423,60	37,604									
12h45	22,717	53,8	22,621	32,3	22,621	32,3	22,621	96,9	22,812	10,8	22,908	904,2	21,473	209,423,60	36,728								
13h	107,6	22,908	64,6	22,812	64,6	22,812	96,9	23,004	10,8	23,1	914,9	21,569	209,423,60	36,946									
13h15	204,5	23,004	86,1	23,004	75,3	23,004	161,5	23,196	10,8	23,292	1,463,90	21,664	187,379,00	36,295									
13h30	139,9	23,196	53,8	23,1	23,1	23,1	118,4	23,388	21,5	23,484	1,173,30	21,76	198,401,30	36,511									
13h45	193,8	23,388	75,3	23,292	43,1	23,292	139,9	23,581	21,5	23,677	1,463,90	21,76	170,845,60	36,295									
14h	247,6	23,581	86,1	23,484	10,8	23,388	161,5	23,773	10,8	23,773	1,894,50	21,855	148,801,00	34,268									
14h15	387,5	23,581	118,4	23,484	0	23,388	236,8	23,773	0	23,773	2,583,40	21,855	99,200,70	30,963									
14h30	419,8	23,484	129,2	23,388	0	23,292	258,3	23,773	0	23,773	3,100,00	22,046	88,178,40	30,154									
14h45	387,5	23,388	118,4	23,292	0	23,196	236,8	23,677	0	23,677	3,272,20	21,951	66,133,80	28,159									
15h	387,5	23,292	107,6	23,1	23,1	23,004	226	23,484	0	23,388	3,100,00	21,76	63,378,20	27,665									
15h15	344,4	23,1	96,9	23,004	0	22,812	204,5	23,292	0	23,196	2,927,80	21,664	55,111,50	26,879									
15h30	322,9	22,908	96,9	22,812	0	22,621	193,8	23,1	0	23,004	2,755,60	21,473	49,600,30	25,902									
15h45	290,6	22,717	86,1	22,621	0	22,429	172,2	22,908	0	22,812	2,411,10	21,282	42,711,40	25,319									
16h	258,3	22,525	64,6	22,429	0	22,238	150,7	22,621	0	22,525	2,238,90	21,091	35,822,50	24,255									
16h15	215,3	22,333	53,8	22,333	0	22,046	129,2	22,429	0	22,333	1,808,90	20,901	27,555,70	23,677									
16h30	193,8	22,142	43,1	22,142	0	21,855	107,6	22,142	0	21,855	1,636,10	20,71	22,044,60	23,004									
16h45	150,7	21,951	32,3	21,951	0	21,664	86,1	21,951	0	21,855	1,377,80	20,519	17,222,30	22,333									
17h	129,2	21,76	21,76	0	21,473	75,3	21,76	0	21,664	1,097,90	20,329	14,466,80	21,76										
17h15	86,1	21,664	10,8	21,569	0	21,282	43,1	21,569	0	21,473	818,1	20,138	10,333,40	21,282									
17h30	43,1	21,473	10,8	21,473	0	21,091	21,5	21,378	0	21,378	473,6	19,948	6,200,00	20,615									
17h45	43,1	21,282	0	21,282	0	20,901	21,5	21,282	0	21,187	398,3	19,758	4,133,40	20,138									
18h	0	21,091	0	21,091	0	20,805	0	21,091	0	20,996	75,3	19,472	904,2	19,662									
18h15	0	20,901	0	20,996	0	20,615	0	20,615	0	20,805	10,8	19,282	215,3	19,282									
18h30	0	20,805	0	20,805	0	20,424	0	20,805	0	20,615	0	19,187	10,8	19,092									
18h45	0	20,615	0	20,615	0	20,234	0	20,615	0	20,519	0	19,092	0	18,996									
19h	0	20,519	0	20,519	0	20,043	0	20,519	0	20,329	0	18,996	0	18,901									
Média diária	165,1189	20,79809	49,76226	20,78342	12,79623	20,5426	110,683	20,88113	3,25283	20,82547	17,52291	20,32864	77903,657	27,3906	#DIV/0!	#DIV/0!							

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Unidade relativo ar* Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação												OBS:			
					Planilha 1 - Dados de luminância e temperatura															
					Vaso 1 (V1) Duto com heliozato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliozato		Vaso 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 4 - central (S4)		Vaso 5 - a 12,5 cm do centro (S5)		Vaso 6 - central (S7)			Sensores Externos		
Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)			
				6h	0	18,521	0	18,616	0	18,14	0	18,711	0	18,521	0	17,95	0	17,76		
				6h15	0	18,521	0	18,521	0	18,045	0	18,711	0	18,521	0	17,95	32,3	17,76		
				6h45	0	18,426	0	18,521	0	18,045	0	18,711	0	18,521	21,5	18,045	236,8	18,045		
				7h	10,8	18,426	0	18,521	0	18,045	10,8	18,711	0	18,521	344,4	18,045	3616,70	18,236		
				7h15	21,5	18,521	0	18,521	0	18,045	10,8	18,711	0	18,521	581,3	18,236	4650,00	18,711		
				7h30	32,3	18,426	0	18,521	0	18,14	10,8	18,711	0	18,521	430,6	18,331	4477,80	18,711		
				7h45	75,3	18,521	10,8	18,521	0	18,14	32,3	18,711	0	18,521	785,8	18,426	6200,00	18,986		
				8h	75,3	18,521	10,8	18,521	0	18,14	43,1	18,711	0	18,616	1,044,10	18,521	9300,10	19,187		
				8h30	107,6	18,521	21,5	18,616	0	18,236	53,8	18,711	0	18,616	1,130,20	18,711	9300,10	19,567		
				8h45	75,3	18,616	10,8	18,616	0	18,236	43,1	18,806	0	18,616	947,2	18,711	11,711,20	19,662		
				9h	172,2	18,616	43,1	18,711	0	18,331	96,9	18,806	0	18,711	1,550,00	18,901	18,600,10	20,329		
				9h15	301,4	18,711	64,6	18,711	0	18,426	172,2	18,806	0	18,711	2,152,80	19,187	30,311,30	21,378		
				9h30	301,4	18,806	96,9	18,901	0	18,521	172,2	18,901	0	18,806	5,166,70	20,043	49,600,30	25,222		
				9h45	505,9	19,092	129,2	19,092	0	18,711	312,2	19,092	0	18,996	4,822,30	20,519	49,600,30	26		
				10h	538,2	19,282	129,2	19,282	0	18,996	301,4	19,282	0	19,187	4,305,60	20,901	63,378,20	26,977		
				10h15	376,7	19,567	107,6	19,567	0	19,282	226	19,472	0	19,472	5,166,70	21,282	82,667,20	30,255		
				10h30	721,2	19,853	183	19,758	0	19,567	430,6	19,758	0	19,662	5,511,10	21,378	82,667,20	28,159		
				10h45	624,3	20,138	183	20,043	0	19,853	398,3	19,948	0	19,948	4,477,80	21,569	74,400,50	29,352		
				11h	624,3	20,329	193,8	20,234	21,5	20,043	387,5	20,138	0	20,138	5,511,10	21,569	110,223,00	29,152		
				11h15	527,4	20,519	139,9	20,424	0	20,234	312,2	20,329	0	20,329	4,994,50	21,664	57,867,00	27,37		
				11h30	624,3	20,71	172,2	20,615	0	20,424	344,4	20,519	0	20,424	4,994,50	21,664	66,133,80	27,075		
				11h45	699,7	20,901	204,5	20,805	0	20,615	430,6	20,615	0	20,615	4,650,00	21,855	85,422,80	31,778		
				12h	678,1	21,091	204,5	20,996	10,8	20,805	419,8	20,805	0	20,805	3,788,90	21,855	93,689,50	31,88		
				12h15	301,4	21,282	86,1	21,187	32,3	21,091	193,8	21,091	0	21,091	3,272,20	22,046	220,445,90	40,185		
				12h30	495,1	21,76	161,5	21,664	10,8	21,569	258,3	21,569	0	21,664	1,894,50	22,238	99,200,70	39,389		
				12h45	635,1	22,238	215,3	22,142	43,1	22,046	409	22,046	0	22,142	4,477,80	22,429	220,445,90	35,328		
				13h	516,7	22,525	204,5	22,525	32,3	22,333	355,2	22,429	0	22,429	3,616,70	22,525	176,356,70	35,222		
				13h15	322,9	22,908	96,9	22,812	53,8	22,717	193,8	22,717	0	22,812	2,927,80	22,429	99,689,50	32,807		
				13h30	473,6	23,1	161,5	23,004	21,5	22,908	301,4	22,908	0	23,004	2,238,90	22,525	110,223,00	32,497		
				13h45	495,1	23,196	139,9	23,196	0	23,1	301,4	23,004	0	23,1	3,444,50	22,525	68,889,30	29,953		
				14h	462,9	23,292	129,2	23,196	0	23,004	279,9	23,1	0	23,196	4,650,00	22,525	66,133,80	28,853		
				14h15	409	23,196	107,6	23,1	0	23,004	236,8	23,1	0	23,1	3,961,10	22,429	49,600,30	27,173		
				14h30	441,3	23,1	139,9	23,004	10,8	22,812	269,1	23,004	0	23,004	4,477,80	22,333	176,356,70	30,76		
				14h45	129,2	23,196	45,1	23,1	0	22,908	86,1	23,004	0	23,1	2,238,90	22,238	198,401,30	37,274		
				15h	398,3	23,388	107,6	23,292	0	23,1	215,3	23,196	0	23,196	3,444,50	22,046	77,156,10	30,457		
				15h15	301,4	23,888	75,3	23,292	0	23,1	183	23,196	0	23,196	2,152,80	21,951	38,578,00	26,683		
				15h30	226	23,292	45,1	23,196	0	23,004	129,2	23,1	0	23,1	2,669,50	21,664	28,933,50	24,351		
				15h45	215,3	23,1	23,004	0	22,812	129,2	22,908	0	22,908	2,411,10	21,378	26,178,00	23,677			
				16h	236,8	22,908	53,8	22,812	0	22,525	129,2	22,717	0	22,621	2,066,70	21,187	33,066,90	23,773		
				16h15	129,2	22,717	32,3	22,621	0	22,333	64,6	22,525	0	22,525	1,894,50	21,091	22,044,60	23,484		
				16h30	150,7	22,525	21,5	22,525	0	22,142	86,1	22,333	0	22,338	1,377,80	20,805	16,533,40	22,333		
				16h45	75,3	22,333	10,8	22,333	0	21,951	32,3	22,142	0	22,046	893,4	20,519	8,266,70	21,473		
				17h	53,8	22,142	0	22,142	0	21,76	32,3	21,951	0	21,855	613,5	20,329	6,200,00	20,901		
				17h15	21,5	21,951	0	21,855	0	21,569	10,8	21,76	0	21,664	366	20,138	3,616,70	20,519		
				17h30	10,8	21,76	0	21,76	0	21,378	0	21,569	0	21,473	204,5	20,043	1,808,30	20,234		
				17h45	10,8	21,569	0	21,569	0	21,187	0	21,378	0	21,282	172,2	19,853	2,066,70	20,043		
				18h	0	21,378	0	21,378	0	20,996	0	21,187	0	21,187	64,6	19,758	86,1	19,853		
				18h15	0	21,187	0	21,282	0	20,805	0	20,805	0	20,996	10,8	19,662	215,3	19,662		
				18h30	0	21,091	0	21,091	0	20,71	0	20,996	0	20,901	0	19,567	21,5	19,377		
				18h45	0	20,901	0	20,996	0	20,519	0	20,901	0	20,901	0	19,472	0	19,187		
				19h	0	20,805	0	20,901	0	20,424	0	20,805	0	20,615	0	19,377	0	19,092		
				Média diária	259,1434	20,86613	71,9	20,84434	4,469811	20,5474	154,3604	20,80802	0	20,747	2254,745	20,51049	50524,4	24,98472	#DIV/0!	#DIV/0!

E

Semana 4
17/fev
Teste
Foto (FP)

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperatura (máx/min)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dutos de luminosidade e temperatura										Sensores Externos		OBS:									
						Vaso 1 (V1) Duto com holocausto		Vaso 2 (V2) Duto sem holocausto		Vaso 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 4 - central (S4)		Vaso 5 - a 12,5 cm do centro (S5)		Zona 6 - central (S7)			Sob luz direta (S8)	Na Sombra							
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)				Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)			
Semana 5	18/5 et					6h	0	18,616	0	18,711	0	18,236	0	18,806	0	18,711	0	17,665	0	17,284							
		6h15	0	18,616	0	18,711	0	18,14	0	18,806	0	18,806	0	18,711	0	17,665	0	17,284									
		6h30	0	18,616	0	18,616	0	18,236	0	18,806	0	18,806	0	18,711	0	17,665	0	17,284									
		6h45	0	18,616	0	18,616	0	18,14	0	18,806	0	18,806	0	18,711	0	17,665	0	17,284									
		7h	10,8	18,616	0	18,616	0	18,14	10,8	18,806	0	18,806	0	18,616	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		7h15	21,5	18,616	0	18,616	0	18,14	10,8	18,806	0	18,806	0	18,616	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		7h30	32,3	18,616	0	18,616	0	18,236	21,5	18,806	0	18,806	0	18,711	0	17,665	0	17,284									
		7h45	75,3	18,616	10,8	18,711	0	18,236	43,1	18,806	0	18,711	0	18,806	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		8h	75,3	18,616	10,8	18,711	0	18,236	53,8	18,901	0	18,711	0	18,806	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		8h15	129,2	18,711	21,5	18,711	0	18,331	86,1	18,901	0	18,711	0	18,806	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		8h30	64,6	18,711	10,8	18,806	0	18,331	43,1	18,996	0	18,806	0	18,806	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		8h45	107,6	18,806	10,8	18,806	0	18,426	64,6	18,996	0	18,806	0	18,806	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		9h	183	18,806	32,3	18,901	0	18,426	96,9	18,996	0	18,901	0	18,901	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		9h15	333,7	18,901	86,1	18,901	0	18,521	183	19,092	0	18,996	0	18,996	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		9h30	236,8	18,996	64,6	18,996	0	18,616	107,6	19,187	0	19,092	0	19,092	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		9h45	118,4	19,092	32,3	19,092	0	18,806	64,6	19,282	0	19,092	0	19,092	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		10h	204,5	19,282	86,1	19,282	0	18,996	96,9	19,377	0	19,377	0	19,377	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		10h15	419,8	19,472	118,4	19,472	0	19,092	226	19,567	0	19,567	0	19,567	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
		10h30	441,3	19,662	139,9	19,662	0	19,377	236,8	19,758	0	19,662	0	19,662	0	17,855	0	17,855	0	17,855							
10h45	581,3	19,853	161,5	19,853	0	19,567	312,2	19,949	0	19,853	0	19,853	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
11h	549	20,234	183	20,234	10,8	19,948	344,4	20,138	0	20,138	0	20,138	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
11h15	538,2	20,519	193,8	20,519	10,8	20,329	312,2	20,519	0	20,519	0	20,519	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
11h30	86,1	20,901	43,1	20,901	0	20,71	64,6	20,901	0	20,901	0	20,901	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
11h45	96,9	21,378	64,6	21,378	0	21,187	64,6	21,378	0	21,378	0	21,378	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
12h	139,9	21,855	96,9	21,855	21,5	21,664	183	21,76	0	21,855	0	21,855	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
12h15	150,7	22,429	107,6	22,429	21,5	22,333	236,8	22,333	0	22,429	0	22,429	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
12h30	256,3	23,004	161,5	23,1	21,5	23,004	290,6	22,908	0	23,004	0	23,004	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
12h45	366	23,581	226	23,581	21,5	23,581	322,9	23,388	0	23,484	0	23,484	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
13h	645,8	24,062	183	24,062	0	24,062	516,7	23,773	0	24,062	0	24,062	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
13h15	484,4	24,448	118,4	24,351	0	24,351	290,6	23,966	0	24,351	0	24,351	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
13h30	290,6	24,641	75,3	24,545	0	24,448	183	24,548	0	24,548	0	24,548	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
13h45	258,3	24,641	32,3	24,545	0	24,448	161,5	24,548	0	24,548	0	24,548	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
14h	462,9	24,545	161,5	24,545	10,8	24,351	312,2	23,966	0	24,351	0	24,351	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
14h15	279,9	24,641	75,3	24,545	0	24,351	150,7	24,062	0	24,062	0	24,062	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
14h30	118,4	24,738	53,8	24,641	0	24,448	75,3	24,062	0	24,448	0	24,448	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
14h45	53,8	24,835	21,5	24,835	0	24,738	53,8	24,062	0	24,738	0	24,738	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
15h	43,1	25,028	10,8	24,931	0	24,931	43,1	24,158	0	24,931	0	24,931	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
15h15	43,1	25,319	10,8	25,222	0	25,125	32,3	24,351	0	24,448	0	24,448	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
15h30	32,3	25,513	10,8	25,513	0	25,416	32,3	24,448	0	24,738	0	24,738	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
15h45	21,5	25,61	10,8	25,61	0	25,416	21,5	24,738	0	24,835	0	24,835	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
16h	21,5	25,61	0	25,513	0	25,319	21,5	24,738	0	24,835	0	24,835	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
16h15	21,5	25,416	0	25,319	0	25,125	10,8	24,448	0	24,738	0	24,738	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
16h30	10,8	25,125	0	25,125	0	24,835	10,8	24,448	0	24,835	0	24,835	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
16h45	10,8	24,835	0	24,835	0	24,448	0	24,448	0	24,545	0	24,545	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
17h	0	24,641	0	24,545	0	24,448	0	24,448	0	24,545	0	24,545	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
17h15	0	24,351	0	24,255	0	23,869	0	23,869	0	23,869	0	23,869	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
17h30	0	24,062	0	24,062	0	23,581	0	23,581	0	23,581	0	23,581	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
17h45	0	23,773	0	23,773	0	23,388	0	23,388	0	23,388	0	23,388	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
18h	0	23,484	0	23,484	0	23,1	0	23,292	0	23,292	0	23,292	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
18h15	0	23,292	0	23,292	0	22,812	0	23,1	0	23,1	0	23,1	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
18h30	0	23,004	0	23,004	0	22,621	0	22,621	0	22,621	0	22,621	0	17,855	0	17,855	0	17,855									
18h45	0	22,812	0	22,812	0	22,333	0																				

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																										
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ hora mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dutos de luminosidade e temperatura																				
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 4 - central (S4)		Vaso 5 - a 12,5 cm do centro (S5)		Vaso 6 - central (S6)		Vaso 7 (V7) Duto sem heliostato								
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)					
Semana 5 Teste Plântula (TP)	19/5 set				6h	59,10189	23,4314	30,06226	23,425	4,469811	20,31362264	35,95094	23,36151	0,815094	23,39957	1,382,057	20,88481	99349,72075	35,14394	#DIV/0!	#DIV/0!					
						14h15	107,6	27,764	64,6	27,665	0	20,901	53,8	27,272	0	27,468	93,65	21,855	187,379,00	42,639						
						14h30	75,3	28,06	43,1	28,06	0	21,378	43,1	27,567	0	27,764	90,42	21,951	187,379,00	42,758						
						14h45	64,6	28,357	32,3	28,357	0	21,76	32,3	27,764	0	27,961	88,26	21,951	176,356,70	42,401						
						15h	53,8	28,655	21,5	28,655	0	21,473	21,5	27,961	0	28,258	75,35	22,046	165,334,40	42,046						
						15h15	43,1	28,953	10,8	28,953	0	21,187	10,8	28,258	0	28,456	66,74	21,951	154,312,10	41,692						
						15h30	32,3	29,053	10,8	28,953	0	20,901	21,5	28,357	0	28,555	60,28	21,951	143,288,80	41,225						
						15h45	53,8	29,152	10,8	29,053	0	21,569	32,3	28,357	0	28,555	62,43	21,855	93,689,50	39,163						
						16h	75,3	28,953	21,5	28,853	0	21,187	32,3	28,258	0	28,456	1,054,90	21,951	77,156,10	35,542						
						16h15	86,1	28,754	10,8	28,655	0	21,091	53,8	28,06	0	28,159	1,377,80	22,046	74,400,50	34,691						
						16h30	64,6	28,456	10,8	28,357	0	21,091	43,1	27,862	0	27,961	1,313,20	22,142	34,444,70	32,086						
						16h45	53,8	28,159	0	28,06	0	20,805	32,3	27,567	0	27,567	1,173,30	22,046	23,422,40	29,752						
						17h	53,8	27,862	0	27,764	0	20,901	43,1	27,272	0	27,272	1,194,80	21,951	20,666,80	28,853						
						17h15	32,3	27,468	0	27,468	0	20,519	21,5	26,977	0	26,977	807,3	21,855	14,466,80	28,06						
						17h30	21,5	27,173	0	27,173	0	20,043	10,8	26,781	0	26,488	409	21,664	5,511,10	25,513						
						17h45	0	26,879	0	26,781	0	19,662	0	26,488	0	26,292	183	21,569	2,325,00	24,351						
						18h	0	26,585	0	26,488	0	19,377	0	26,292	0	26,292	0	21,473	387,5	23,388						
						18h15	0	26,195	0	26,195	0	19,567	0	26,098	0	25,708	0	21,378	75,3	23,004						
						18h30	0	25,902	0	25,902	0	19,377	0	25,708	0	25,513	0	21,378	0	22,238						
						18h45	0	25,61	0	25,61	0	19,092	0	25,513	0	25,513	0	21,378	0	22,238						
19h	0	25,319	0	25,319	0	18,806	0	25,222	0	25,222	0	21,378	0	22,238												
Média diária	59,10189	23,4314	30,06226	23,425	4,469811	20,31362264	35,95094	23,36151	0,815094	23,39957	1,382,057	20,88481	99349,72075	35,14394	#DIV/0!	#DIV/0!										

C

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ hora mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												OBS:					
					Vaso 1 (V1) Duto com heliostato			Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato			Vaso 3 (V3) Duto sem heliostato			Vaso 4 (V4) Duto sem heliostato				Vaso 5 (V5) Duto sem heliostato			Sensores Externos	
		Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)															
		Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	
		0	19,187	0	19,282	0	14,996	0	19,472	0	19,187	0	16,903	0	15,378							
	6h15	0	19,187	0	19,187	0	14,996	0	19,377	0	19,187	10,8	16,903	19,38	15,569							
	6h30	0	19,092	0	19,187	0	14,9	0	19,377	0	19,092	301,4	17,094	2,238,90	16,141							
	6h45	0	18,996	0	19,092	0	14,9	0	19,282	0	19,092	581,3	17,189	4,650,00	16,332							
	7h	0	18,996	0	19,092	0	14,996	0	19,282	0	18,996	882,6	17,284	7,577,80	16,808							
	7h15	0	18,901	0	18,996	0	14,9	0	19,282	0	18,996	1,184,00	17,57	10,677,80	18,045							
	7h30	10,8	18,901	0	18,996	0	14,9	10,8	19,187	0	18,996	1,550,00	17,855	14,466,80	18,711							
	7h45	10,8	18,901	0	18,996	0	14,9	10,8	19,187	0	18,996	2,152,80	18,14	20,666,80	19,853							
	8h	10,8	18,901	0	18,996	0	14,9	10,8	19,187	0	18,996	2,411,10	18,521	23,422,40	20,901							
	8h15	21,5	18,996	0	18,996	0	14,9	21,5	19,187	0	18,996	3,100,00	18,806	34,444,70	22,525							
	8h30	32,3	18,996	0	19,092	0	14,9	32,3	19,282	0	19,092	3,272,20	19,187	41,333,60	24,158							
	8h45	43,1	19,092	0	19,092	0	15,091	32,3	19,282	0	19,092	3,788,90	19,567	49,600,30	24,835							
	9h	53,8	19,092	0	19,187	0	15,091	53,8	19,377	0	19,187	3,788,90	19,853	49,600,30	25,125							
	9h15	86,1	19,187	10,8	19,282	0	15,187	64,6	19,472	0	19,282	4,133,40	20,138	52,355,90	26							
	9h30	107,6	19,282	21,5	19,377	0	15,378	86,1	19,567	0	19,472	4,822,30	20,329	68,889,30	26,097							
	9h45	150,7	19,472	32,3	19,472	0	15,473	96,9	19,662	0	19,567	4,994,50	20,71	71,644,90	27,764							
	10h	161,5	19,662	21,5	19,662	0	15,664	118,4	19,853	0	19,758	4,650,00	20,71	57,867,00	26,39							
	10h15	150,7	19,853	21,5	19,853	0	15,855	118,4	19,948	0	19,948	4,133,40	20,71	49,600,30	25,708							
	10h30	161,5	20,043	21,5	20,043	0	15,855	139,9	20,138	0	20,043	4,477,80	20,71	52,355,90	25,61							
	10h45	204,5	20,138	32,3	20,138	0	15,951	150,7	20,329	0	20,329	4,822,30	20,901	55,111,50	26,488							
	11h	161,5	20,329	21,5	20,329	0	16,141	129,2	20,424	0	20,424	4,305,60	20,996	46,844,80	25,805							
	11h15	107,6	20,424	10,8	20,424	0	16,141	96,9	20,424	0	20,424	3,272,20	20,71	38,578,00	24,545							
	11h30	75,3	20,519	0	20,519	0	16,237	64,6	20,519	0	20,519	2,669,50	20,519	30,311,30	23,677							
	11h45	86,1	20,519	0	20,519	0	16,332	86,1	20,519	0	20,519	2,669,50	20,329	28,933,50	23,773							
	12h	86,1	20,615	0	20,615	0	16,332	86,1	20,519	0	20,519	2,325,00	20,234	27,555,70	23,196							
	12h15	75,3	20,615	0	20,615	0	16,332	75,3	20,615	0	20,519	2,497,20	20,138	28,933,50	23,388							
	12h30	75,3	20,615	10,8	20,615	0	16,427	118,4	20,615	0	20,519	3,100,00	20,234	38,578,00	24,545							
	12h45	129,2	20,615	10,8	20,615	0	16,427	118,4	20,615	0	20,519	3,444,50	20,424	42,711,40	24,448							
	13h	107,6	20,615	10,8	20,71	0	16,332	86,1	20,615	0	20,615	4,822,30	20,71	60,622,60	26,292							
	13h15	150,7	20,615	10,8	20,71	0	16,427	161,5	20,71	0	20,615	4,305,60	20,901	71,156,10	27,173							
	14h	269,1	20,805	43,1	20,805	0	16,618	150,7	20,805	0	20,71	3,100,00	20,996	165,334,40	34,058							
	14h15	322,9	20,901	107,6	20,901	0	16,618	150,7	20,805	0	20,71	2,669,50	20,996	166,133,80	29,452							
	14h30	215,3	21,187	43,1	21,187	0	16,903	118,4	20,996	0	20,996	2,669,50	20,996	66,133,80	26,292							
	14h45	204,5	21,282	21,5	21,282	0	16,999	139,9	21,187	0	21,187	3,444,50	20,996	60,622,60	27,075							
	15h	161,5	21,378	21,5	21,378	0	17,094	107,6	21,282	0	21,282	2,755,60	20,901	55,111,50	27,272							
	15h15	129,2	21,473	21,5	21,378	0	17,094	86,1	21,282	0	21,282	2,497,20	20,901	44,089,20	28,357							
	15h30	75,3	21,473	21,5	21,473	0	17,094	32,3	21,378	0	21,282	1,377,80	20,519	148,801,00	28,357							
	15h45	75,3	21,569	32,3	21,569	0	17,189	32,3	21,378	0	21,473	1,280,90	20,615	49,600,30	31,676							
	16h	150,7	21,664	21,5	21,664	0	17,284	86,1	21,473	0	21,569	2,238,90	20,615	41,333,60	26,292							
	16h15	75,3	21,664	0	21,664	0	17,189	32,3	21,569	0	21,473	1,636,10	20,519	21,355,70	23,581							
	16h30	32,3	21,569	0	21,569	0	17,094	10,8	21,473	0	21,473	1,001,00	20,329	10,333,40	22,621							
	16h45	32,3	21,569	0	21,569	0	16,808	21,5	21,378	0	21,378	1,033,30	20,234	10,677,80	22,142							
	17h	43,1	21,473	0	21,473	0	16,999	21,5	21,378	0	21,282	1,377,80	20,234	13,777,90	22,429							
	17h15	21,5	21,378	0	21,378	0	16,999	10,8	21,282	0	21,187	807,3	20,138	8,611,20	21,951							
	17h30	10,8	21,282	0	21,282	0	16,903	0	21,187	0	21,187	581,3	19,948	7,577,80	21,378							
	17h45	0	21,187	0	21,187	0	16,808	0	21,091	0	21,091	269,1	19,758	4,133,40	20,71							
	18h	0	21,091	0	21,091	0	16,713	0	20,996	0	20,996	19,9	19,567	2,669,50	19,948							
	18h15	0	20,996	0	20,996	0	16,618	0	20,901	0	20,901	43,1	19,282	904,2	19,187							
	18h30	0	20,805	0	20,805	0	16,427	0	20,805	0	20,71	0	19,092	10,76	18,806							
	18h45	0	20,71	0	20,71	0	16,332	0	20,615	0	20,615	0	18,996	0	18,711							
	19h	0	20,615	0	20,615	0	16,237	0	20,519	0	20,424	0	18,996	0	18,616							
	Média diária	82,65849	20,33674	1,137358	20,36011	0	16,10103774	60,32075	20,38151	0	20,28445	2,341,672	19,79943	3,6032,04717	23,42896	#IDV(O)	#IDV(O)	#IDV(O)				

E

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																			
Semana/ Data e hora levant.	Hora	Tipo de céu**	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperatura (máx/ min)	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura														
					Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 - a 12,5 cm do centro (S2)		Vaso 4 - central (S5)		Vaso 5 - a 12,5 cm do centro (S4)		Vaso 6 - central (S7)		Sensores Extermos		
					Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Sob luz direta (S8)	Na Sombra	OBS:						
					Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)					
	6h				0	19,567	0	16,999	0	19,758	0	19,567	0	17,094	43,1	15,569			
	6h15				0	19,472	0	16,808	0	19,758	0	19,472	0	17,189	635,1	15,76			
	6h30				0	19,377	0	16,903	0	19,662	0	19,377	0	17,189	1894,5	15,76			
	6h45				0	19,377	0	16,808	0	19,567	0	19,377	0	17,284	3444,5	16,237			
	7h				0	19,282	0	16,808	0	19,567	0	19,282	0	17,475	4650	16,618			
	7h15				0	19,282	0	16,808	0	19,472	0	19,282	0	17,95	6200	17,379			
	7h30				0	19,282	0	16,808	0	19,472	0	19,282	0	18,616	8266,7	18,426			
	7h45				0	19,282	0	16,808	0	19,472	0	19,282	0	19,662	23422,4	23,004			
	8h				0	19,282	0	16,903	0	19,377	0	19,377	0	20,519	30311,3	28,456			
	8h15				0	19,282	0	16,808	0	19,567	0	19,472	0	21,282	38578	30,963			
	8h30				0	19,377	0	16,999	0	19,662	0	19,567	0	21,855	49600,3	33,222			
	8h45				10,8	19,567	0	17,189	0	19,853	0	19,758	0	22,429	71644,9	35,435			
	9h				10,8	19,853	0	17,475	0	20,138	0	20,138	0	22,812	85422,8	37,494			
	9h15				10,8	20,329	0	17,95	10,8	20,71	0	20,805	0	23,1	99200,7	38,49			
	9h30				21,5	20,901	0	18,426	10,8	21,378	0	21,473	0	23,388	115734,1	38,714			
	9h45				21,5	20,901	0	18,426	10,8	21,378	0	21,473	0	23,388	115734,1	38,714			
	10h				32,3	22,046	10,8	22,046	0	19,567	0	22,812	0	23,581	143289,8	40,761			
	10h15				43,1	22,621	21,5	22,717	0	20,138	32,3	23,092	0	23,677	165334,4	41,692			
	10h30				43,1	23,292	21,5	23,292	0	20,71	43,1	23,966	0	24,158	176356,7	42,758			
	10h45				53,8	23,869	32,3	23,869	10,8	21,282	53,8	24,545	0	24,835	189450	43,723			
	11h				64,6	24,448	43,1	24,545	0	22,142	64,6	25,222	0	25,513	198401,3	43,723			
	11h15				96,9	25,125	75,3	25,125	0	22,621	107,6	25,902	0	26,195	172220	43,723			
	11h30				150,7	25,708	96,9	25,708	0	23,1	118,4	26,488	0	26,683	155000	43,448			
	11h45				193,8	26,195	129,2	26,195	0	23,677	139,9	26,979	0	27,075	108490	43,723			
	12h				215,3	26,683	161,5	26,683	0	23,773	161,5	27,37	0	27,567	133470	43,448			
	12h15				236,8	27,272	129,2	27,272	0	23,484	172,2	27,862	0	28,06	127010	43,448			
	12h30				247,6	27,764	161,5	27,764	0	21,187	183	28,258	0	28,456	127110	43,448			
	12h45				226	28,258	96,9	28,258	0	21,091	161,5	28,655	0	28,853	119480	43,844			
	13h				204,5	28,655	96,9	28,655	0	20,996	139,9	28,953	0	29,152	113020	43,966			
	13h15				172,2	29,053	107,6	29,053	0	21,951	118,4	29,352	0	29,452	958	46,083			
	13h30				139,9	29,452	96,9	29,452	0	22,525	96,9	29,652	0	29,853	990,3	46,722			
	13h45				107,6	29,953	75,3	29,953	0	23,869	75,3	29,953	0	30,255	968,8	46,722			
	14h				75,3	30,457	53,8	30,457	0	23,388	53,8	30,356	0	30,558	958	46,722			
	14h15				64,6	30,862	43,1	30,76	0	23,677	43,1	30,659	0	30,963	861,1	46,21			
	14h30				43,1	31,268	21,5	31,166	0	23,196	32,3	30,963	0	31,166	850,4	46,85			
	14h45				32,3	31,676	21,5	31,574	0	23,196	21,5	31,166	0	31,472	828,8	46,465			
	15h				32,3	32,086	10,8	31,983	0	23,677	21,5	31,166	0	31,778	753,5	46,21			
	15h15				21,5	32,291	10,8	32,188	0	23,773	21,5	31,076	0	31,983	635,1	45,577			
	15h30				21,5	32,497	0	32,394	0	23,677	10,8	31,88	0	32,086	559,7	45,703			
	15h45				21,5	32,994	0	32,291	0	23,773	10,8	31,88	0	32,086	516,7	44,089			
	16h				10,8	32,188	0	32,086	0	24,062	10,8	31,076	0	31,88	484,4	42,758			
	16h15				0	31,88	0	31,778	0	nc	0	31,472	0	31,472	452,1	41,81			
	16h30				0	31,37	0	31,268	0	nc	0	31,064	0	31,064	430,6	41,225			
	16h45				0	30,963	0	30,862	0	nc	0	30,659	0	30,659	430,6	41,225			
	17h				0	30,457	0	30,356	0	nc	0	30,255	0	30,255	441,3	41,064			
	17h15				0	30,054	0	29,953	0	nc	0	29,953	0	29,953	430,6	40,457			
	17h30				0	29,652	0	29,552	0	nc	0	29,552	0	29,552	366	39,552			
	17h45				0	29,252	0	29,252	0	nc	0	29,252	0	29,252	107,6	38,754			
	18h				0	28,953	0	28,853	0	nc	0	28,953	0	28,953	43,1	37,665			
	18h15				0	28,555	0	28,555	0	nc	0	28,655	0	28,655	43,1	36,773			
	18h30				0	28,258	0	28,258	0	nc	0	28,357	0	28,357	10,8	35,81			
	18h45				0	27,961	0	27,961	0	nc	0	28,06	0	28,06	0	35,902			
	19h				0	27,665	0	27,665	0	nc	0	27,764	0	27,764	0	35,805			
	Média diária				49,556	25,9627	28,8434	25,9496	0,203774	26,10321509	36,96415	26,116	0	26,18913	1429,991	22,45947	1011,73604	35,98323	#DIV/0!

C

Semana 5
Teste Piloto (TP)
22/5 et

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																		
Semana/ Data e hora levant.	Tipo de céu**	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Previsão Umidade relativa do ar*	Plântula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												OBS:		
				Vaso 1 (V1) Duto com heliostato			Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato			Vaso 3 (V3) Duto sem heliostato			Sensores Extermos					
				Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Sob luz direta (S8)	Na Sombra	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)			
6h				0	22,238	0	22,333	0	nc	0	22,525	0	22,238	0	19,092	0	18,711	
6h15				0	22,142	0	22,238	0	nc	0	22,429	0	22,142	0	19,092	10,8	18,711	
6h30				0	22,046	0	22,142	0	nc	0	22,333	0	22,046	10,8	18,996	13,9	18,616	
6h45				0	21,951	0	22,046	0	nc	0	22,142	0	21,855	32,3	19,092	45,2	18,426	
7h				0	21,855	0	21,951	0	nc	0	22,046	0	21,76	64,6	19,092	105,4	18,426	
7h15				0	21,76	0	21,855	0	nc	0	22,046	0	21,76	269,1	18,996	310,0	18,426	
7h30				0	21,664	0	21,76	0	nc	0	21,951	0	21,664	183	18,996	2,238	18,426	
7h45				0	21,569	0	21,664	0	nc	10,8	21,855	0	21,569	988,8	18,996	12,400	18,996	
8h				0	21,473	0	21,664	0	nc	0	21,76	0	21,473	893,4	19,377	10,677	19,472	
8h15				0	21,473	0	21,569	0	nc	10,8	21,76	0	21,473	1,722	19,662	17,911	20,329	
8h30				10,8	21,473	0	21,569	0	nc	21,5	21,664	0	21,473	2,325	19,853	24,800	21,187	
8h45				0	21,473	0	21,569	0	nc	10,8	21,664	0	21,473	1,980	20,043	17,222	21,282	
9h				21,5	21,473	0	21,569	0	nc	43,1	21,664	0	21,473	1,722	20,138	31,689	21,282	
9h15				0	21,473	0	21,569	0	nc	0	21,76	0	21,473	559,7	20,234	6,544	20,901	
9h30				0	21,473	0	21,569	0	nc	0	21,76	0	21,473	215,3	20,043	2,497	19,662	
9h45				0	21,473	0	21,569	0	nc	0	21,76	0	21,473	559,7	20,043	5,166	19,758	
10h				0	21,473	0	21,569	0	nc	10,8	21,664	0	21,473	807,3	19,948	11,022	19,662	
10h15				0	21,473	0	21,569	0	nc	0	21,569	0	21,378	1,367	19,948	9,300	19,948	
10h30				0	21,378	0	21,473	0	nc	0	21,569	0	21,378	516,7	19,853	5,511	19,567	
10h45				0	21,378	0	21,473	0	nc	0	21,569	0	21,282	850,4	19,853	9,644	19,853	
11h				0	21,378	0	21,473	0	nc	0	21,473	0	21,282	893,4	20,043	8,611	19,948	
11h15				10,8	21,378	0	21,378	0	nc	21,5	21,473	0	21,282	1,636	19,948	23,422	20,424	
11h30				43,1	21,282	0	21,378	0	nc	75,3	21,473	0	21,282	3,100	20,329	44,089	22,429	
11h45				75,3	21,378	0	21,378	0	nc	86,1	21,473	0	21,282	4,994	20,996	44,089	22,545	
12h				53,8	21,378	0	21,473	0	nc	64,6	21,569	0	21,378	3,444	21,378	38,578	23,869	
12h15				32,3	21,473	0	21,569	0	nc	43,1	21,664	0	21,473	1,636	21,378	26,178	22,812	
12h30				43,1	21,473	0	21,569	0	nc	43,1	21,664	0	21,569	3,100	21,569	33,066	23,677	
12h45				64,6	21,569	0	21,664	0	nc	64,6	21,76	0	21,664	2,927	21,664	41,333	24,835	
13h				10,8	21,664	0	21,76	0	nc	21,5	21,855	0	21,76	1,302	21,569	12,400	22,908	
13h15				0	21,76	0	21,855	0	nc	0	21,855	0	21,855	312,2	21,282	4,133	21,473	
13h30				0	21,76	0	21,855	0	nc	0	21,951	0	21,855	602,8	20,996	4,650	20,901	
13h45				0	21,76	0	21,855	0	nc	0	21,951	0	21,855	1,292	20,901	1,894	20,424	
14h				0	21,76	0	21,855	0	nc	0	21,951	0	21,76	1,938	20,71	1,980	20,234	
14h15				0	21,76	0	21,76	0	nc	0	21,855	0	21,76	624,3	20,71	7,233	20,329	
14h30				75,3	21,76	0	21,76	0	nc	86,1	21,855	0	21,76	3,444	21,187	49,600	25,416	
14h45				21,5	21,76	0	21,855	0	nc	21,5	21,855	0	21,76	1,808	21,378	26,178	22,525	
15h				96,9	21,76	10,8	21,76	0	nc	96,9	21,855	0	21,76	3,100	21,664	66,133	26,879	
15h15				75,3	21,855	0	21,855	0	nc	64,6	21,951	0	21,855	2,238	21,855	38,578	25,222	
15h30				21,5	21,855	0	21,951	0	nc	21,5	22,046	0	21,951	1,808	22,046	26,933	24,545	
15h45				32,3	21,951	0	22,046	0	nc	32,3	22,142	0	22,046	2,325	22,142	22,044	24,158	
16h				53,8	22,046	0	22,142	0	nc	43,1	22,142	0	22,142	2,669	22,046	28,933	24,351	
16h15				43,1	22,142	0	22,142	0	nc	43,1	22,238	0	22,142	1,808	22,046	28,933	25,125	
16h30				32,3	22,238	0	22,238	0	nc	32,3	22,333	0	22,238	1,302	21,951	19,977	24,158	
16h45				10,8	22,238	0	22,333	0	nc	10,8	22,333	0	22,333	549	21,76	8,611	22,429	
17h				0	22,238	0	22,333	0	nc	0	22,429	0	22,333	193,8	21,569	3,272	21,664	
17h15				0	22,238	0	22,333	0	nc	0	22,333	0	22,333	21,5	21,378	33,7	21,282	
17h30				0	22,238	0	22,333	0	nc	0	22,333	0	22,238	0	21,282	10,76	20,901	
17h45				0	22,238	0	22,238	0	nc	0	22,333	0	22,238	0	21,091	53,8	20,519	
18h				0	22,142	0	22,142	0	nc	0	22,238	0	22,142	0	20,71	43,1	19,662	
18h15				0	22,046	0	22,046	0	nc	0	22,429	0	21,951	43,1	20,043	62,4	19,377	
18h30				0	21,951	0	22,046	0	nc	0	21,855	0	21,855	0	20,43	0	19,282	
18h45				0	21,855	0	21,855	0	nc	0	21,951	0	21,76	0	19,948	0	19,187	
19h				0	21,76	0	21,76	0	nc	0	21,855	0	21,664	0	19,948	0	19,282	
Mé dia diária				15,63962	21,75085	0,203774	21,82292	0		18,48679	21,92202	0	21,75621	1,155,808	20,54542	1,4818,9283	21,25308	#DIV/0!

E

Semana 5
Teste Piloto (TP)
23/5 et

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ hora mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Painela 1 - Dados de luminosidade e temperatura												Sensores Extermos		OBS:	
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 4 - central (S4)		Vaso 5 - a 12,5 cm do centro (S5)		Vaso 6 - central (S6)					Vaso 7 (V7) Censelato
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		Ilum (lux)
					6h	0	20,043	0	19,948	0	19,948	0	19,758	0	18,711	0	18,616				
					6h15	0	19,948	0	20,138	0	nc	0	19,948	0	18,711	0	18,616				
					6h30	0	19,948	0	20,138	0	nc	0	19,948	0	18,711	0	18,616				
					6h45	0	19,948	0	20,043	0	nc	0	19,948	0	18,711	0	18,616				
					7h	0	19,948	0	20,043	0	nc	0	19,948	0	18,806	0	18,616				
					7h15	0	19,948	0	20,043	0	nc	0	19,948	0	18,806	0	18,616				
					7h30	0	19,948	0	20,043	0	nc	0	19,948	0	18,806	0	18,616				
					7h45	0	19,948	0	20,043	0	nc	0	19,948	0	18,806	0	18,616				
					8h	0	19,853	0	19,853	0	nc	0	19,853	0	18,806	0	18,616				
					8h15	0	19,853	0	19,948	0	nc	0	19,853	0	18,901	0	18,806				
					8h30	0	19,758	0	19,948	0	nc	0	19,758	0	18,901	0	18,806				
					8h45	0	19,758	0	19,948	0	nc	0	19,758	0	18,901	0	18,806				
					9h	0	19,758	0	19,853	0	nc	0	19,758	0	18,901	0	18,806				
					9h15	0	19,758	0	19,853	0	nc	0	19,758	0	18,901	0	18,806				
					9h30	0	19,758	0	19,853	0	nc	0	19,758	0	18,901	0	18,806				
					9h45	0	19,758	0	19,853	0	nc	0	19,758	0	18,901	0	18,806				
					10h	0	19,758	0	19,853	0	nc	0	19,758	0	18,901	0	18,806				
					10h15	0	19,758	0	19,853	0	nc	0	19,758	0	18,901	0	18,806				
					10h30	0	19,758	0	19,853	0	nc	0	19,758	0	18,901	0	18,806				
					10h45	10,8	19,758	0	19,853	0	nc	10,8	19,758	0	19,567	1,076	14,711	20	19,948		
					11h	10,8	19,758	0	19,853	0	nc	10,8	19,758	0	19,567	1,377	14,711	20	19,948		
					11h15	10,8	19,853	0	19,948	0	nc	10,8	19,758	0	19,662	1,550	20,424	20,424	20,615		
					11h30	21,5	19,853	0	19,948	0	nc	21,5	19,853	0	19,662	1,463	16,533	40	20,615		
					11h45	10,8	19,853	0	19,948	0	nc	10,8	19,853	0	19,758	1,722	11,022	30	20,329		
					12h	53,8	19,853	0	19,948	0	nc	43,1	19,948	0	19,758	2,927	31,689	10	21,855		
					12h15	75,3	19,948	0	20,043	0	nc	53,8	19,948	0	19,853	3,961	44,089	20	23,966		
					12h30	75,3	20,424	0	20,138	0	nc	53,8	19,948	0	19,948	3,272	20,519	35,822	23,869		
					12h45	43,1	20,138	0	20,234	0	nc	32,3	20,234	0	20,138	2,755	20,424	28,933	23,004		
					13h	53,8	20,329	0	20,329	0	nc	43,1	20,329	0	20,234	2,755	20,424	30,311	23,004		
					13h15	53,8	20,424	0	20,424	0	nc	43,1	20,424	0	20,329	2,755	20,519	30,311	23,196		
					13h30	75,3	20,519	0	20,519	0	nc	53,8	20,519	0	20,424	3,100	20,615	37,200	23,773		
					13h45	107,6	20,615	10,8	20,71	0	nc	75,3	20,615	0	20,519	3,961	20,805	57,867	25,222		
					14h	150,7	20,805	32,3	20,805	0	nc	86,1	20,805	0	20,71	4,477	21,091	68,889	28,06		
					14h15	107,6	20,996	10,8	21,091	0	nc	75,3	20,996	0	20,901	4,133	21,187	57,867	26,292		
					14h30	64,6	21,187	0	21,282	0	nc	53,8	21,091	0	21,091	2,927	21,187	35,822	24,835		
					14h45	64,6	21,282	0	21,378	0	nc	43,1	21,282	0	21,187	2,927	21,187	34,444	24,545		
					15h	64,6	21,378	0	21,473	0	nc	53,8	21,378	0	21,282	3,272	21,187	38,578	25,028		
					15h15	75,3	21,473	10,8	21,569	0	nc	53,8	21,473	0	21,378	3,272	21,378	41,333	25,708		
					15h30	86,1	21,664	10,8	21,664	0	nc	53,8	21,473	0	21,473	3,444	21,378	46,844	25,61		
					15h45	21,5	21,76	0	21,76	0	nc	10,8	21,664	0	21,569	1,054	21,282	11,711	24,448		
					16h	21,5	21,76	0	21,855	0	nc	10,8	21,664	0	21,664	9,257	20,996	13,089	22,908		
					16h15	21,5	21,76	0	21,855	0	nc	21,5	21,664	0	21,664	1,463	20,901	17,911	23,004		
					16h30	10,8	21,76	0	21,855	0	nc	10,8	21,664	0	21,569	9,257	20,805	10,333	22,142		
					16h45	0	21,76	0	21,855	0	nc	0	21,664	0	21,569	8,504	20,519	4,994	21,378		
					17h	0	21,664	0	21,76	0	nc	0	21,569	0	21,473	3,66	20,329	3,444	20,805		
					17h15	0	21,664	0	21,664	0	nc	0	21,473	0	21,378	2,26	20,138	1,980	20,71		
					17h30	0	21,569	0	21,473	0	nc	0	21,378	0	21,378	2,906	20,043	3,100	20,424		
					17h45	0	21,473	0	21,473	0	nc	0	21,282	0	21,282	2,799	19,948	3,272	20,234		
					18h	0	21,378	0	21,378	0	nc	0	21,187	0	21,187	2,476	19,853	3,100	19,948		
					18h15	0	21,282	0	21,282	0	nc	0	21,091	0	21,091	9,69	19,758	1,076	18,901		
					18h30	0	21,187	0	21,187	0	nc	0	20,996	0	20,996	0	19,567	1,076	18,901		
					18h45	0	21,091	0	21,091	0	nc	0	20,901	0	20,901	0	19,472	0	18,521		
					19h	0	20,996	0	20,996	0	nc	0	20,805	0	20,805	0	19,377	0	18,236		
					Média diária	24,36792	1,424528	20,6042	0	17,6717	20,49115	0	20,34192	0	19,83343	1,526674717	21,12955	#DIV/0!	#DIV/0!		

E

Semana 5
Teste Piloto (TP)
24/5 set

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																						
Planilha 1 - Dados de luminância e temperatura																						
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar* at*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Vaso 1 (V1) Duto com heliostato				Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato				Vaso 3 (V3) Censado				Sensores Externos		OBS.:		
						Zona 1 - central (S3)		Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)		Zona 4 - central (S5)		Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)		Zona 6 - central (S7)		Sob Luz direta (S8)			Na Sombra	
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		Ilum (lux)	Temp. (°C)
					6h	0	18,524	0	18,616	0	0	0	18,616	0	18,331	0	17,76	53,8	17,379			
					6h15	0	18,521	0	18,616	0	0	0	18,616	0	18,331	75,3	17,76	635,1	17,284			
					6h30	0	18,426	0	18,521	0	0	0	18,521	0	18,331	258,3	17,76	2238,9	17,57			
					6h45	0	18,426	0	18,521	0	0	0	18,521	0	18,236	742,7	17,95	4994,5	17,95			
					7h	10,8	18,426	0	18,521	0	10,8	10,8	18,521	0	18,236	1.227,10	18,045	9644,5	18,426			
					7h15	10,8	18,426	0	18,521	0	10,8	10,8	18,521	0	18,236	1.377,80	18,331	10677,8	19,187			
					7h30	21,5	18,426	0	18,521	0	21,5	21,5	18,426	0	18,236	1.894,50	18,521	15844,5	19,567			
					7h45	21,5	18,426	0	18,521	0	21,5	21,5	18,521	0	18,236	2.152,80	19,187	15155,7	22,429			
					8h	43,1	18,426	0	18,521	0	43,1	43,1	18,521	0	18,331	3.100,00	19,377	27555,7	23,196			
					8h15	107,6	18,521	10,8	18,521	0	64,6	64,6	18,521	0	18,331	4.477,80	19,758	44089,2	24,931			
					8h30	118,4	18,616	21,5	18,616	0	64,6	64,6	18,616	0	18,426	4.822,30	19,948	38778	23,869			
					8h45	161,5	18,616	43,1	18,711	0	75,3	75,3	18,711	0	18,521	5.511,10	20,424	71644,9	27,862			
					9h	312,2	18,806	86,1	18,806	0	139,9	139,9	18,806	0	18,711	5.511,10	20,996	57867	28,456			
					9h15	462,9	18,996	139,9	18,996	0	215,3	215,3	18,996	0	18,901	5.511,10	21,091	57867	26,292			
					9h30	398,3	19,187	129,2	19,187	10,8	204,5	204,5	19,187	0	19,092	5.511,10	21,282	77156,1	28,555			
					10h	667,4	19,662	193,8	19,662	0	387,5	387,5	19,662	0	19,472	5.511,10	21,951	63378,2	28,159			
					10h15	516,7	19,853	183	19,853	10,8	322,9	322,9	19,758	0	19,662	5.166,70	22,142	93689,5	31,88			
					10h30	581,3	20,138	193,8	20,138	10,8	387,5	387,5	20,043	0	19,948	5.511,10	22,333	85422,8	30,356			
					10h45	688,9	20,424	215,3	20,329	10,8	472,6	472,6	20,234	0	20,138	6.200,00	22,238	115734,1	29,952			
					11h	839,6	20,615	279,9	20,615	10,8	536,2	536,2	20,424	0	20,329	6.200,00	22,424	115734,1	29,952			
					11h15	947,2	20,805	301,4	20,805	10,8	581,3	581,3	20,615	0	20,424	7.233,40	22,429	93689,5	29,652			
					11h30	624,3	20,996	183	20,901	0	398,3	398,3	20,71	0	20,615	4.994,50	22,046	55111,5	26,39			
					11h45	731,9	21,091	226	20,996	0	441,3	441,3	20,805	0	20,71	6.200,00	21,951	66133,8	26,977			
					12h	947,2	21,187	247,6	21,091	0	602,8	602,8	20,901	0	20,71	6.544,50	22,238	60622,6	27,468			
					12h15	979,5	21,282	269,1	21,187	0	613,5	613,5	20,996	0	20,805	6.544,50	22,142	71644,9	27,173			
					12h30	785,8	21,282	193,8	21,187	0	484,4	484,4	20,996	0	20,805	5.511,10	22,142	49600,3	26,781			
					12h45	710,4	21,282	193,8	21,282	0	409	409	20,996	0	20,805	6.200,00	21,951	49600,3	25,319			
					13h	624,3	21,282	172,2	21,282	0	376,7	376,7	20,996	0	20,805	5.338,90	21,951	37200,2	24,641			
					13h15	441,3	21,282	118,4	21,187	0	258,3	258,3	20,901	0	20,805	3.272,20	21,664	28933,5	23,966			
					13h30	411,3	21,187	118,4	21,187	0	258,3	258,3	20,901	0	20,805	4.477,80	21,569	33066,9	23,484			
					13h45	301,4	21,187	86,1	21,187	0	183	183	20,901	0	20,71	2.411,10	21,378	23422,4	23,292			
					14h	215,3	21,091	64,6	21,091	0	129,2	129,2	20,805	0	20,71	2.238,90	21,282	15844,5	22,717			
					14h15	53,8	21,091	10,8	21,091	0	32,3	32,3	20,805	0	20,71	419,8	21,091	4477,8	21,473			
					14h30	86,1	20,996	21,5	21,091	0	53,8	53,8	20,805	0	20,615	839,6	20,805	6200	20,329			
					14h45	247,6	20,996	53,8	20,996	0	161,5	161,5	20,71	0	20,615	1.550,00	20,71	15844,5	20,901			
					15h	172,2	20,901	43,1	20,901	0	107,6	107,6	20,71	0	20,615	1.463,90	20,615	11022,3	20,71			
					15h15	118,4	20,805	21,5	20,901	0	64,6	64,6	20,71	0	20,519	1.054,90	20,424	8611,2	20,329			
					15h30	183	20,805	43,1	20,805	0	107,6	107,6	20,615	0	20,519	1.463,90	20,329	11022,3	20,424			
					15h45	172,2	20,71	43,1	20,71	0	96,9	96,9	20,519	0	20,424	1.950,00	20,234	13777,9	20,519			
					16h	204,5	20,615	53,8	20,71	0	107,6	107,6	20,519	0	20,424	1.894,50	20,138	15155,7	20,519			
					16h15	204,5	20,615	53,8	20,615	0	118,4	118,4	20,424	0	20,329	1.722,20	20,138	16533,4	20,71			
					16h30	107,6	20,519	21,5	20,519	0	64,6	64,6	20,424	0	20,329	1.022,60	20,138	10333,4	20,234			
					16h45	107,6	20,424	21,5	20,519	0	64,6	64,6	20,329	0	20,234	1.022,60	20,043	9644,5	20,043			
					17h	96,9	20,424	21,5	20,424	0	53,8	53,8	20,329	0	20,234	882,6	19,948	7233,4	19,853			
					17h15	53,8	20,329	10,8	20,424	0	32,3	32,3	20,329	0	20,138	592	19,948	4477,8	19,758			
					17h30	10,8	20,329	0	20,424	0	0	0	20,329	0	20,138	96,9	19,948	1722,2	19,567			
					17h45	0	20,329	0	20,329	0	0	0	20,329	0	20,138	96,9	19,853	947,2	19,472			
					18h	0	20,234	0	20,329	0	0	0	20,234	0	20,138	43,1	19,853	419,8	19,377			
					18h15	0	20,234	0	20,329	0	0	0	20,138	0	20,138	0	19,758	43,1	19,282			
					18h30	0	20,234	0	20,234	0	0	0	20,234	0	20,138	0	19,758	0	19,282			
					18h45	0	20,138	0	20,234	0	0	0	20,234	0	20,043	0	19,662	0	19,092			
					19h	0	20,138	0	20,234	0	0	0	20,234	0	20,043	0	19,567	0	19,092			
					Média diária	284,5358	20,06896	80,63396	20,09589	1,426415	1,712057	19,97185	0	19,82089	2907,074	20,50102	31852,18	23,05547				

E

25/set

Coleta em:
02/10/18

Turno
coleta:
manual

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																							
Planilha 1 - Dados de luminância e temperatura																							
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Vaso 1 (V1) Duto com holoostato						Vaso 2 (V2) Duto sem holoostato						Zona 6 - central (S7)	Sensores Externos		OBS.:		
						Zona 1 - central (S3)		Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)		Zona 4 - central (S5)		Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)		Zona 6 - central (S7)			Sob Luz direta (S8)	Na Sombra			
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		Ilum (lux)	Temp. (°C)		Ilum (lux)	Temp. (°C)
Semana 6 Teste Piloto (TP)	26/sep			E	6h	0	19,377	0	19,472	0	19,472	0	19,662	0	19,567	0	18,426	5,3,8	17,95				
					6h15	0	19,377	0	19,472	0	19,472	0	19,662	0	19,567	0	18,426	64,6	18,426	47,6,6	17,855		
					6h30	0	19,377	0	19,377	0	19,377	0	19,662	0	19,472	0	19,662	0	19,472	18,331	18,083	17,853	
					6h45	21,5	19,377	0	19,377	0	10,8	19,662	0	19,472	8,07,3	18,521	48,22,3	18,236					
					7h	32,3	19,377	0	19,377	0	21,5	19,567	0	19,377	12,91,7	18,806	6,200	48,711					
					7h15	53,8	19,377	10,8	19,377	0	32,3	19,567	0	19,377	1,550	19,187	96,44,5	19,282					
					7h30	64,6	19,377	10,8	19,377	0	32,3	19,567	0	19,377	1,324	19,948	93,00,1	20,138					
					7h45	75,3	19,377	21,5	19,377	0	53,8	19,662	0	19,472	2,325	20,519	17,911,2	22,238					
					8h	32,3	19,377	10,8	19,377	0	21,5	19,662	0	19,567	24,11,1	20,71	19,97,9	23,581					
					8h15	43,1	19,377	10,8	19,472	0	32,3	19,758	0	19,567	37,88,9	21,664	34,444,7	28,853					
					8h30	75,3	19,472	21,5	19,567	0	53,8	19,758	0	19,662	41,33,4	22,525	44,089,2	30,255					
					8h45	64,6	19,662	21,5	19,662	0	53,8	19,948	0	19,758	51,66,7	23,1	52,355,9	30,862					
					9h	86,1	19,853	32,3	19,948	0	64,6	20,138	0	20,138	39,61,1	23,581	63,378,2	32,394					
					9h15	139,9	20,234	53,8	20,234	10,8	107,6	20,615	0	20,615	48,05,6	23,869	99,200,7	34,163					
					9h30	226	20,615	86,1	20,71	10,8	161,5	21,282	0	21,187	53,38,9	24,351	110,223	35,435					
					9h45	258,3	21,091	96,9	21,091	10,8	183	21,855	0	21,76	48,22,3	24,448	110,223	35,115					
					10h	312,2	21,473	118,4	21,569	21,5	226	22,333	0	22,333	4,650	24,351	115,734,1	34,796					
					10h15	333,7	21,855	129,2	21,951	32,3	236,8	22,717	10,8	23,004	4,305,6	24,351	132,267,5	35,971					
					10h30	430,6	22,238	172,2	22,333	32,3	312,2	23,1	10,8	23,004	4,305,6	24,351	132,267,5	35,971					
					10h45	495,1	22,621	193,8	22,717	32,3	355,2	23,484	0	23,388	4,805,6	24,351	126,756,4	36,295					
					11h	602,8	23,004	236,8	23,004	21,5	430,6	23,869	0	23,773	4,805,6	24,255	121,245,2	36,511					
					11h15	699,7	23,388	269,1	23,388	10,8	495,1	24,158	0	24,062	4,477,8	24,158	115,734,1	37,935					
					11h30	893,4	23,773	290,6	23,677	10,8	592	24,545	0	24,448	5,166,7	24,158	88,178,4	34,903					
					11h45	994,2	24,062	301,4	23,966	10,8	615,5	24,641	0	24,641	4,994,5	24,255	93,689,5	33,953					
					12h	958	24,255	333,7	24,255	10,8	645,8	24,738	0	24,738	5,511,1	24,158	104,711,8	33,118					
					12h15	947,2	24,448	301,4	24,448	10,8	624,3	24,931	0	24,835	5,511,1	24,351	93,689,5	34,479					
12h30	925,7	24,641	301,4	24,641	10,8	592	25,028	0	24,931	5,511,1	24,545	93,689,5	34,479										
12h45	893,4	24,835	290,6	24,738	10,8	570,5	25,125	0	25,125	5,338,9	24,641	93,689,5	34,268										
13h	871,9	24,931	279,9	24,931	10,8	559,7	25,222	0	25,222	5,511,1	24,835	99,200,7	34,479										
13h15	818,1	25,125	258,3	25,125	10,8	516,7	25,319	0	25,319	5,166,7	24,931	93,689,5	34,796										
13h30	764,2	25,319	236,8	25,319	10,8	484,4	25,513	0	25,513	4,822,3	24,931	88,178,4	34,585										
13h45	721,2	25,416	226	25,416	10,8	452,1	25,61	0	25,61	4,822,3	24,835	93,689,5	34,691										
14h	688,9	25,61	215,3	25,61	10,8	441,3	25,708	0	25,708	4,650	24,931	92,00,7	35,542										
14h15	645,8	25,805	193,8	25,708	10,8	398,3	25,805	0	25,902	4,822,3	24,931	79,911,6	34,585										
14h30	635,1	25,902	183	25,805	10,8	387,5	25,902	0	25,902	4,650	24,931	68,889,3	32,497										
14h45	549	25,902	161,5	25,902	0	335,7	25,902	0	26	4,805,6	24,835	71,644,9	33,118										
15h	505,9	26	150,7	26	0	312,2	26	0	26	3,961,1	24,738	68,889,3	33,118										
15h15	473,6	26,097	139,9	26	0	290,6	26	0	26	3,788,9	24,641	55,111,5	31,676										
15h30	441,3	26,097	129,2	26	0	258,3	26	0	26,097	3,444,5	24,641	52,355,9	31,37										
15h45	387,5	26,097	107,6	26	0	226	26	0	26	3,272,2	24,545	49,600,3	30,862										
16h	333,7	26	96,9	26	0	204,5	26	0	26	2,755,6	24,448	41,333,6	29,853										
16h15	312,2	25,902	86,1	25,902	0	183	25,902	0	26	2,583,4	24,255	35,822,5	28,953										
16h30	258,3	25,902	64,6	25,902	0	150,7	25,902	0	25,902	2,152,8	24,062	24,800,2	27,764										
16h45	226	25,805	64,6	25,805	0	129,2	25,805	0	25,805	1,894,5	23,966	20,666,8	26,879										
17h	172,2	25,61	43,1	25,61	0	96,9	25,708	0	25,708	1,377,8	23,677	15,844,5	25,902										
17h15	129,2	25,513	32,3	25,513	0	75,3	25,513	0	25,513	1,076,4	23,581	11,711,2	24,931										
17h30	96,9	25,319	21,5	25,319	0	53,8	25,222	0	25,222	5,27,4	23,1	51,66,7	23,484										
17h45	53,8	25,125	10,8	25,222	0	32,3	25,222	0	25,222	5,27,4	23,1	51,66,7	23,484										
18h	21,5	24,931	0	25,028	0	10,8	25,125	0	25,028	2,36,8	22,908	25,83,4	22,908										
18h15	0	24,835	0	24,835	0	0	24,931	0	24,931	64,6	22,717	67,8,1	22,429										
18h30	0	24,641	0	24,641	0	0	24,835	0	24,835	0	22,621	107,6	22,046										
18h45	0	24,448	0	24,448	0	0	24,641	0	24,641	0	24,545	0	22,046										
19h	0	24,255	0	24,255	0	0	24,448	0	24,448	0	24,351	0	22,525	0									
Média diária	352,366	23,241,17	113,534	23,25	6,103774	228,6811	23,53066	0,407547	23,47192	3155,87	23,20443	562,91,45	29,23058										

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																				
Planilha 1 - Dados de luminância e temperatura																				
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar* at*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)* min)	Tipo de céu**	Hora	Vaso 1 (V1) Duto com heliostato				Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato				Vaso 3 (V3) Cantada				Sensores Externos	OBS.:	
						Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Sob Luz direta (S8)	Na Sombra							
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	
					6h	0	21,187	0	21,187	0	21,187	0	21,187	0	20,138	10,8	19,948			
					6h15	0	21,091	0	21,187	0	21,378	0	21,187	0	20,138	129,2	20,043			
					6h30	0	21,091	0	21,187	0	21,378	0	21,187	0	20,138	1280,9	20,043			
					6h45	0	21,091	0	21,187	0	21,378	0	21,187	0	20,234	2325	20,234			
					7h	10,8	21,091	0	21,187	0	21,378	0	21,187	0	20,234	3961,1	20,234			
					7h15	21,5	21,091	0	21,187	0	21,378	0	21,187	0	20,329	6544,5	20,71			
					7h30	32,3	21,091	0	21,091	0	21,378	0	21,187	0	20,329	6544,5	20,71			
					7h45	21,5	21,091	0	21,091	0	21,378	0	21,091	0	20,424	20,996				
					8h	32,3	21,091	0	21,091	0	21,378	0	21,091	0	20,424	5338,9	20,71			
					8h15	32,3	21,091	0	21,091	0	21,378	0	21,091	0	20,424	6544,5	20,901			
					8h30	32,3	21,091	0	21,091	0	21,378	0	21,091	0	20,615	5166,7	21,569			
					8h45	64,6	21,091	10,8	21,091	0	43,1	21,378	0	21,187	1324	20,424	10677,8	20,615		
					9h	107,6	21,091	21,5	21,187	0	64,6	21,378	0	21,187	1894,5	20,615	19977,9	21,664		
					9h15	107,6	21,091	21,5	21,187	0	75,3	21,378	0	21,187	1636,1	20,615	18844,5	21,378		
					9h30	139,9	21,187	21,5	21,187	0	86,1	21,378	0	21,187	2238,9	20,519	19977,9	21,473		
					10h	258,3	21,187	53,8	21,282	0	150,7	21,473	0	21,187	3788,9	21,091	31689,1	23,292		
					9h45	238,8	21,187	43,1	21,187	0	150,7	21,378	0	21,187	3616,7	20,901	34444,7	23,773		
					10h15	344,4	21,282	64,6	21,282	0	204,5	21,473	0	21,282	3616,7	21,473	3857,8	24,158		
					10h30	301,4	21,282	64,6	21,378	0	172,2	21,473	0	21,378	4650	21,473	42711,4	23,966		
					10h45	204,5	21,378	43,1	21,378	0	107,6	21,569	0	21,378	3788,9	21,664	25555,7	24,255		
					11h	495,1	21,473	96,9	21,473	0	279,9	21,664	0	21,473	6544,5	21,664	52355,9	24,255		
					11h30	161,5	21,569	21,5	21,664	0	86,1	21,76	0	21,664	1980,6	22,046	21355,7	23,773		
					11h45	462,9	21,473	96,9	21,76	0	247,6	21,76	0	21,569	3788,9	22,525	3857,8	26,195		
					12h	429,2	21,664	10,8	21,76	0	75,3	21,855	0	21,664	2066,7	21,664	17911,2	23,004		
					12h30	990,3	21,855	258,3	21,855	10,8	505,9	22,046	0	21,855	6200	23,004	71644,9	28,754		
					12h45	721,2	22,238	172,2	22,238	0	312,2	22,142	0	22,046	4135,4	23,388	55111,5	28,754		
					13h	850,4	22,429	226	22,429	0	387,5	22,429	0	22,333	7233,4	23,484	52355,9	28,754		
					13h15	247,6	22,525	75,3	22,525	0	107,6	22,621	0	22,525	4823,3	23,484	24800,2	26,977		
					13h30	96,9	22,621	21,5	22,717	0	86,1	22,717	0	22,621	839,6	22,717	7577,8	24,062		
					13h45	226	22,717	53,8	22,717	0	86,1	22,717	0	22,621	2411,1	22,525	21355,7	24,158		
					14h	688,9	22,812	193,8	22,812	0	322,9	22,717	0	22,621	5166,7	23,196	49600,3	26,879		
					14h15	936,5	22,812	247,6	22,812	0	441,3	22,812	0	22,717	4133,4	23,484	60622,6	28,655		
					14h30	344,4	22,908	96,9	22,908	0	172,2	22,908	0	22,717	3272,2	23,484	3857,8	28,258		
					14h45	624,3	23,004	193,8	23,004	0	335,7	22,908	0	22,812	3444,5	23,484	66133,8	28,953		
					15h	312,2	23,1	96,9	23,1	10,8	193,8	23,1	0	23,004	2927,8	23,581	198401,3	32,704		
					15h15	301,4	23,292	107,6	23,292	0	161,5	23,196	0	23,196	2497,2	23,773	63378,2	31,983		
					15h30	172,2	23,484	64,6	23,484	0	129,2	23,388	0	23,292	1550	23,773	132267,5	31,064		
					15h45	226	23,677	53,8	23,677	0	139,9	23,581	0	23,484	1722,2	23,773	99200,7	35,328		
					16h	86,1	23,773	32,3	23,869	0	64,6	23,773	0	23,677	1722,2	23,888	20666,8	29,853		
					16h15	129,2	23,869	32,3	23,869	0	53,8	23,869	0	23,773	1722,2	23,888	20666,8	26,488		
					16h30	139,9	23,869	32,3	23,869	0	64,6	23,869	0	23,773	1302,4	22,908	15155,7	24,448		
					16h45	204,5	23,869	53,8	23,869	0	86,1	23,773	0	23,677	1894,5	22,525	22044,6	23,869		
					17h	139,9	23,773	32,3	23,773	0	64,6	23,773	0	23,677	1550	22,525	14466,8	24,351		
					17h15	53,8	23,677	10,8	23,677	0	10,8	23,677	0	23,581	1463,9	22,142	8266,7	22,429		
					17h30	75,3	23,581	21,5	23,581	0	21,5	23,484	0	23,388	452,1	21,951	4305,6	22,238		
					18h	10,8	23,292	0	23,292	0	0	23,388	0	23,196	172,2	21,664	1808,3	21,664		
					18h15	0	23,196	0	23,196	0	0	23,196	0	23,1	64,6	21,378	904,2	20,996		
					18h30	0	23,004	0	23,004	0	0	23,004	0	23,004	0	21,187	96,9	20,996		
					18h45	0	22,812	0	22,908	0	0	22,908	0	22,812	0	21,091	0	20,805		
					19h	0	22,717	0	22,812	0	0	22,717	0	22,717	0	20,996	0	20,615		
					Média diária	235,1792	22,21042	57,67925	22,24115	0,611321	12,16528	22,33306	0	22,18506	2233,417	21,88987	31289,61	24,32408		

E

Semana 6
Teste Piloto (TP)
27/set

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																						
Plântula 1 - Dados de luminância e temperatura																						
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar* at*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)* min)	Tipo de céu**	Hora	Vaso 1 (V1) Duto com holocausto						Vaso 2 (V2) Duto sem holocausto						Vaso 3 (V3) Custado			OBS.:	
						Zona 1 - central (S3)		Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)		Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)		Zona 4 - central (S5)		Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4)		Zona 6 - central (S7)		Sob Luz direta (S8)		Sensores Externos		
						Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)	Temp. (°C)	Illum (lux)		Temp. (°C)
6h						0	20,615	0	20,71	0	20,615	0	20,615	0	20,424	21,5	19,948	161,5	19,567			
6h15						0	20,519	0	20,615	0	20,615	0	20,71	0	20,424	64,6	20,043	656,6	19,853			
6h30						10,8	20,519	0	20,615	0	20,615	0	20,615	0	20,424	172,2	20,138	1894,5	20,138			
6h45						53,8	20,519	0	20,615	0	21,5	20,615	0	20,424	441,3	20,234	3961,1	20,519				
7h						118,4	20,519	10,8	20,615	0	53,8	20,615	0	20,424	624,3	20,329	6544,5	20,805				
7h15						75,3	20,519	10,8	20,615	0	32,3	20,615	0	20,424	807,3	20,519	8611,2	21,282				
7h30						118,4	20,615	21,5	20,615	0	53,8	20,615	0	20,424	1216,3	20,615	11711,2	21,76				
7h45						172,2	20,615	32,3	20,615	0	75,3	20,71	0	20,519	1463,9	20,805	11711,2	21,951				
8h						150,7	20,615	43,1	20,71	0	75,3	20,71	0	20,519	1722,2	20,996	16533,4	22,429				
8h15						226	20,71	53,8	20,71	0	118,4	20,805	0	20,615	2066,7	21,187	16533,4	22,908				
8h30						226	20,71	53,8	20,805	0	118,4	20,805	0	20,615	1894,5	21,282	16533,4	22,812				
8h45						193,8	20,805	53,8	20,805	0	107,6	20,901	0	20,71	1550	21,282	16533,4	22,908				
9h						258,3	20,805	64,6	20,901	0	129,2	20,901	0	20,71	1894,5	21,378	16533,4	22,908				
9h15						236,8	20,901	64,6	20,901	0	129,2	20,901	0	20,805	1550	21,378	18600,1	22,908				
9h30						430,6	20,996	107,6	20,996	0	247,6	20,996	0	20,901	2325	21,569	24800,2	23,869				
9h45						247,6	21,091	64,6	21,091	0	139,9	21,091	0	20,901	1980,6	21,664	16533,4	23,581				
10h						352,2	21,091	96,9	21,187	0	204,5	21,091	0	20,996	2152,8	21,664	23422,4	23,581				
10h15						549	21,187	161,5	21,187	0	352,2	21,187	0	21,091	4133,4	22,142	39955,8	25,416				
10h30						850,4	21,282	215,3	21,282	0	570,5	21,282	0	21,187	3961,1	22,717	55111,5	27,173				
10h45						602,8	21,473	183	21,473	3,2	376,7	21,378	0	21,282	5511,1	23,1	57867	27,764				
11h						495,1	21,664	279,9	21,664	32,3	387,5	21,569	10,8	21,378	6544,5	23,388	209423,6	29,552				
11h15						775	21,855	236,8	21,855	21,5	635,1	21,76	10,8	21,664	3444,5	23,773	176356,7	37,165				
11h30						667,4	22,142	279,9	22,142	21,5	462,9	22,142	0	22,046	5166,7	24,062	187379	38,49				
11h45						462,9	22,621	183	22,621	0	366	22,525	0	22,429	1550	24,158	55111,5	34,903				
12h						229,8	22,908	193,8	23,004	21,5	204,5	22,908	0	22,812	1980,6	24,062	99200,7	40,3				
12h15						505,9	23,388	215,3	23,388	10,8	344,4	23,388	0	23,292	3616,7	24,255	93689,5	36,837				
12h30						366	23,677	215,3	23,677	21,5	301,4	23,677	0	23,581	2669,5	24,545	159823,3	38,49				
12h45						559,7	24,062	236,8	24,062	32,3	430,6	23,966	0	23,869	2669,5	24,641	159823,3	36,837				
13h						269,1	24,351	161,5	24,351	32,3	258,3	24,351	0	24,255	1894,5	24,738	220445,9	40,53				
13h15						775	24,738	204,5	24,738	32,3	536,2	24,738	0	24,641	2897,2	24,931	220445,9	41,575				
13h30						656,6	25,222	183	25,222	53,8	419,8	25,125	10,8	25,125	1894,5	25,125	242490,5	42,52				
14h30						269,1	26,91	247,6	25,61	64,6	559,7	25,513	10,8	25,513	1808,3	25,222	198401,3	39,843				
14h45						893,4	26	247,6	25,902	10,8	536,2	25,805	0	25,708	2411,1	25,125	88178,4	33,226				
14h						279,9	26	118,4	26	43,1	193,8	25,805	21,5	25,708	2152,8	24,931	220445,9	34,691				
15h15						861,1	25,805	32,3	25,805	0	75,3	25,513	0	25,513	828,8	24,351	148801	36,187				
15h30						75,3	25,805	21,5	25,805	0	64,6	25,61	0	25,513	785,8	24,255	132267,5	35,009				
15h45						64,6	25,805	21,5	25,708	0	53,8	25,513	0	25,416	775	24,255	121245,2	34,268				
16h						53,8	25,708	10,8	25,61	0	43,1	25,416	0	25,319	710,4	24,062	104711,8	33,014				
16h15						43,1	25,513	10,8	25,513	0	32,3	25,222	0	24,931	602,8	23,773	93689,5	31,676				
16h30						32,3	25,319	10,8	25,222	0	21,5	25,028	0	24,931	592	23,581	8611,2	25,902				
16h45						32,3	25,028	0	25,028	0	10,8	24,835	0	24,641	592	23,581	8611,2	25,902				
17h						21,5	24,738	0	24,738	0	10,8	24,545	0	24,448	592	23,292	7233,4	24,158				
17h15						21,5	24,545	0	24,545	0	10,8	24,255	0	24,158	599,7	23,1	6200	23,677				
17h30						21,5	24,255	0	24,255	0	10,8	23,966	0	23,773	376,7	22,525	4133,4	22,525				
17h45						10,8	23,966	0	23,966	0	0	23,773	0	23,581	495,1	22,717	5166,7	23,1				
18h						0	23,773	0	23,773	0	0	23,484	0	23,388	226	22,338	2755,6	22,046				
18h15						0	23,484	0	23,581	0	0	23,292	0	23,1	96,9	21,855	1345,5	21,569				
18h30						0	23,292	0	23,292	0	0	23,1	0	22,908	10,8	21,569	247,6	20,996				
18h45						0	23,1	0	23,196	0	0	22,908	0	22,717	0	21,378	0	20,805				
19h						0	22,908	0	23,004	0	0	22,717	0	22,525	0	21,187	0	20,615				
Média diária						261,7887	23,04136	87,7434	23,0593	7,78666	176,8943	22,95717	1,424528	22,82685	1,666991	22,77923	702,9963	28,3317				

P

Semana 6
Teste Piloto (TP)
28/set

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																				
Planilha 1 - Dados de luminância e temperatura																				
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar* at*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Duto sem holoostato												OBS.:		
						Vaso 1 (V1) Duto com holoostato		Vaso 2 (V2) Duto sem holoostato		Vaso 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 4 - central (S4)		Vaso 5 - a 12,5 cm do centro (S5)		Vaso 6 - central (S6)			Vaso 7 (V7) Censado	
						Zona 1 - central (S3) Ilum (lux)	Temp. (°C)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6) Ilum (lux)	Temp. (°C)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S3) Ilum (lux)	Temp. (°C)	Zona 4 - central (S4) Ilum (lux)	Temp. (°C)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S5) Ilum (lux)	Temp. (°C)	Zona 6 - central (S6) Ilum (lux)	Temp. (°C)		Zona 7 (V7) - Sombra Ilum (lux)	Temp. (°C)
					6h	0	20,329	0	20,424	0	0	20,424	0	20,138	32,3	19,187	236,8	18,331		
					6h15	0	20,234	0	20,329	0	0	20,424	0	20,138	188	19,187	1076,4	18,331		
					6h30	0	20,234	0	20,329	0	0	20,329	0	20,138	366	19,187	2066,7	18,711		
					6h45	0	20,234	0	20,329	0	0	20,329	0	20,138	958	19,567	3788,9	19,282		
					7h	0	20,234	0	20,329	0	0	20,329	0	20,043	2238,9	20,329	5338,9	20,234		
					7h15	10,8	20,138	0	20,329	0	10,8	20,329	0	20,138	3444,5	21,282	6544,5	21,091		
					7h45	21,5	20,234	0	20,329	0	21,5	20,329	0	20,138	3788,9	22,812	28933,5	28,754		
					8h	32,3	20,329	0	20,329	0	32,3	20,424	0	20,234	3961,1	23,388	37200,2	31,472		
					8h15	32,3	20,424	10,8	20,424	0	32,3	20,519	0	20,424	4133,4	23,966	46844,8	33,222		
					8h30	53,8	20,519	10,8	20,615	0	43,1	20,615	0	20,519	4305,6	24,448	57867	34,691		
					8h45	64,6	20,805	21,5	20,805	0	53,8	20,805	0	20,71	4305,6	25,028	71644,9	35,864		
					9h	75,3	21,091	21,5	21,187	0	64,6	21,187	0	21,091	4305,6	25,61	85422,8	38,157		
					9h15	75,3	21,473	32,3	21,569	0	75,3	21,664	0	21,569	4305,6	26,195	99200,7	39,389		
					9h30	86,1	21,855	32,3	21,951	0	86,1	22,142	0	22,142	4133,4	26,488	115734,1	40,645		
					9h45	107,6	22,429	32,3	22,429	10,8	96,9	22,812	0	22,812	3788,9	26,683	126756,4	42,401		
					10h	118,4	22,908	43,1	23,004	21,5	107,6	23,581	10,8	23,484	3444,5	26,683	143289,8	42,998		
					10h15	128,2	23,484	53,8	23,581	64,6	128,2	24,255	21,5	24,255	3100	26,588	148801	43,723		
					10h30	150,7	24,062	64,6	24,158	86,1	150,7	25,028	21,5	24,931	2927,8	26,292	159823,3	43,844		
					10h45	161,5	24,641	75,3	24,738	64,6	161,5	25,708	10,8	25,708	2755,6	26,087	170845,6	44,704		
					11h	183	25,222	86,1	25,319	32,3	183	26,292	10,8	26,195	2927,8	26,195	176356,7	44,457		
					11h15	204,5	25,805	96,9	25,902	21,5	193,8	26,879	0	26,683	2669,5	26,39	187379	45,452		
					11h30	215,3	26,39	118,4	26,488	21,5	215,3	27,37	0	27,272	2238,9	25,902	187379	45,956		
					11h45	236,8	26,977	129,2	26,977	10,8	226	27,764	0	27,764	1894,5	25,319	198401,3	45,956		
					12h	236,8	27,468	139,9	27,567	21,5	236,8	28,06	0	28,159	1808,3	26,39	198401,3	46,465		
					12h15	247,6	27,862	139,9	27,961	10,8	247,6	28,357	0	28,555	1280,9	27,075	198401,3	46,722		
					12h30	258,3	28,357	139,9	28,357	10,8	247,6	28,655	0	28,853	1636,1	26,683	209423,6	45,829		
					12h45	247,6	28,754	139,9	28,853	21,5	236,8	29,053	0	29,252	1550	27,468	198401,3	45,956		
					13h	236,8	29,452	129,2	29,152	21,5	226	29,252	0	29,452	1463,9	28,357	198401,3	46,593		
					13h15	226	29,452	107,6	29,452	32,3	215,3	29,452	0	29,652	1377,8	28,953	198401,3	45,956		
					13h30	215,3	29,752	96,9	29,752	43,1	193,8	29,752	0	29,953	1302,4	29,252	198401,3	45,829		
					13h45	193,8	29,953	75,3	29,953	96,9	172,2	29,853	10,8	30,054	1270,1	29,252	198401,3	45,829		
					14h	172,2	30,255	64,6	30,154	86,1	161,5	30,054	21,5	30,255	1237,9	28,655	187379	45,829		
					14h15	118,4	30,457	64,6	30,457	43,1	139,9	30,255	21,5	30,356	1162,5	28,357	187379	46,21		
					14h30	150,7	30,76	53,8	30,76	10,8	129,2	30,558	10,8	30,659	1173,3	28,555	176356,7	46,593		
					14h45	139,9	31,064	43,1	31,064	0	118,4	30,862	0	30,862	1044,1	29,152	159823,3	45,326		
					15h	128,2	31,37	43,1	31,37	0	107,6	31,064	0	31,064	1065,6	27,764	148801	45,829		
					15h15	118,4	31,574	43,1	31,574	0	96,9	31,268	0	31,37	1011,8	26,879	143289,8	45,201		
					15h30	107,6	31,88	43,1	31,778	0	86,1	31,472	0	31,574	1022,6	26,683	13778,7	43,844		
					15h45	128,2	31,88	43,1	31,88	0	86,1	31,574	0	31,676	1280,9	26,488	115734,1	40,992		
					16h	86,1	31,88	21,5	31,778	0	64,6	31,472	0	31,574	807,3	26,292	99200,7	41,692		
					16h15	64,6	31,676	21,5	31,574	0	53,8	31,472	0	31,472	721,2	26,585	88178,4	40,992		
					16h30	64,6	31,37	10,8	31,37	0	43,1	31,166	0	31,166	710,4	28,06	74400,5	39,276		
					16h45	43,1	30,963	10,8	30,963	0	32,3	30,862	0	30,862	785,8	28,754	12400,1	33,222		
					17h	43,1	30,659	10,8	30,558	0	21,5	30,457	0	30,457	731,9	28,555	9300,1	30,255		
					17h15	21,5	30,255	0	30,255	0	10,8	30,054	0	30,054	484,4	28,357	7233,4	29,452		
					17h30	10,8	29,853	0	29,853	0	0	29,652	0	29,652	344,4	27,952	5166,7	28,456		
					17h45	21,5	29,452	0	29,452	0	10,8	29,352	0	29,352	344,4	27,468	5166,7	27,764		
					18h	10,8	29,152	0	29,152	0	0	29,053	0	28,953	279,9	27,075	3444,5	27,075		
					18h15	0	28,853	0	28,853	0	0	28,558	0	28,558	86,1	26,683	1291,7	26,488		
					18h30	0	28,456	0	28,456	0	0	28,258	0	28,258	0	26,292	139,9	25,805		
					18h45	0	28,159	0	28,159	0	0	27,961	0	27,862	32,3	25,902	0	25,416		
					19h	0	27,862	0	27,862	0	0	27,665	0	27,567	0	25,708	0	25,125		
					Média diária	100,3302	26,39368	42,8566	26,42777	13,81321	90,78679	26,52055	2,641509	26,49692	1799,208	25,93617	986,7728	36,782		

C

Semana 6
Teste Piloto (TP)
29/set

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																					
Planilha 1 - Dados de luminância e temperatura																					
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar* at*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)* min)	Tipo de céu**	Hora	Vaso 1 (V1) Duto com heliostato				Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato				Vaso 3 (V3) Cantada				Sensores Externos		OBS.:	
						Zona 1 - central (S3) Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6) Ilum (lux)	Temp. (°C)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2) Ilum (lux)	Temp. (°C)	Zona 4 - central (S5) Ilum (lux)	Temp. (°C)	Zona 5 - a 12,5 cm do centro (S4) Ilum (lux)	Temp. (°C)	Zona 6 - central (S7) Ilum (lux)	Temp. (°C)		Sob Luz direta (S8) Ilum (lux)
					6h	0	21,569	0	21,664	0	21,76	0	21,378	10,8	19,082	75,3	18,426				
					6h15	0	21,473	0	21,569	0	21,664	0	21,282	10,8	19,187	172,2	18,521				
					6h30	0	21,473	0	21,569	0	21,569	0	21,282	118,4	19,187	839,6	18,521				
					6h45	0	21,378	0	21,473	0	21,569	0	21,187	139,9	19,187	1270,1	18,616				
					7h	0	21,378	0	21,473	0	21,473	0	21,091	183	19,187	1722,2	18,616				
					7h15	10,8	21,282	0	21,378	0	21,378	0	20,956	2497,2	19,472	18600,1	19,567				
					7h30	75,3	21,282	0	21,378	0	75,3	21,378	0	20,956	3444,5	20,043	20444,6	20,424			
					7h45	43,1	21,187	0	21,282	0	43,1	21,378	0	20,956	3772,2	20,329	24800,2	20,805			
					8h	64,6	21,187	0	21,282	0	53,8	21,282	0	20,901	3788,9	20,519	28933,5	21,091			
					8h30	53,8	21,187	0	21,282	0	43,1	21,282	0	20,956	4133,4	20,901	35822,5	21,951			
					8h45	129,2	21,187	10,8	21,282	0	107,6	21,282	0	20,956	5511,1	21,282	71644,9	23,966			
					9h	172,2	21,187	21,5	21,378	0	150,7	21,282	0	20,956	5166,7	21,951	52355,9	24,448			
					9h15	204,5	21,282	21,5	21,378	0	172,2	21,378	0	21,091	5511,1	22,142	55111,5	24,738			
					9h30	183	21,378	21,5	21,473	0	150,7	21,473	0	21,187	4305,6	22,333	41333,6	24,641			
					9h45	150,7	21,473	10,8	21,473	0	129,2	21,473	0	21,282	3444,5	22,046	34444,7	23,004			
					10h	193,8	21,473	21,5	21,569	0	161,5	21,569	0	21,378	3961,1	22,046	42711,4	23,869			
					10h15	279,9	21,664	32,3	21,664	0	247,6	21,664	0	21,473	5166,7	22,621	55111,5	26,39			
					10h45	430,6	21,855	53,8	21,951	0	355,2	22,046	0	21,855	5511,1	23,869	57867	29,752			
					11h	269,1	22,142	32,3	22,142	0	226	22,238	0	22,046	4822,3	23,869	46844,8	27,567			
					11h30	183	22,525	21,5	22,525	0	139,9	22,525	0	22,333	3444,5	24,062	33066,9	27,862			
					11h45	505,9	22,333	64,6	22,333	0	398,3	22,333	0	22,238	5511,1	23,773	66133,8	28,754			
					12h	161,5	22,621	21,5	22,621	0	150,7	22,621	0	22,525	2583,4	23,484	28933,5	26,195			
					12h15	279,9	22,812	21,5	22,812	0	215,3	22,812	0	22,717	3100	23,196	28933,5	25,902			
					12h30	193,8	22,812	21,5	22,908	0	150,7	22,812	0	22,717	2583,4	23,196	24800,2	25,61			
					12h45	150,7	22,908	10,8	22,908	0	118,4	22,908	0	22,812	2325	23,196	23422,4	25,416			
					13h	193,8	22,908	10,8	23,004	0	161,5	22,908	0	22,812	2755,6	23,196	24800,2	25,513			
					13h15	183	22,908	21,5	23,004	0	139,9	22,908	0	22,812	2669,5	23,196	24800,2	25,513			
					13h30	290,6	23,004	32,3	23,004	0	215,3	23,004	0	22,908	3616,7	23,388	39955,8	26,292			
					13h45	452,1	23,004	75,3	23,004	0	312,2	23,004	0	22,812	5338,9	23,966	60622,6	28,159			
					14h	556,6	23,1	139,2	23,1	0	430,6	23,004	0	22,908	4477,8	24,448	71644,9	29,352			
					14h15	645,8	23,196	150,7	23,196	0	376,7	23,1	0	23,004	5166,7	24,545	55111,5	30,154			
					14h30	538,2	23,292	118,4	23,292	0	322,9	23,292	0	23,1	4305,6	24,545	44089,2	29,252			
					14h45	484,4	23,484	96,9	23,388	0	322,9	23,388	0	23,196	3272,2	24,448	38578	28,258			
					15h	516,7	23,581	139,9	23,581	0	312,2	23,484	0	23,388	4133,4	24,351	44089,2	29,053			
					15h15	419,8	23,677	107,6	23,677	0	258,3	23,581	0	23,484	3788,9	24,351	38578	28,456			
					15h30	322,9	23,773	86,1	23,773	0	193,8	23,677	0	23,581	2497,2	24,158	30311,3	27,567			
					15h45	290,6	23,869	75,3	23,869	0	172,2	23,677	0	23,581	2755,6	24,062	27555,7	26,781			
					16h	161,5	23,869	43,1	23,869	0	96,9	23,677	0	23,677	1636,1	23,869	17222,3	26			
					16h15	226	23,869	64,6	23,869	0	129,2	23,773	0	23,677	1722,2	23,581	19977,9	25,902			
					16h30	183	23,869	43,1	23,869	0	107,6	23,773	0	23,677	1356,3	23,484	13777,9	25,319			
					16h45	161,5	23,869	43,1	23,869	0	96,9	23,773	0	23,677	1237,9	23,388	12400,1	24,835			
					17h15	75,3	23,773	10,8	23,773	0	43,1	23,677	0	23,677	807,3	23,292	8266,7	24,351			
					17h30	53,8	23,677	10,8	23,677	0	32,3	23,677	0	23,581	473,6	23,004	4477,8	23,292			
					18h	0	23,581	0	23,581	0	0	23,581	0	23,484	129,2	22,717	1173,3	22,333			
					18h15	0	23,484	0	23,484	0	0	23,484	0	23,388	32,3	22,525	366	22,046			
					18h30	0	23,388	0	23,388	0	0	23,388	0	23,292	0	22,429	6,46	21,855			
					18h45	0	23,292	0	23,292	0	0	23,292	0	23,196	0	22,333	0	21,855			
					19h	0	23,196	0	23,196	0	0	23,196	0	23,099	0	22,142	0	21,76			
					Média diária	194,7736	22,56455	32,69811	22,60421	0	139,1245	22,57877	0	22,40009	2701,145	22,51274	28121,15	24,50775			

E

Semana 6
Teste
Piloto (TP)
30/set

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																				
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar* at*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Plântula 1 - Dados de luminância e temperatura														
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato		Vaso 3 - a 12,5 cm do centro (S3)		Vaso 4 - central (S4)		Vaso 5 - a 12,5 cm do centro (S5)		Vaso 6 - central (S7)		Sensores Externos		
						Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)
					6h	0	20,615	0	20,71	0	0	20,901	0	20,615	32,3	19,187	236,8	18,331		
					6h15	0	20,615	0	20,71	0	0	20,901	0	20,615	188	19,092	117,33	18,14		
					6h30	0	20,615	0	20,615	0	0	20,805	0	20,615	322,9	18,996	1980,6	18,045		
					6h45	0	20,519	0	20,615	0	0	20,805	0	20,519	1054,9	19,187	3961,1	18,616		
					7h	0	20,519	0	20,615	0	0	20,805	0	20,519	2325	19,758	4994,5	19,187		
					7h15	0	20,519	0	20,615	0	0	20,805	0	20,519	3272,2	20,805	5511,1	20,234		
					7h30	0	20,519	0	20,615	0	0	20,805	0	20,519	3616,7	22,238	7233,4	21,091		
					7h45	10,8	20,519	0	20,615	0	10,8	20,805	0	20,615	3616,7	23,1	27555,7	29,252		
					8h	10,8	20,615	0	20,615	0	10,8	20,901	0	20,71	3961,1	23,869	35822,5	32,394		
					8h15	43,1	20,615	10,8	20,71	0	32,3	20,901	0	20,805	4994,5	24,738	49600,3	34,903		
					8h30	96,9	20,805	21,5	20,901	0	64,6	21,091	0	20,901	6200	25,708	7156,1	36,62		
					8h45	161,5	21,187	43,1	21,187	0	96,9	21,282	0	21,187	5511,1	26,39	71644,9	35,222		
					9h	312,2	21,569	86,1	21,664	0	172,2	21,664	0	21,664	7233,4	26,39	79911,6	32,704		
					9h15	344,4	21,951	96,9	22,046	0	204,5	22,142	0	22,046	6544,5	26,195	74400,5	33,953		
					9h30	409	22,333	118,4	22,429	0	236,8	22,525	0	22,525	6544,5	26,292	77156,1	35,009		
					9h45	505,9	22,812	139,9	22,812	0	269,1	22,908	0	22,908	6544,5	26,292	74400,5	34,479		
					10h	581,3	23,1	161,5	23,196	0	301,4	23,388	0	23,292	6200	26,292	66133,8	33,118		
					10h15	505,9	23,484	107,6	23,484	0	258,3	23,581	0	23,484	5166,7	26,097	46844,8	30,659		
					10h45	236,8	23,773	32,3	23,773	0	107,6	23,869	0	23,773	2669,5	25,028	20666,8	27,468		
					11h	86,1	23,773	10,8	23,869	0	32,3	23,869	0	23,869	1216,3	24,351	9300,1	25,416		
					11h15	64,6	23,773	0	23,773	0	21,5	23,773	0	23,773	721,2	23,581	5511,1	23,677		
					11h30	64,6	23,773	0	23,773	0	10,8	23,677	0	23,677	333,7	23,196	3272,2	22,429		
					11h45	32,3	23,677	0	23,677	0	10,8	23,677	0	23,581	43,1	22,525	376,7	21,569		
					12h	0	23,484	0	23,581	0	0	23,292	0	23,292	226	21,091	2755,6	20,329		
					12h30	10,8	23,388	0	23,388	0	0	23,484	0	23,388	150,7	21,569	1377,8	20,71		
					12h45	32,3	23,004	0	23,004	0	10,8	23,196	0	23,004	549	20,615	4994,5	19,948		
					13h	107,6	22,812	10,8	22,812	0	43,1	23,004	0	22,812	1636,1	20,329	13777,9	20,138		
					13h15	86,1	22,621	0	22,621	0	32,3	22,812	0	22,717	1324	20,138	11022,3	19,948		
					13h30	53,8	22,429	0	22,525	0	21,5	22,717	0	22,525	850,4	19,853	7577,8	19,758		
					13h45	64,6	22,238	0	22,333	0	32,3	22,525	0	22,333	1076,4	19,472	9644,5	19,377		
					14h	150,7	22,142	10,8	22,142	0	75,3	22,333	0	22,142	2411,1	19,758	24800,2	20,329		
					14h15	290,6	22,046	43,1	22,046	0	129,2	22,238	0	22,046	3788,9	20,329	42711,4	21,76		
					14h30	430,6	21,951	75,3	21,951	0	183	22,142	0	21,951	4994,5	21,091	57867	23,773		
					14h45	473,6	21,951	139,2	21,951	0	204,5	22,142	0	21,855	3788,9	21,951	79911,6	26,977		
					15h	441,3	22,046	129,2	22,046	0	215,3	22,238	0	21,951	3616,7	22,429	60622,6	26,585		
					15h15	473,6	22,142	139,9	22,142	0	247,6	22,238	0	22,142	3788,9	22,621	121245,2	27,37		
					15h30	204,5	22,333	64,6	22,333	0	129,2	22,429	0	22,238	2325	22,812	66133,8	28,555		
					15h45	344,4	22,525	96,9	22,621	0	150,7	22,525	0	22,429	2497,2	22,621	33066,9	24,931		
					16h	301,4	22,621	75,3	22,717	0	129,2	22,621	0	22,525	2669,5	22,525	27555,7	24,062		
					16h15	269,1	22,717	64,6	22,812	0	107,6	22,621	0	22,525	2411,1	22,238	22044,6	23,484		
					16h30	247,6	22,717	64,6	22,812	0	107,6	22,621	0	22,525	2066,7	22,238	20666,8	23,388		
					16h45	247,6	22,717	64,6	22,812	0	107,6	22,621	0	22,525	1894,5	22,238	22044,6	23,581		
					17h	129,2	22,717	32,3	22,812	0	64,6	22,717	0	22,525	785,8	22,142	10333,4	22,908		
					17h15	96,9	22,717	21,5	22,812	0	43,1	22,717	0	22,525	484,4	21,473	4133,4	21,87		
					17h30	32,3	22,717	0	22,717	0	10,8	22,717	0	22,525	355,2	21,855	5166,7	21,664		
					17h45	43,1	22,621	0	22,717	0	10,8	22,621	0	22,525	484,4	21,473	4133,4	21,87		
					18h	10,8	22,621	0	22,621	0	0	22,621	0	22,429	269,1	21,378	2152,8	20,901		
					18h15	0	22,525	0	22,525	0	0	22,525	0	22,333	21,5	21,282	344,4	20,424		
					18h30	0	22,429	0	22,525	0	0	22,525	0	22,333	0	21,091	43,1	20,424		
					18h45	0	22,333	0	22,429	0	0	22,429	0	22,238	0	20,996	0	20,329		
					19h	0	22,238	0	22,333	0	0	22,333	0	22,238	0	20,901	0	20,443		
					Média diária	157,2	22,25198	35,74906	22,30249	0	76,77358	22,38728	0	22,24289	2415,8	22,41619	27401,79	24,57109		

E

Semana 6
Teste Piloto (TP)

01/out

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																			
Semana/ Data e hora levant.	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Plântula 1 - Dados de luminância e temperatura										Sensores Externos	OBS.:				
				Vaso 1 (V1) Duto com heliostato		Vaso 2 (V2)		Duto sem heliostato		vaso 3 (V3) Cisterna		Sob Luz direta (S8)				Na Sombra			
				Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a X12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)			Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)
6h	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75,3			
6h15	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.130,20			
6h30	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.205,60			
6h45	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.980,60			
7h	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.497,20			
7h15	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.616,70			
7h30	21,5	0		0	0	0	10,8	0	0	0	0	0	0	0	0	8.266,70			
7h45	10,8	0		0	0	0	10,8	0	0	0	0	0	0	0	0	7.577,80			
8h	21,5	0		0	0	0	10,8	0	0	0	0	0	0	0	0	10.333,40			
8h15	43,1	0		0	0	0	32,3	0	0	0	0	0	0	0	0	16.533,40			
8h30	32,3	0		0	0	0	32,3	0	0	0	0	0	0	0	0	11.022,30			
8h45	96,9	0		0	0	0	64,6	0	0	0	0	0	0	0	0	26.178,00			
9h	32,3	0		0	0	0	21,5	0	0	0	0	0	0	0	0	13.089,00			
9h15	75,3	0		0	0	0	59,8	0	0	0	0	0	0	0	0	19.977,90			
9h30	96,9	10,8		0	0	0	75,3	0	0	0	0	0	0	0	0	35.822,50			
9h45	43,1	0		0	0	0	32,3	0	0	0	0	0	0	0	0	17.222,30			
10h																			
10h15																			
10h30																			
10h45																			
11h																			
11h15																			
11h30																			
11h45																			
12h																			
12h15	107,6	18,426	10,8	18,521	0	86,1	18,806	0	18,616	0	18,616	0	18,616	0	30311,3	18,331			
12h30	172,2	18,331	10,8	18,521	0	139,9	18,616	0	18,331	0	18,331	0	18,331	0	44089,2	19,758			
12h45	53,8	18,426	0	18,521	0	43,1	18,521	0	18,331	0	18,331	0	18,331	0	17222,3	19,187			
13h	193,8	18,426	21,5	18,521	0	150,7	18,521	0	18,331	0	18,331	0	18,331	0	44089,2	19,758			
13h15	256,3	18,521	32,3	18,616	0	215,3	18,616	0	18,426	0	18,426	0	18,426	0	60622,6	22,908			
13h30	75,3	18,616	0	18,711	0	53,8	18,711	0	18,426	0	18,426	0	18,426	0	17911,2	19,662			
13h45	53,8	18,616	0	18,711	0	43,1	18,711	0	18,521	0	18,521	0	18,521	0	16533,4	19,282			
14h	21,5	18,711	0	18,711	0	10,8	18,711	0	18,521	0	18,521	0	18,521	0	8611,2	18,236			
14h15	21,5	18,711	0	18,711	0	10,8	18,806	0	18,521	0	18,521	0	18,521	0	9644,5	18,14			
14h30	43,1	18,711	0	18,711	0	21,5	18,806	0	18,616	0	18,616	0	18,616	0	11022,3	18,045			
14h45	43,1	18,711	0	18,711	0	32,3	18,806	0	18,616	0	18,616	0	18,616	0	11711,2	17,76			
15h	10,8	18,616	0	18,711	0	10,8	18,806	0	18,616	0	18,616	0	18,616	0	5511,1	17,189			
15h15	10,8	18,616	0	18,711	0	10,8	18,806	0	18,521	0	18,521	0	18,521	0	4994,5	16,808			
15h30	10,8	18,521	0	18,616	0	10,8	18,711	0	18,521	0	18,521	0	18,521	0	5166,7	16,713			
15h45	10,8	18,521	0	18,616	0	10,8	18,711	0	18,426	0	18,426	0	18,426	0	6544,5	16,618			
16h	0	18,426	0	18,521	0	18,521	0	18,426	0	18,426	0	18,426	0	18,426	0	1380,9	16,332		
16h15	53,8	18,426	0	18,521	0	32,3	18,616	0	18,426	0	18,426	0	18,426	0	13777,9	16,618			
16h30	0	18,331	0	18,426	0	0	18,616	0	18,331	0	18,331	0	18,331	0	2927,8	16,427			
16h45	0	18,331	0	18,426	0	0	18,521	0	18,331	0	18,331	0	18,331	0	1065,6	16,141			
17h	0	18,236	0	18,331	0	0	18,521	0	18,236	0	18,236	0	18,236	0	796,5	16,141			
17h15	10,8	18,236	0	18,331	0	0	18,426	0	18,236	0	18,236	0	18,236	0	5511,1	16,237			
17h30	0	18,14	0	18,236	0	0	18,426	0	18,14	0	18,14	0	18,14	0	2238,9	16,237			
17h45	0	18,045	0	18,236	0	0	18,331	0	18,14	0	18,14	0	18,14	0	904,2	16,046			
18h	0	18,045	0	18,14	0	0	18,331	0	18,045	0	18,045	0	18,045	0	1248,6	16,141			
18h15	0	18,045	0	18,14	0	0	18,236	0	18,045	0	18,045	0	18,045	0	710,4	16,046			
18h30	0	17,95	0	18,045	0	0	18,236	0	17,95	0	17,95	0	17,95	0	139,9	15,951			
18h45	0	17,95	0	18,045	0	0	18,236	0	17,95	0	17,95	0	17,95	0	0	15,951			
19h	0	17,855	0	18,045	0	0	18,14	0	17,95	0	17,95	0	17,95	0	0	15,855			
Média diária	52,33793	18,40941	157,0069	18,49138	10,02069	34,52759	18,61276	8,906897	18,39634	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	11358,9414	17,51034	#DIV/0!	#DIV/0!	

E

02/out

Coleta em: 08/10/18

Turno coleta: noite

Semana 7
Teste Piloto (TP)

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação																			
Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Painilha 1 - Dados de luminância e temperatura													
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato			Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato			vaso 3 (V3) Cisterna			Sensores Externos				
						Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a X12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Sob Luz direta (S8)	Na Sombra	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		
					6h	0	17,379	0	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	96,9	16,427		
					6h15	0	17,379	0	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	549	16,332		
					6h30	0	17,379	0	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	1808,3	16,523		
					6h45	0	17,379	0	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	2152,8	16,523		
					7h	10,8	17,379	0	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	4650	16,618		
					7h15	0	17,379	0	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	3788,9	16,808		
					7h30	10,8	17,379	0	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	4477,8	16,713		
					7h45	21,5	17,379	0	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	9644,5	17,379		
					8h	64,6	17,379	0	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	15844,5	18,236		
					8h15	96,9	17,379	10,8	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	23422,4	18,331		
					8h30	96,9	17,475	0	17,475	0	17,475	0	17,665	0	17,475	26178	19,282		
					8h45	96,9	17,475	0	17,57	0	17,57	0	17,665	0	17,57	23422,4	18,996		
					9h	53,8	17,57	0	17,57	0	17,57	0	17,665	0	17,665	19289	18,711		
					9h15	21,5	17,665	0	17,665	0	17,665	0	17,855	0	17,76	6544,5	17,76		
					9h30	53,8	17,665	0	17,76	0	17,76	0	17,855	0	17,76	16533,4	18,616		
					9h45	129,2	17,76	10,8	17,76	0	17,76	0	17,855	0	17,76	42711,4	20,519		
					10h	204,5	17,855	21,5	17,855	0	17,855	0	17,95	0	17,95	33066,9	20,901		
					10h15	161,5	17,95	10,8	17,95	0	17,95	0	18,045	0	18,045	42711,4	20,996		
					10h30	183	18,045	21,5	18,14	0	18,14	0	18,045	0	18,045	49600,3	21,378		
					10h45	236,8	18,236	21,5	18,236	0	18,236	0	18,14	0	18,14	20666,8	19,187		
					11h	129,2	18,331	10,8	18,331	0	18,331	0	18,236	0	18,236	22044,6	20,043		
					11h15	150,7	18,426	10,8	18,426	0	18,426	0	18,331	0	18,331	28933,5	20,329		
					11h30	193,8	18,521	10,8	18,521	0	18,521	0	18,426	0	18,426	35822,5	21,091		
					11h45	150,7	18,616	10,8	18,616	0	18,616	0	18,521	0	18,521	33066,9	19,758		
					12h	269,1	18,616	21,5	18,711	0	18,711	0	18,616	0	18,616	60622,6	20,043		
					12h15	258,3	18,711	21,5	18,711	0	18,711	0	18,616	0	18,616	49600,3	21,378		
					12h30	96,9	18,711	0	18,711	0	18,711	0	18,616	0	18,616	20666,8	19,187		
					12h45	312,2	18,806	32,3	18,806	0	18,806	0	18,711	0	18,711	63378,2	21,091		
					13h	236,8	18,806	21,5	18,806	0	18,806	0	18,711	0	18,711	44089,2	21,187		
					13h15	139,9	18,901	10,8	18,901	0	18,901	0	18,806	0	18,806	26178	19,377		
					13h30	183	18,901	10,8	18,901	0	18,901	0	18,806	0	18,806	40892,2	21,187		
					13h45	118,4	18,901	0	18,901	0	18,901	0	18,806	0	18,806	24800,2	19,187		
					14h	161,5	18,806	10,8	18,901	0	18,901	0	18,806	0	18,806	34444,7	19,187		
					14h15	96,9	18,806	0	18,806	0	18,806	0	18,806	0	18,806	19289	18,616		
					14h30	118,4	18,806	0	18,806	0	18,806	0	18,711	0	18,711	18600,1	17,95		
					14h45	96,9	18,711	0	18,806	0	18,806	0	18,711	0	18,711	18600,1	18,14		
					15h	32,3	18,711	0	18,711	0	18,711	0	18,806	0	18,711	9644,5	17,665		
					15h15	32,3	18,616	0	18,616	0	18,616	0	18,711	0	18,616	8611,2	17,284		
					15h30	21,5	18,521	0	18,616	0	18,616	0	18,711	0	18,616	7577,8	17,094		
					15h45	21,5	18,426	0	18,521	0	18,521	0	18,616	0	18,521	6200	17,094		
					16h	64,6	18,426	0	18,426	0	18,426	0	18,521	0	18,426	10677,8	17,094		
					16h15	107,6	18,331	0	18,426	0	18,426	0	18,426	0	18,426	17222,3	17,475		
					16h30	53,8	18,236	0	18,331	0	18,331	0	18,331	0	18,331	11022,3	17,379		
					16h45	43,1	18,236	0	18,236	0	18,236	0	18,331	0	18,331	8611,2	17,189		
					17h	21,5	18,14	0	18,236	0	18,236	0	18,331	0	18,331	5511,1	17,094		
					17h15	0	18,14	0	18,14	0	18,14	0	18,426	0	18,236	2669,5	16,713		
					17h30	0	18,14	0	18,14	0	18,14	0	18,331	0	18,236	1334,7	16,523		
					17h45	0	18,045	0	18,14	0	18,14	0	18,331	0	18,236	1259,4	16,332		
					18h	0	18,045	0	18,045	0	18,045	0	18,331	0	18,14	667,4	16,332		
					18h15	0	17,95	0	18,045	0	18,045	0	18,236	0	18,14	1259,4	16,332		
					18h30	0	17,95	0	17,95	0	17,95	0	18,236	0	18,045	236,8	16,237		
					18h45	0	17,855	0	17,95	0	17,95	0	18,236	0	18,045	0	16,141		
					19h	0	17,855	0	17,95	0	17,95	0	18,14	0	18,045	0	16,141		
					Média diária	85,91321	18,12057	5,081132	18,16738	0	18,16502	0	18,16502	0	18,16502	18511,9792	18,2464	#DIV/0!	#DIV/0!

E

Semana 7
Teste
Piloto (TP)

03/out

Matriz de Análise do Experimento - Verificação do Desempenho do Duto de Luz e da Vegetação

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ hora mês)	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Previsão Umidade relativa do ar*	Tipo de céu**	Hora	Painilha 1 - Dados de luminância e temperatura												OBS.:				
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato						Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato							vaso 3 (V3) Cisterna		Sensores Externos	
						Zona 1 - central (S3) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 4 - central (S5) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 5 - a X12,5 cm do centro (S4) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 6 - central (S7) Illum (lux) Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8) Illum (lux) Temp. (°C)	Na Sombra Illum (lux) Temp. (°C)									
					6h	0	15,187	0	15,378	0	15,855	0	15,569	0	527,4	10,553						
					6h15	0	15,187	0	15,282	0	15,76	0	15,473	0	1377,8	10,748						
					6h30	0	15,091	0	15,187	0	15,664	0	15,378	0	2411,1	10,748						
					6h45	0	14,996	0	15,091	0	15,664	0	15,378	0	4477,8	11,236						
					7h	0	14,9	0	15,091	0	15,569	0	15,282	0	5166,7	12,207						
					7h15	0	14,9	0	14,996	0	15,569	0	15,282	0	6544,5	13,269						
					7h30	0	14,996	0	14,996	0	15,569	0	15,282	0	7577,8	14,038						
					7h45	0	14,996	0	14,996	0	15,569	0	15,378	0	30311,3	23,484						
					8h	0	14,996	0	14,996	0	10,8	15,569	0	15,378	42711,4	26,879						
					8h15	10,8	15,091	0	15,187	0	10,8	15,664	0	15,473	57867	28,456						
					8h30	21,5	15,282	0	15,378	0	21,5	15,76	0	15,569	71644,9	31,88						
					8h45	21,5	15,569	0	15,664	0	32,3	15,855	0	15,76	82667,2	33,014						
					9h	43,1	16,046	10,8	16,046	0	43,1	16,332	0	16,332	93689,5	32,07						
					9h15	53,8	16,618	21,5	16,713	0	64,6	16,999	0	16,999	115744,1	39,43						
					9h30	64,6	17,189	21,5	17,284	0	64,6	17,57	0	17,665	126756,4	33,639						
					9h45	75,3	17,76	32,3	17,76	0	86,1	18,236	0	18,14	143289,8	35,328						
					10h	96,9	18,236	43,1	18,331	0	96,9	18,71	0	18,711	137778,7	37,384						
					10h15	139,9	18,806	64,6	18,806	0	129,2	19,282	0	19,282	176356,7	30,457						
					10h30	204,5	19,282	107,6	19,282	10,8	183	19,758	0	19,758	187379	30,268						
					10h45	247,6	19,758	150,7	19,853	21,5	236,8	20,329	0	20,329	187379	38,379						
					11h	312,2	20,329	215,3	20,329	21,5	290,6	20,901	10,8	20,901	198401,3	40,3						
					11h15	452,1	20,71	333,7	20,805	21,5	376,7	21,378	10,8	21,282	209423,6	40,415						
					11h45	753,5	21,76	559,7	21,76	21,5	462,9	21,855	10,8	21,76	209423,6	40,876						
					11h30	904,2	22,142	409	22,142	21,5	678,1	22,621	0	22,429	220445,9	40,992						
					12h	904,2	22,142	409	22,142	21,5	678,1	22,621	0	22,429	220445,9	38,826						
					12h15	990,3	22,621	495,1	22,621	10,8	731,9	22,908	0	22,717	220445,9	38,268						
					12h30	979,5	23,004	667,4	23,004	21,5	678,1	23,004	0	23,004	198401,3	37,714						
					12h45	828,8	23,292	656,6	23,292	21,5	645,8	23,1	0	23,196	220445,9	38,268						
					13h	613,5	23,677	516,7	23,677	21,5	570,5	23,484	0	23,484	220445,9	38,49						
					13h15	452,1	24,062	387,5	24,062	21,5	484,4	23,773	0	23,773	220445,9	38,49						
					13h30	322,9	24,351	279,9	24,448	21,5	387,5	23,966	0	24,062	220445,9	39,38						
					13h45	236,8	24,738	183	24,835	32,3	301,4	24,255	0	24,351	209423,6	39,502						
					14h	183	25,125	118,4	25,125	43,1	247,6	24,545	0	24,545	209423,6	38,826						
					14h15	139,9	25,513	75,3	25,513	43,1	193,8	24,738	0	24,835	198401,3	38,938						
					14h30	118,4	25,708	53,8	25,708	21,5	161,5	24,931	0	25,028	198401,3	38,046						
					14h45	107,6	25,902	43,1	25,902	10,8	139,9	25,125	0	25,222	187379	37,384						
					15h	86,1	26,097	32,3	26,097	10,8	118,4	25,222	0	25,416	176356,7	37,384						
					15h15	75,3	26,292	21,5	26,292	0	96,9	25,416	0	25,513	165334,4	36,511						
					15h30	75,3	26,39	21,5	26,39	0	86,1	25,416	0	25,61	154312,1	36,187						
					15h45	64,6	26,39	21,5	26,292	0	75,3	25,513	0	25,61	137778,7	35,756						
					16h	64,6	26,195	21,5	26,195	0	64,6	25,416	0	25,61	121245,2	34,691						
					16h15	43,1	25,902	10,8	25,902	0	43,1	25,319	0	25,416	57867	31,064						
					16h30	129,2	25,61	32,3	25,513	0	96,9	25,125	0	25,222	93689,5	28,357						
					16h45	43,1	25,222	10,8	25,125	0	21,5	24,835	0	24,931	16533,4	29,552						
					17h	53,8	24,835	0	24,738	0	21,5	24,641	0	24,738	9300,1	23,388						
					17h15	75,3	24,448	0	24,351	0	32,3	24,351	0	24,448	13089	22,429						
					17h30	75,3	24,062	10,8	24,062	0	32,3	24,062	0	24,158	13089	22,142						
					17h45	10,8	23,677	0	23,677	0	0	23,773	0	23,869	5511,1	21,091						
					18h	21,5	23,388	0	23,388	0	0	23,581	0	23,581	4994,5	20,234						
					18h15	0	23,1	0	23,1	0	0	23,292	0	23,292	2066,7	19,187						
					18h30	0	22,812	0	22,812	0	0	23,004	0	23,1	419,8	18,236						
					18h45	0	22,525	0	22,525	0	0	22,812	0	22,812	0	18,521						
					19h	0	22,142	0	22,142	0	0	22,525	0	22,525	0	18,806						
					Média diária	184,6094	21,09611	114,5453	21,12121	7,918868	162,0717	21,17932	0,815094	21,15275	109717,645	29,88704	#DIV/0!	#DIV/0!				

C

Semana 7
04/out
Teste Piloto (TP)

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Pilhula 1 - Dados de luminosidade e temperatura														OBS.:
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato				Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato				vaso 3 (V3) Cisterna				Sensores Externos		
						Zona 1 - central (S3) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 4 - central (S5) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 5 - a X12,5 cm do centro (S4) Ilum (lux) Temp. (°C)	Zona 6 - central (S7) Ilum (lux) Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8) Ilum (lux) Temp. (°C)	Na Sombra Ilum (lux) Temp. (°C)							
	6h	0	15,951	0	16,046	0	16,046	0	16,523	0	16,141	0	16,427	0	1463,9	9,768				
	6h15	0	15,76	0	15,951	0	16,046	0	16,332	0	15,951	0	16,332	0	1463,9	9,768				
	6h30	0	15,664	0	15,76	0	15,951	0	16,332	0	15,951	0	16,332	0	3788,9	10,063				
	6h45	0	15,569	0	15,664	0	15,76	0	16,237	0	15,855	0	16,237	0	4994,5	10,846				
	7h	0	15,473	0	15,569	0	15,664	0	16,141	0	15,76	0	16,141	0	5166,7	11,528				
	7h15	0	15,378	0	15,569	0	15,664	0	16,046	0	15,664	0	16,046	0	6200	12,497				
	7h30	0	15,378	0	15,473	0	15,473	0	15,951	0	15,664	0	15,951	0	15155,7	14,038				
	7h45	0	15,378	0	15,473	0	15,473	0	15,951	0	15,664	0	15,951	0	31689,1	24,545				
	8h	0	15,473	0	15,473	0	15,473	0	10,8	15,951	0	15,664	0	42711,4	27,961					
	8h15	0	15,569	0	15,569	0	15,569	0	10,8	16,046	0	15,76	0	52355,9	30,154					
	8h30	21,5	15,569	0	15,664	0	15,664	0	21,5	16,046	0	15,76	0	66133,8	31,574					
	8h45	32,3	15,76	10,8	15,855	0	16,046	0	32,3	16,237	0	16,046	0	82667,2	31,064					
	9h	129,2	16,046	43,1	16,141	0	16,141	0	53,8	16,523	0	16,427	0	79911,6	31,064					
	9h15	139,9	16,427	43,1	16,523	0	16,523	0	64,6	16,903	0	16,808	0	115744,1	32,6					
	9h30	53,8	16,808	21,5	16,903	10,8	17,284	0	75,3	17,284	0	17,284	0	132267,5	32,807					
	9h45	64,6	17,094	21,5	17,189	21,5	17,189	21,5	96,9	17,76	0	17,76	0	148801	33,848					
	10h	75,3	17,475	32,3	17,57	21,5	17,57	21,5	129,2	18,14	0	18,14	0	159823,3	33,639					
	10h15	96,9	17,855	53,8	17,95	86,1	18,616	0	193,8	18,616	0	18,616	0	176356,7	36,187					
	10h30	96,9	18,236	53,8	18,331	43,1	19,187	0	204,5	19,187	0	19,187	0	176356,7	36,837					
	10h45	43,1	18,616	10,8	18,711	21,5	19,567	0	258,3	19,662	0	19,567	0	187379	36,511					
	11h	75,3	18,996	32,3	19,092	0	20,138	0	355,2	20,138	0	20,138	0	198401,3	37,165					
	11h15	118,4	19,377	96,9	19,472	21,5	20,615	0	430,6	20,71	0	20,615	0	209423,6	38,268					
	11h30	258,3	19,662	139,9	19,758	21,5	21,187	0	581,3	21,187	0	21,187	0	209423,6	38,714					
	11h45	290,6	20,234	204,5	20,329	10,8	21,569	0	624,3	21,664	0	21,569	0	220445,9	39,276					
	12h	764,2	20,71	301,4	20,805	10,8	22,046	0	914,9	22,046	0	21,951	0	220445,9	39,276					
	12h15	581,3	21,282	301,4	21,282	10,8	22,333	0	968,8	22,429	0	22,333	0	220445,9	39,946					
	12h30	139,9	21,664	75,3	21,664	0	22,621	0	430,6	22,717	0	22,621	0	132267,5	37,935					
	12h45	505,9	22,046	129,2	22,046	0	22,908	0	678,1	23,004	0	22,908	0	132267,5	37,935					
	13h	452,1	22,333	269,1	22,333	10,8	23,292	0	764,2	23,292	0	23,196	0	231468,2	35,649					
	13h15	150,7	22,621	107,6	22,621	21,5	23,484	0	419,8	23,484	0	23,484	0	209423,6	36,728					
	13h30	290,6	22,908	139,9	22,908	10,8	23,581	0	527,4	23,581	0	23,581	0	209423,6	36,728					
	13h45	129,2	23,004	64,6	23,004	10,8	23,677	0	322,9	23,677	0	23,677	0	176356,7	33,014					
	14h	0	23,196	0	23,1	0	23,869	0	172,2	23,869	0	23,869	0	110223	36,62					
	14h15	269,1	23,292	64,6	23,292	32,3	23,966	0	290,6	23,966	0	23,966	0	159823,3	34,585					
	14h30	656,6	23,292	193,8	23,292	10,8	24,053	0	462,9	23,966	0	23,966	0	121245,2	29,752					
	14h45	538,2	23,292	150,7	23,196	10,8	24,141	0	355,2	23,773	0	23,773	0	99200,7	28,555					
	15h	538,2	23,1	150,7	23,004	0	24,229	0	355,2	23,677	0	23,677	0	132267,5	29,452					
	15h15	204,5	22,908	64,6	22,908	0	24,317	0	150,7	23,581	0	23,484	0	52355,9	27,862					
	15h30	204,5	22,717	64,6	22,621	0	24,405	0	139,9	23,292	0	23,292	0	57867	24,835					
	15h45	226	22,429	64,6	22,333	0	24,493	0	139,9	23,1	0	23,004	0	74400,5	27,075					
	16h	279,9	22,046	86,1	22,046	0	24,581	0	172,2	22,812	0	22,812	0	63378,2	25,222					
	16h15	118,4	21,76	32,3	21,664	0	24,669	0	53,8	22,525	0	22,429	0	35822,5	23,581					
	16h30	107,6	21,378	32,3	21,282	0	24,757	0	64,6	22,238	0	22,142	0	99200,7	26,39					
	16h45	118,4	20,996	32,3	20,996	0	24,845	0	43,1	21,951	0	21,76	0	21355,7	22,812					
	17h	43,1	20,615	10,8	20,615	0	24,933	0	10,8	21,664	0	21,473	0	12400,1	18,901					
	17h15	64,6	20,234	10,8	20,329	0	25,021	0	21,5	21,282	0	21,187	0	11022,3	18,331					
	17h30	10,8	19,948	0	19,948	0	25,109	0	21,091	20,901	0	20,901	0	6544,5	16,808					
	17h45	10,8	19,662	0	19,758	0	25,197	0	20,805	20,615	0	20,615	0	5511,1	17,379					
	18h	0	19,472	0	19,472	0	25,285	0	20,519	20,329	0	20,329	0	2583,4	16,237					
	18h15	0	19,187	0	19,187	0	25,373	0	20,234	20,043	0	20,043	0	1808,3	15,569					
	18h30	0	18,901	0	18,901	0	25,461	0	20,043	19,853	0	19,853	0	355,2	14,996					
	18h45	0	18,711	0	18,711	0	25,549	0	19,758	19,567	0	19,567	0	108	14,613					
	19h	0	18,521	0	18,521	0	25,637	0	19,567	19,377	0	19,377	0	0	14,613					
	Média diária	149,0698	19,35798	58,69311	19,39564	7,315094	200,0472	20,18123	0	20,04438	0	20,04438	0	93994,5509	26,97119	#DIV/0!	#DIV/0!			

P

Semana 7
Teste
Piloto (TP)
05/out

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Píntila 1 - Dados de luminância e temperatura												OBS.:				
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato				Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato				vaso 3 (V3) Catedral					Sensores Externos			
						Zona 1 - central (S3) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 4 - central (S5) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 5 - a X12,5 cm do centro (S4) Illum (lux) Temp. (°C)	Zona 6 - central (S7) Illum (lux) Temp. (°C)	Sob Luz direta (S8) Illum (lux) Temp. (°C)	Na Sombra Illum (lux) Temp. (°C)									
					6h	0	13,75	0	13,942	0	14,613	0	14,325	0	538,2	7,983						
					6h15	0	13,654	0	13,846	0	14,517	0	14,23	0	310	8,182						
					6h30	0	13,558	0	13,75	0	14,421	0	14,134	0	3961,1	8,779						
					6h45	0	13,461	0	13,654	0	14,325	0	14,038	0	5511,1	9,669						
					7h	0	13,461	0	13,558	0	14,325	0	13,942	0	620	10,357						
					7h15	0	13,461	0	13,558	0	14,325	0	13,942	0	826,7	11,528						
					7h30	0	13,558	0	13,558	0	10,8	14,325	0	14,038	261,78	14,804						
					7h45	10,8	13,558	0	13,558	0	10,8	14,325	0	14,038	3066,9	21,76						
					8h	10,8	13,558	0	13,654	0	10,8	14,421	0	14,134	4133,6	22,429						
					8h15	12,92	13,654	10,8	13,75	0	53,8	14,421	0	14,23	4408,2	23,1						
					8h30	118,4	13,846	21,5	13,846	0	43,1	14,613	0	14,325	4133,6	21,569						
					8h45	183	14,038	53,8	14,134	0	64,6	14,709	0	14,517	6613,8	24,158						
					9h	204,5	14,421	64,6	14,421	0	75,3	14,9	0	14,709	9368,5	28,754						
					9h15	172,2	14,709	53,8	14,804	0	64,6	15,091	0	14,906	6889,3	28,655						
					9h30	409	15,187	107,6	15,187	0	139,9	15,378	0	15,282	8266,7	30,154						
					9h45	495,1	15,569	139,9	15,569	10,8	161,5	15,664	0	15,569	9368,5	28,06						
					10h	527,4	15,855	150,7	15,855	10,8	183	15,951	0	15,855	9368,5	28,258						
					10h15	312,2	16,141	107,6	16,141	43,1	161,5	16,237	0	16,141	13228,5	30,285						
					10h30	366	16,523	129,2	16,523	32,3	226	16,618	0	16,523	14328,8	34,585						
					10h45	473,6	16,903	139,9	16,903	21,5	333,7	16,999	0	16,903	1873,79	35,864						
					11h	226	17,379	118,4	17,379	21,5	322,9	17,475	0	17,475	19840,13	37,494						
					11h15	279,9	17,855	161,5	17,95	10,8	409	18,521	0	18,426	20942,36	36,511						
					11h30	753,5	18,426	215,3	18,426	0	409	18,521	0	18,426	7164,4	36,946						
					11h45	613,5	18,806	301,4	18,901	10,8	688,9	18,996	0	18,806	23146,82	37,494						
					12h	753,5	19,282	312,2	19,282	10,8	667,4	19,377	0	19,282	17635,67	35,649						
					12h15	925,7	19,662	333,7	19,662	10,8	667,4	19,758	0	19,662	14880,1	35,328						
					12h30	914,9	19,948	312,2	19,948	10,8	592	19,948	0	19,853	14328,8	31,983						
					12h45	861,1	20,234	312,2	20,138	10,8	688,9	20,234	0	20,138	17635,67	33,953						
					13h	893,4	20,424	269,1	20,424	10,8	592	20,519	0	20,424	12675,64	35,864						
					13h15	344,4	20,615	172,2	20,615	10,8	376,7	20,71	0	20,615	13228,5	33,118						
					13h30	172,2	20,805	96,9	20,805	21,5	355,2	20,901	0	20,805	20942,36	37,055						
					13h45	161,5	21,091	75,3	20,996	43,1	312,2	21,091	0	21,091	22044,59	37,935						
					14h	161,5	21,378	64,6	21,378	75,3	279,9	21,282	0	21,282	22044,59	36,946						
					14h15	107,6	21,76	53,8	21,664	21,5	172,2	21,569	0	21,569	121245,2	34,903						
					14h30	193,8	21,951	64,6	21,855	32,3	247,6	21,76	0	21,76	20942,36	36,187						
					14h45	193,8	22,238	64,6	22,142	10,8	226	22,855	0	22,951	19840,13	35,756						
					15h	129,2	22,429	32,3	22,429	0	150,7	22,046	0	22,142	17635,67	36,187						
					15h15	53,8	22,717	32,3	22,621	0	118,4	22,238	0	22,238	154312,1	35,756						
					15h30	53,8	22,812	21,5	22,812	0	75,3	22,333	0	22,429	9368,5	32,911						
					15h45	312,2	22,812	107,6	22,812	0	204,5	22,333	0	22,333	115734,1	29,883						
					16h	290,6	22,717	75,3	22,621	0	172,2	22,142	0	22,238	25319	29,883						
					16h15	43,1	22,525	10,8	22,429	0	64,6	22,046	0	22,046	10471,18	31,064						
					16h30	32,3	22,238	10,8	22,142	0	43,1	21,76	0	21,76	88178,4	29,252						
					16h45	21,5	21,855	0	21,855	0	32,3	21,569	0	21,569	10333,4	26,39						
					17h	32,3	21,473	0	21,473	0	10,8	21,187	0	21,282	9644,5	20,71						
					17h15	21,5	21,091	0	21,091	0	10,8	20,901	0	20,901	9300,1	19,853						
					17h30	32,3	20,71	10,8	20,71	0	10,8	20,615	0	20,519	9300,1	19,472						
					17h45	43,1	20,424	0	20,424	0	10,8	20,329	0	20,234	4822,3	18,711						
					18h	0	20,043	0	20,043	0	0	20,043	0	19,948	2755,6	17,855						
					18h15	10,8	19,758	0	19,758	0	0	19,758	0	19,662	2497,2	17,57						
					18h30	0	19,377	0	19,472	0	0	19,472	0	19,377	710,4	17,189						
					18h45	0	19,092	0	19,092	0	0	19,187	0	19,092	21,5	16,999						
					19h	0	18,806	0	18,806	0	0	18,901	0	18,711	0	16,903						
					Média diária	227,6698	18,33204	79,41132	18,34653	8,130189	178,7283	18,475	0	18,36681	91008,2585	26,6796	#DIV/0!	#DIV/0!				

P

Semana 7
Teste Piloto (TP)
06/out

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ min)*	Tipo de céu**	Hora	Pilhula 1 - Dados de luminosidade e temperatura												Sensores Externos		OBS.:		
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato				Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato				vaso 3 (V3) Cisterna				Sob Luz direta (S8)			Na Sombra	
						Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a X12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)		Ilum (lux)	Temp. (°C)
					6h	0	15,855	0	15,951	0	15,951	0	16,141	0	15,951	0	15,951	0	14,038			
					6h15	0	15,855	0	15,951	0	15,951	0	16,141	0	15,951	0	15,951	0	14,421			
					6h30	0	15,855	0	15,855	0	15,855	0	16,141	0	15,951	0	15,951	0	14,804			
					6h45	10,8	15,76	0	15,855	0	15,855	0	16,046	0	15,855	0	15,855	0	15,473			
					7h	43,1	15,76	0	15,855	0	15,855	0	16,046	0	15,855	0	15,855	0	16,099			
					7h15	86,1	15,76	21,5	15,855	0	15,855	0	16,046	0	15,951	0	15,855	0	17,855			
					7h30	53,8	15,855	10,8	15,855	0	15,855	0	16,141	0	15,951	0	16,046	0	20,046			
					7h45	53,8	15,951	10,8	15,951	0	15,951	0	16,141	0	16,046	0	16,046	0	27,555,7			
					8h	43,1	16,046	10,8	16,141	0	16,141	0	16,332	0	16,141	0	16,237	0	27,764			
					8h15	53,8	16,237	21,5	16,332	0	16,332	0	16,332	0	16,332	0	16,332	0	30,457			
					8h30	86,1	16,323	21,5	16,523	0	16,523	0	16,427	0	16,332	0	16,332	0	32,807			
					8h45	64,6	16,903	21,5	16,903	0	16,903	0	16,713	0	16,713	0	16,713	0	34,691			
					9h	96,9	17,284	32,3	17,379	0	17,379	0	17,189	0	17,189	0	17,189	0	35,328			
					9h15	344,4	17,855	118,4	17,855	0	17,855	0	17,665	0	17,665	0	17,665	0	32,394			
					9h30	559,7	18,331	139,9	18,331	0	18,331	0	18,331	0	18,331	0	18,331	0	31,472			
					10h	226	19,472	96,9	19,472	53,8	19,472	53,8	24,76	19,472	10,8	19,567	10,8	37,604				
					10h15	215,3	19,948	75,3	20,043	75,3	20,043	75,3	26,91	20,043	10,8	20,138	10,8	38,49				
					10h30	193,8	20,615	96,9	20,615	43,1	20,615	43,1	29,06	20,71	0	20,805	0	38,046				
					10h45	344,4	21,187	129,2	21,187	21,5	21,187	21,5	40,9	21,473	0	21,569	0	40,645				
					11h	236,8	21,855	129,2	21,855	21,5	21,855	21,5	38,75	22,142	0	22,238	0	40,645				
					11h15	527,4	22,429	125,3	22,429	10,8	22,429	10,8	62,4	22,812	0	22,812	0	41,225				
					11h30	258,3	22,908	183	22,908	10,8	22,908	10,8	49,5	23,292	0	23,388	0	41,458				
					11h45	258,3	23,388	215,3	23,388	215,3	23,388	215,3	54,9	23,869	0	23,869	0	42,52				
					12h	279,9	23,966	269,1	24,062	10,8	24,062	10,8	60,2	24,255	0	24,351	0	42,52				
					12h15	473,6	24,448	279,9	24,545	10,8	24,545	10,8	68,9	24,738	0	24,738	0	42,52				
					12h30	301,4	24,931	247,6	25,125	10,8	25,125	10,8	60,2	25,222	0	25,222	0	43,844				
					12h45	290,6	25,513	215,3	25,61	21,5	25,61	21,5	55,7	25,708	0	25,708	0	43,844				
					13h	247,6	25,902	183	26	21,5	26	21,5	49,5	26	0	26	0	43,844				
					13h15	215,3	26,292	129,2	26,292	21,5	26,292	21,5	41,9	26,195	0	26,39	0	41,692				
					13h30	183	26,683	96,9	26,585	21,5	26,585	21,5	35,2	26,488	0	26,683	0	43,723				
					13h45	161,5	27,075	75,3	26,977	43,1	26,977	43,1	30,4	26,781	0	27,075	0	44,211				
					14h	139,9	27,37	64,6	27,37	75,3	27,37	75,3	24,7	26,977	0	27,37	0	42,878				
					14h15	118,4	27,665	53,8	27,665	64,6	27,665	64,6	21,5	27,272	10,8	27,665	0	41,81				
					14h30	107,6	27,961	43,1	27,961	32,3	27,961	32,3	18,3	27,567	10,8	27,862	0	41,81				
					14h45	86,1	28,258	32,3	28,159	10,8	28,159	10,8	15,07	27,764	0	28,06	0	41,458				
					15h	75,3	28,456	32,3	28,357	0	28,357	0	12,9	27,862	0	28,159	0	41,458				
					15h15	64,6	28,754	21,5	28,655	0	28,655	0	10,76	28,06	0	28,357	0	41,458				
					15h30	75,3	28,953	21,5	28,853	0	28,853	0	9,6	28,159	0	28,456	0	39,957				
					15h45	53,8	28,953	10,8	28,853	0	28,853	0	8,61	28,258	0	28,456	0	39,957				
					16h	43,1	28,754	10,8	28,754	0	28,754	0	6,46	28,258	0	28,456	0	39,957				
					16h15	43,1	28,555	10,8	28,456	0	28,456	0	5,3	28,06	0	28,258	0	39,957				
					16h30	43,1	28,258	10,8	28,159	0	28,159	0	5,3	27,862	0	28,06	0	39,957				
					16h45	32,3	27,764	0	27,764	0	27,764	0	3,2	27,665	0	27,665	0	39,957				
					17h	32,3	27,37	10,8	27,37	0	27,37	0	2,15	27,37	0	27,468	0	39,957				
					17h15	21,5	26,977	0	26,977	0	26,977	0	10,8	27,075	0	27,173	0	39,957				
					17h30	43,1	26,585	10,8	26,585	0	26,585	0	10,8	26,781	0	26,879	0	39,957				
					17h45	32,3	26,292	0	26,292	0	26,292	0	10,8	26,488	0	26,585	0	39,957				
					18h	0	25,902	0	25,902	0	25,902	0	0	26,097	0	26,195	0	39,957				
					18h15	10,8	25,513	0	25,513	0	25,513	0	0	25,708	0	25,805	0	39,957				
					18h30	0	25,125	0	25,125	0	25,125	0	0	25,416	0	25,513	0	39,957				
					18h45	0	24,835	0	24,835	0	24,835	0	0	25,125	0	25,222	0	39,957				
					19h	0	24,448	0	24,448	0	24,448	0	0	24,931	0	24,835	0	39,957				
					Média diária	132,8226	22,90738	64,59245	22,92136	11,37547	186,4415	22,91504	0,815094	22,98794	107,644,066	33,19385	21,664	0	0	0	0	0

C

Semana 7
Teste Piloto (TP)
07/out

+

Semana/ Data e hora levant.	Data (dia/ hora mês)	Previsão Umidade relativa do ar*	Previsão Temperat ura (máx/ mín)*	Tipo de céu**	Hora	Painilha 1 - Dados de luminância e temperatura												Sensores Externos	OBS.:					
						Vaso 1 (V1) Duto com heliostato				Vaso 2 (V2) Duto sem heliostato				vasos (V3) Catedral						Sob Luz direta (S8)		Na Sombra		
						Zona 1 - central (S3)	Zona 2 - a 7 cm do centro (S6)	Zona 3 - a 12,5 cm do centro (S2)	Zona 4 - central (S5)	Zona 5 - a X12,5 cm do centro (S4)	Zona 6 - central (S7)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)			Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)	Temp. (°C)	Ilum (lux)
					6h	0	19,758	0	19,758	0	19,758	0	20,043	0	19,758	0	19,758	0	19,758	0	936,5	16,903		
					6h15	0	19,758	0	19,758	0	19,758	0	19,948	0	19,758	0	19,758	0	19,758	0	2497,2	16,903		
					6h30	0	19,662	0	19,662	0	19,662	0	19,948	0	19,662	0	19,662	0	19,662	0	2755,6	17,189		
					6h45	0	19,662	0	19,662	0	19,662	0	19,853	0	19,662	0	19,662	0	19,662	0	5166,7	17,95		
					7h	0	19,662	0	19,662	0	19,662	0	19,853	0	19,662	0	19,662	0	19,662	0	12400,1	19,567		
					7h15	0	19,662	0	19,662	0	19,662	0	19,853	0	19,662	0	19,662	0	19,662	0	5166,7	20,138		
					7h30	0	19,662	0	19,662	0	19,662	0	19,853	0	19,662	0	19,662	0	19,662	0	2342,4	23,869		
					7h45	10,8	19,662	0	19,662	0	19,662	0	10,8	19,853	0	19,662	0	19,662	0	30311,3	29,452			
					8h	32,3	19,662	0	19,758	0	19,758	0	10,8	19,948	0	19,758	0	19,758	0	39955,8	31,88			
					8h15	86,1	19,758	21,5	19,853	0	32,3	20,043	0	19,853	0	19,853	0	19,853	0	52355,9	34,268			
					8h30	193,8	20,043	32,3	20,043	0	86,1	20,043	0	86,1	20,043	0	19,948	0	71644,9	36,403				
					8h45	75,3	20,329	21,5	20,424	0	53,8	20,329	0	53,8	20,329	0	20,234	0	77156,1	35,756				
					9h	107,6	20,71	32,3	20,805	0	86,1	20,805	0	86,1	20,805	0	20,805	0	88178,4	34,479				
					9h15	86,1	21,187	32,3	21,187	0	86,1	21,378	0	86,1	21,378	0	21,378	0	104711,8	35,435				
					9h30	118,4	21,569	43,1	21,664	10,8	118,4	21,855	0	118,4	21,855	0	21,855	0	121245,2	35,864				
					9h45	462,9	22,046	118,4	22,142	21,5	279,9	22,333	0	279,9	22,333	0	22,429	0	154312,1	38,49				
					10h	301,4	22,621	129,2	22,621	64,6	301,4	22,908	10,8	301,4	22,908	10,8	23,004	0	183739	36,511				
					10h15	473,6	23,004	129,2	23,004	43,1	430,6	23,388	0	430,6	23,388	0	23,677	0	183739	35,009				
					10h30	193,8	23,388	107,6	23,292	32,3	269,1	23,677	0	269,1	23,677	0	23,677	0	154312,1	34,691				
					10h45	301,4	23,773	129,2	23,773	21,5	366	24,062	0	366	24,062	0	24,062	0	183739	41,692				
					11h	322,9	24,255	150,7	24,255	21,5	387,5	24,545	0	387,5	24,545	0	24,545	0	183739	40,761				
					11h15	279,9	24,641	161,5	24,641	10,8	484,4	24,931	0	484,4	24,931	0	25,028	0	198401,3	40,761				
					11h30	290,6	25,125	204,5	25,222	10,8	884,4	25,416	0	884,4	25,416	0	25,513	0	198401,3	40,761				
					11h45	312,2	25,61	247,6	25,708	10,8	538,2	25,902	0	538,2	25,902	0	25,902	0	198401,3	41,341				
					12h	344,4	26,097	301,4	26,195	10,8	581,3	26,292	0	581,3	26,292	0	26,292	0	198401,3	41,692				
					12h15	484,4	26,585	344,4	26,585	10,8	688,9	26,683	0	688,9	26,683	0	26,683	0	209423,6	40,415				
					12h30	409	26,977	290,6	27,075	10,8	581,3	27,075	0	581,3	27,075	0	27,075	0	198401,3	42,639				
					12h45	344,4	27,37	258,3	27,468	21,5	538,2	27,37	0	538,2	27,37	0	27,468	0	209423,6	42,401				
					13h	366	27,764	226	27,862	21,5	527,4	27,665	0	527,4	27,665	0	27,862	0	220445,9	43,966				
					13h15	527,4	28,159	193,8	28,258	21,5	581,3	27,961	0	581,3	27,961	0	28,159	0	209423,6	42,52				
					13h30	247,6	28,555	118,4	28,555	21,5	366	28,357	0	366	28,357	0	28,555	0	198401,3	43,48				
					13h45	226	28,953	96,9	28,953	32,3	312,2	28,754	0	312,2	28,754	0	28,853	0	198401,3	45,452				
					14h	193,8	29,452	75,3	29,452	64,6	269,1	29,053	0	269,1	29,053	0	29,252	0	198401,3	44,704				
					14h15	183	29,853	75,3	29,853	64,6	226	29,452	10,8	226	29,452	10,8	29,552	0	183739	46,21				
					14h30	139,9	30,255	53,8	30,255	32,3	183	29,752	10,8	183	29,752	10,8	29,853	0	183739	44,211				
					14h45	129,2	30,659	43,1	30,659	10,8	161,5	29,953	0	161,5	29,953	0	30,154	0	176356,7	43,359				
					15h	107,6	30,862	32,3	30,76	0	129,2	30,154	0	129,2	30,154	0	30,255	0	165334,4	43,238				
					15h15	96,9	31,064	32,3	30,963	0	118,4	30,255	0	118,4	30,255	0	30,457	0	154312,1	43,118				
					15h30	75,3	31,268	21,5	31,166	0	96,9	30,356	0	96,9	30,356	0	30,558	0	143289,8	42,639				
					15h45	64,6	31,37	21,5	31,268	0	75,3	30,457	0	75,3	30,457	0	30,659	0	126756,4	42,878				
					16h	53,8	31,268	10,8	31,166	0	64,6	30,457	0	64,6	30,457	0	30,659	0	115734,1	41,341				
					16h15	53,8	31,064	10,8	30,963	0	53,8	30,356	0	53,8	30,356	0	30,457	0	99200,7	40,53				
					16h30	43,1	30,76	10,8	30,659	0	53,8	30,255	0	53,8	30,255	0	30,356	0	82667,2	38,49				
					16h45	32,3	30,356	0	30,356	0	32,3	29,953	0	32,3	29,953	0	30,054	0	60622,6	36,728				
					17h	32,3	29,953	0	29,953	0	10,8	29,752	0	10,8	29,752	0	29,552	0	8611,2	30,356				
					17h15	21,5	29,552	0	29,552	0	10,8	29,452	0	10,8	29,452	0	29,552	0	6544,5	28,953				
					17h30	21,5	29,152	0	29,152	0	10,8	29,252	0	10,8	29,252	0	29,252	0	5166,7	28,258				
					17h45	10,8	28,853	0	28,853	0	10,8	28,953	0	10,8	28,953	0	28,953	0	4305,6	27,862				
					18h	10,8	28,456	0	28,456	0	0	28,655	0	0	28,655	0	28,655	0	3100	27,075				
					18h15	0	28,159	0	28,159	0	0	28,357	0	0	28,357	0	28,357	0	1722,2	26,195				
					18h30	0	27,764	0	27,862	0	0	27,468	0	0	27,468	0	28,06	0	570,5	25,416				
					18h45	0	27,468	0	27,468	0	0	27,173	0	0	27,173	0	27,764	0	53,8	24,835				
					19h	0	27,173	0	27,272	0	0	26,879	0	0	26,879	0	27,468	0	0	24,641				
					Média diária	148,4623	25,66849	71,28679	25,68242	107,6792	181,9811	25,654321	0,611321	25,65542	106,596,864	34,88651	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	106596,864	34,88651	#DIV/0!	#DIV/0!	




C

Semana 7
Teste Piloto (TP)
08/out

APÊNDICE 2 – Médias aritméticas das iluminâncias (lux) coletadas em cada semana da 3ª fase do experimento.

Tabela S1 – Iluminâncias (lux) médias diárias coletadas na Semana 1 do experimento.




Semana 1 (S1) – Período de coleta: 18.08 – 25.08				
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)		
		Estudo de Caso 1 (EC 1) (com heliostato)	Estudo de Caso 2 (EC2) (sem heliostato)	Exterior (sob luz direta)
1	18.08	4.990 (heliostato ativo)	10	27.873
2	19.08	14.815 (heliostato ativo)	72	71.072
3	20.08	19	18	6.027
4	21.08	3.094 (heliostato ativo)	87	35.357
5	22.08	150	101	13.365
6	23.08	23.675 (heliostato ativo)	23	91.861
7	24.08	80	51	11.027
8	25.08	77	38	84.393
Média aritmética		5.862,5	50	42.621,88

LEGENDA  CÉU CLARO  CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO  CÉU ENCOBERTO

Fonte: a autora.

Tabela S2 – Iluminâncias (lux) médias diárias coletadas na Semana 2 do experimento.




Semana 2 (S2) – Período de coleta: 26.08 – 03.09				
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)		
		Estudo de Caso 1 (EC 1) (sem heliostato)	Estudo de Caso 2 (EC2) (sem heliostato)	Exterior (sob luz direta)
9	26.08	60	20	90.906
10	27.08	260	28	90.792
11	28.08	45	31	91.334
12	29.08	91	54	74.777
13	30.08	245	128	48.096
14	31.08	3	35	6.391
15	01.09	128	59	9.860
16	02.09	281	130	24.221
17	03.09	143	83	13.354
Média aritmética		139,56	63,11	49.970,11

LEGENDA  CÉU CLARO  CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO  CÉU ENCOBERTO

Fonte: a autora.

Tabela S3 – Iluminâncias (lux) médias diárias coletadas na Semana 3 do experimento.




Semana 3 (S3) – Período de coleta: 04.09 – 10.09				
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)		
		Estudo de Caso 1 (EC 1) (sem heliostato)	Estudo de Caso 2 (EC2) (sem heliostato)	Exterior (sob luz direta)
18	04.09	114	85	72.610
19	05.09	64	86	93.814
20	06.09	39	35	97.263
21	07.09	40	40	96.537
22	08.09	36	41	96.696
23	09.09	204	154	62.025
24	10.09	258	158	50.130
Média aritmética		107,86	85,57	81.296,43

LEGENDA  CÉU CLARO  CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO  CÉU ENCOBERTO

Fonte: a autora.

Tabela S4 – Iluminâncias (lux) médias diárias coletadas na Semana 4 do experimento.




Semana 4 (S4) – Período de coleta: 11.09 – 17.09				
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)		
		Estudo de Caso 1 (EC 1) (sem heliostato)	Estudo de Caso 2 (EC2) (sem heliostato)	Exterior (sob luz direta)
25	11.09	280	172	38.578
26	12.09	41	44	96.865
27	13.09	192	129	74.775
28	14.09	192	116	15.685
29	15.09	218	141	59.815
30	16.09	165	110	77.903
31	17.09	259	154	50.524
Média aritmética		192,43	123,71	59.163,57

LEGENDA  CÉU CLARO  CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO  CÉU ENCOBERTO

Fonte: a autora.

Tabela S5 – Iluminâncias (lux) médias diárias coletadas na Semana 5 do experimento.




Semana 5 (S5) – Período de coleta: 18.09 – 24.09				
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)		
		Estudo de Caso 1 (EC 1) (sem heliostato)	Estudo de Caso 2 (EC2) (sem heliostato)	Exterior (sob luz direta)
32	18.09	151	101	66.804
33	19.09	59	35	99.349
34	20.09	82	60	36.032
35	21.09	105	59	75.057
36	22.09	49	36	101.177
37	23.09	15	18	14.818
38	24.09	24	17	15.266
Média aritmética		69,29	46,57	58.357,57

LEGENDA  CÉU CLARO  CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO  CÉU ENCOBERTO

Fonte: a autora.

Tabela S6 – Iluminâncias (lux) médias diárias coletadas na Semana 6 do experimento.




Semana 6 (S6) – Período de coleta: 25.09 – 01.10				
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)		
		Estudo de Caso 1 (EC 1) (sem heliostato)	Estudo de Caso 2 (EC2) (sem heliostato)	Exterior (sob luz direta)
39	25.09	284	171	31.852
40	26.09	352	228	56.291
41	27.09	235	121	31.289
42	28.09	261	176	70.299
43	29.09	100	90	98.677
44	30.09	194	139	28.121
45	01.10	157	76	27.401
Média aritmética		226,14	143	49.132,86

LEGENDA  CÉU CLARO  CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO  CÉU ENCOBERTO

Fonte: a autora.

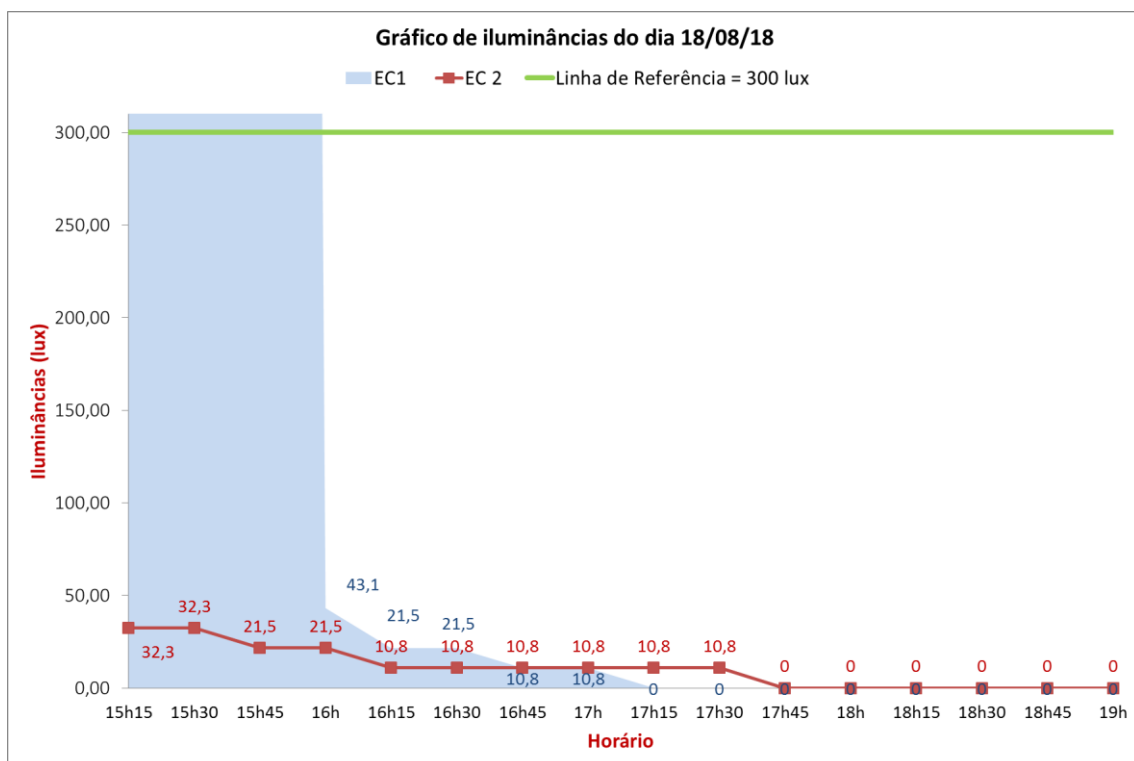
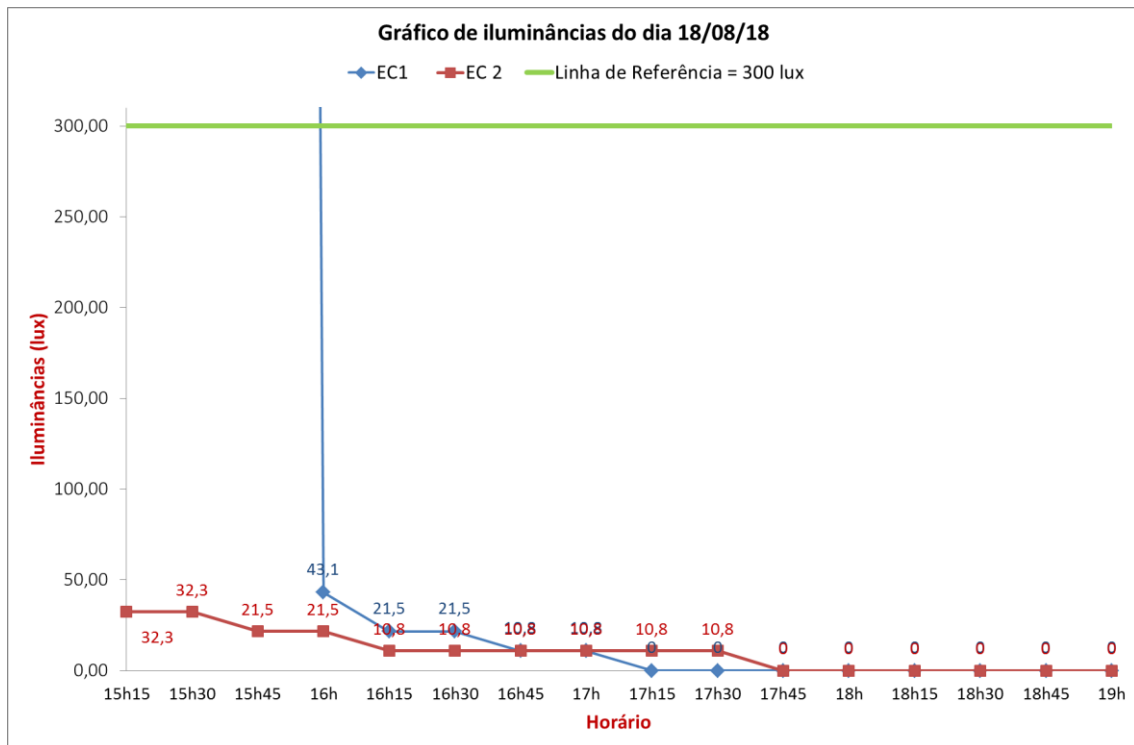
Tabela S7 – Iluminâncias (lux) médias diárias coletadas na Semana 7 do experimento.

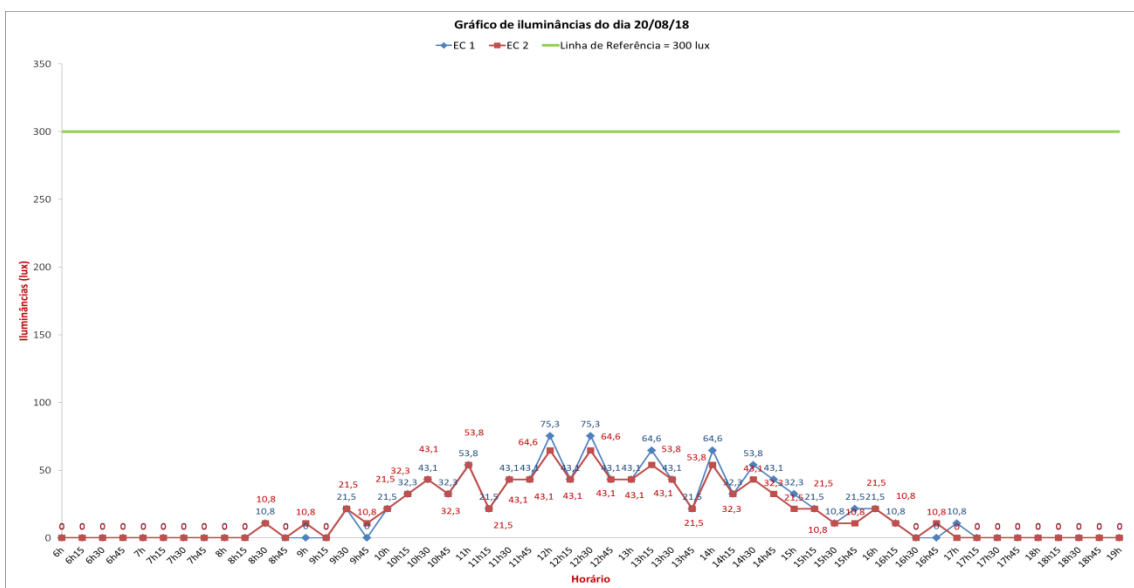
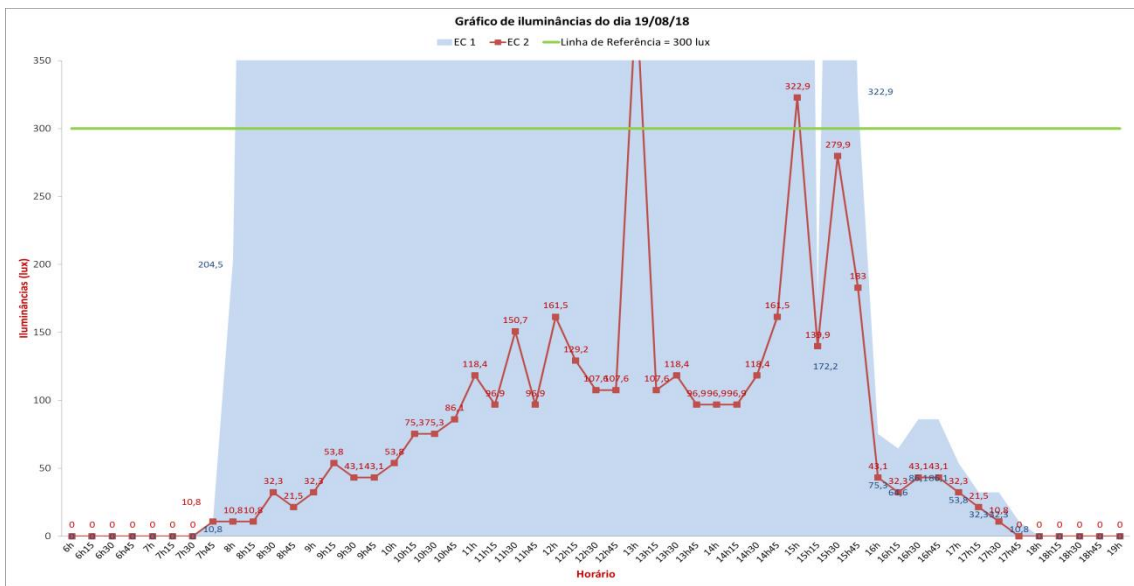
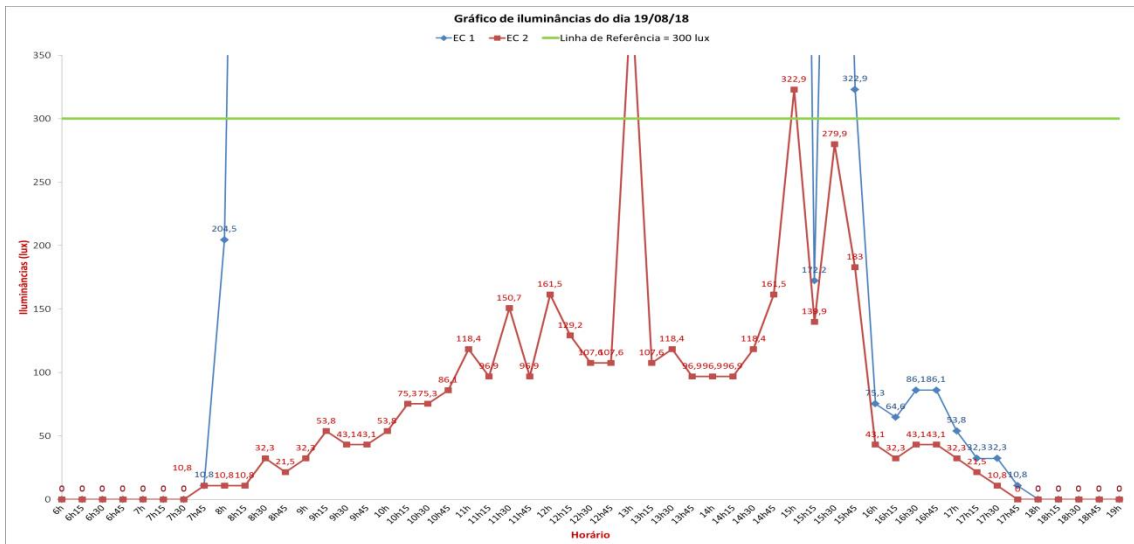
Semana 7 (S7) – Período de coleta: 02.10 – 08.10				
Dia	Data	Médias aritméticas das iluminâncias coletadas (lux)		
		Estudo de Caso 1 (EC 1) (sem heliostato)	Estudo de Caso 2 (EC2) (sem heliostato)	Exterior (sob luz direta)
46	02.10	52	34	11.358
47	03.10	85	52	18.511
48	04.10	184	162	109.717
49	05.10	149	200	93.994
50	06.10	227	178	91.008
51	07.10	132	186	107.644
52	08.10	148	181	106.396
Média aritmética		139,57	141,86	76.946,86

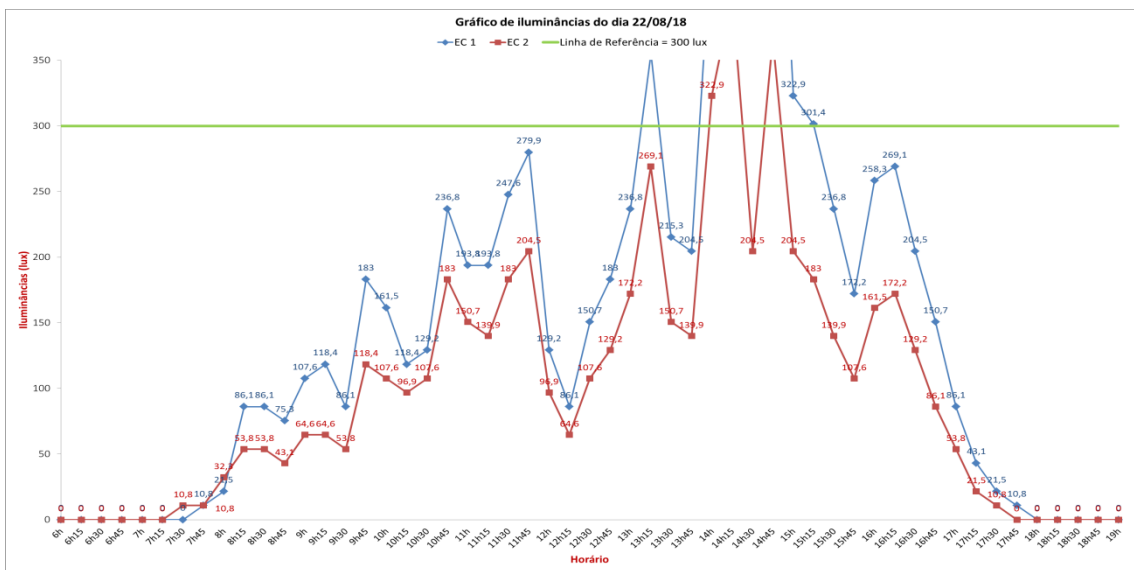
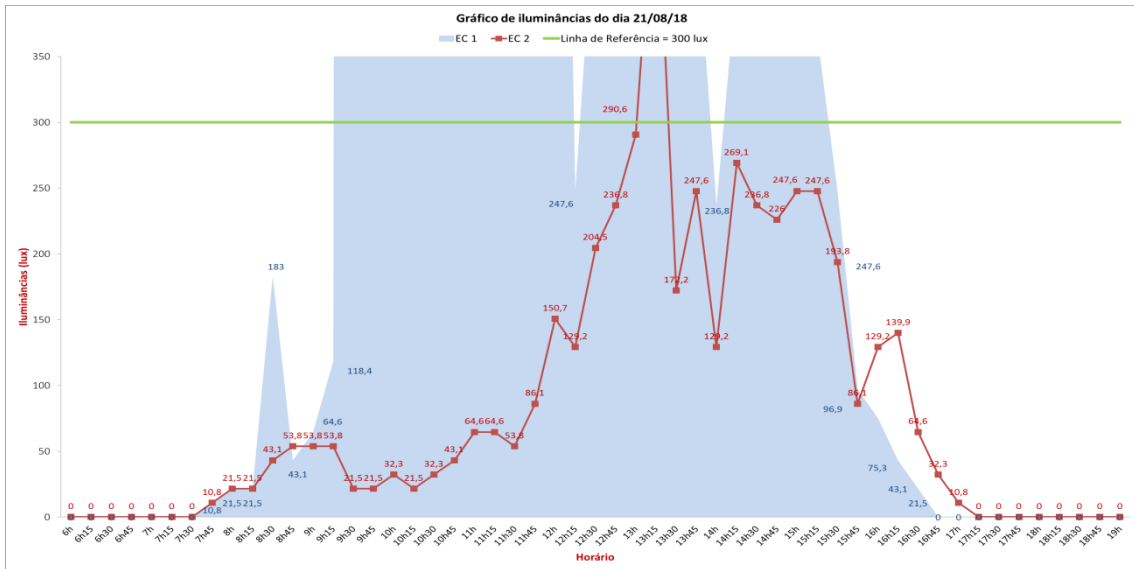
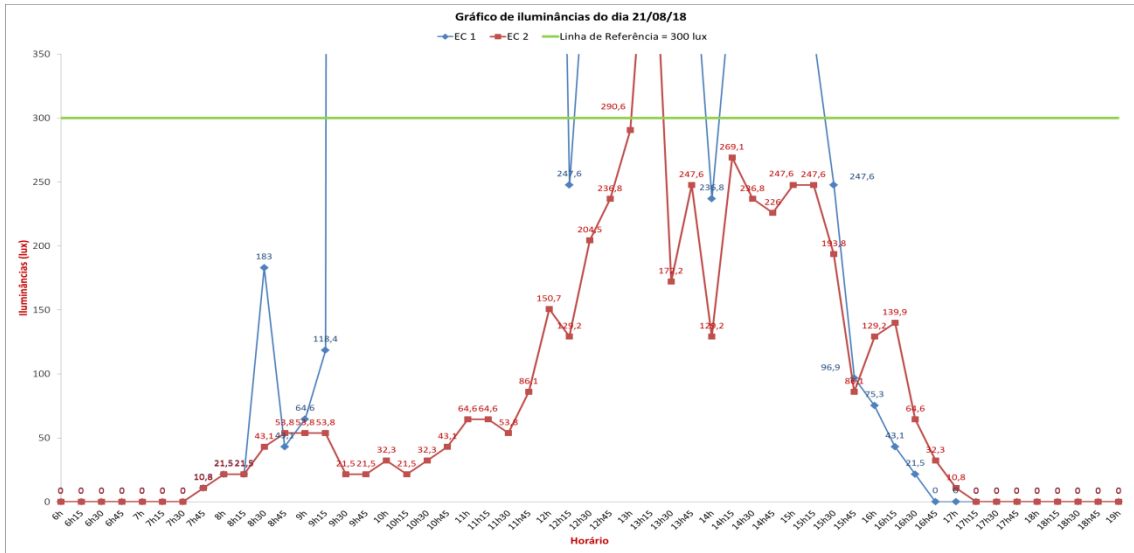
LEGENDA  CÉU CLARO  CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO  CÉU ENCOBERTO

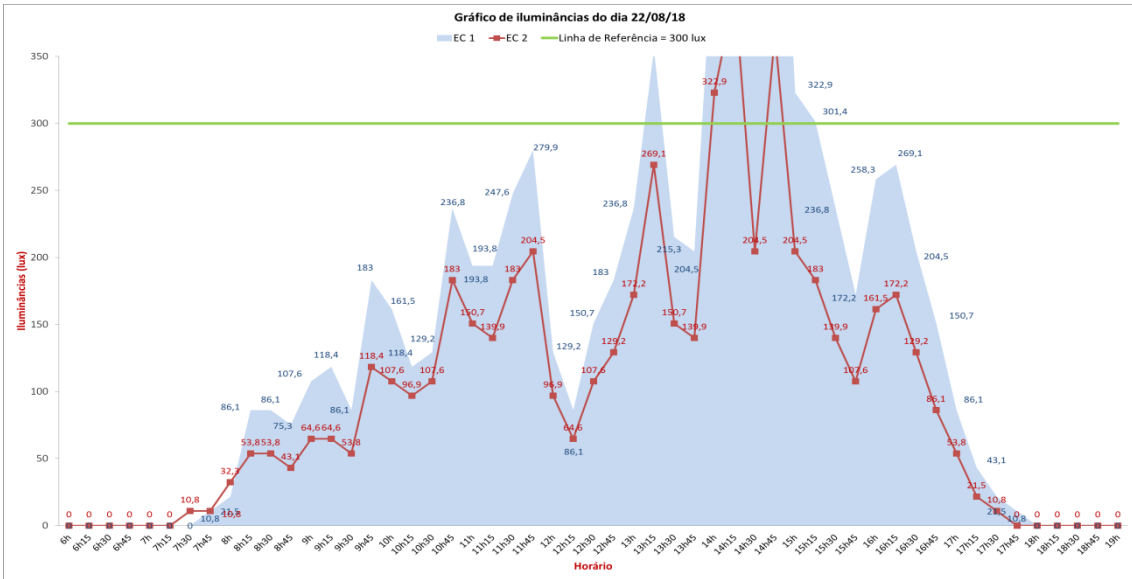
Fonte: a autora.

APÊNDICE 3 – Gráficos com iluminâncias (lux) diárias coletadas na 3ª fase do experimento

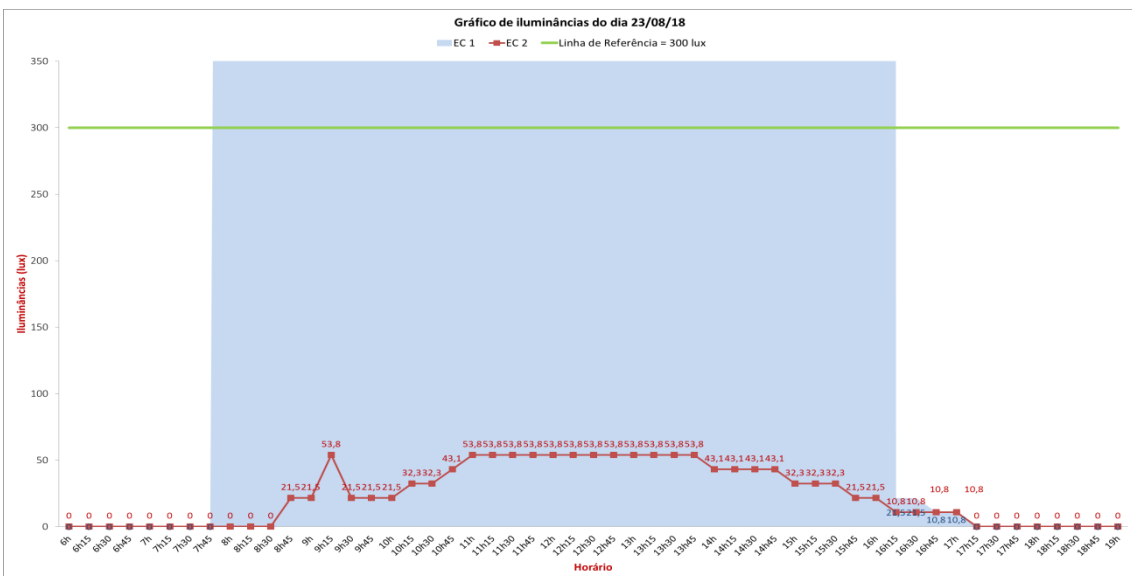
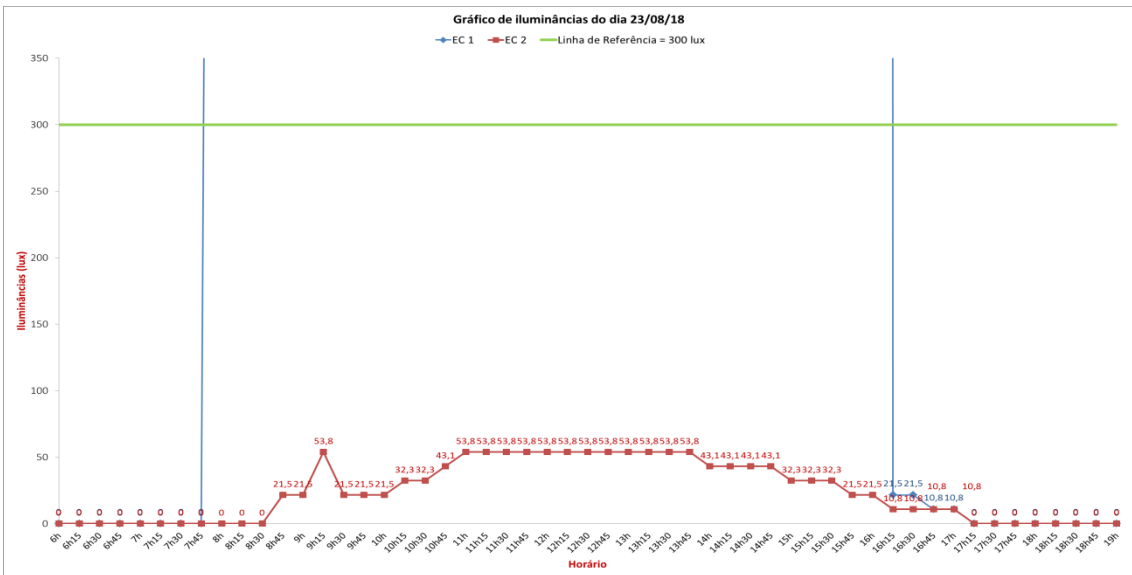


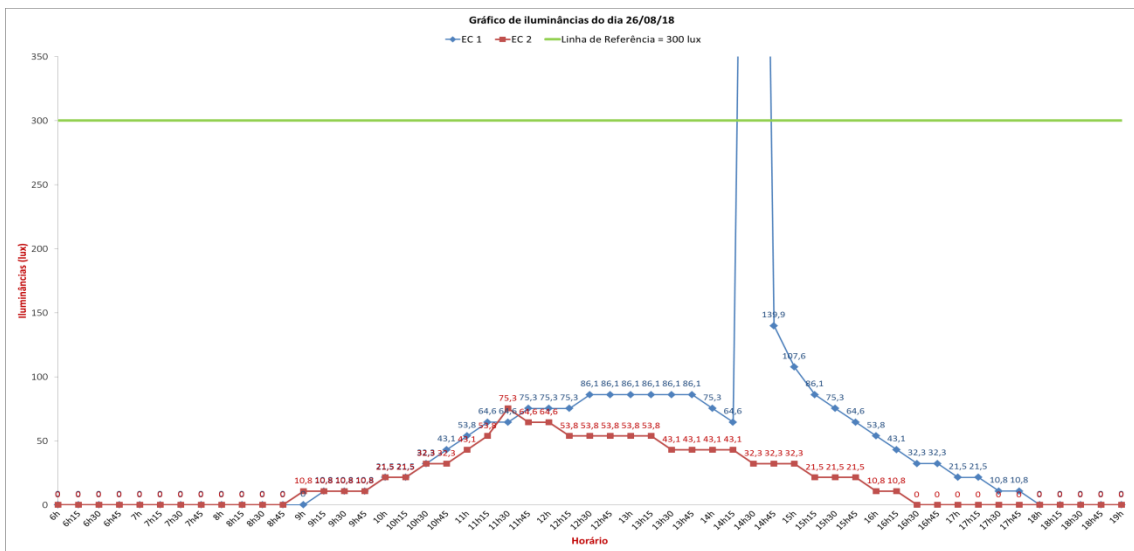
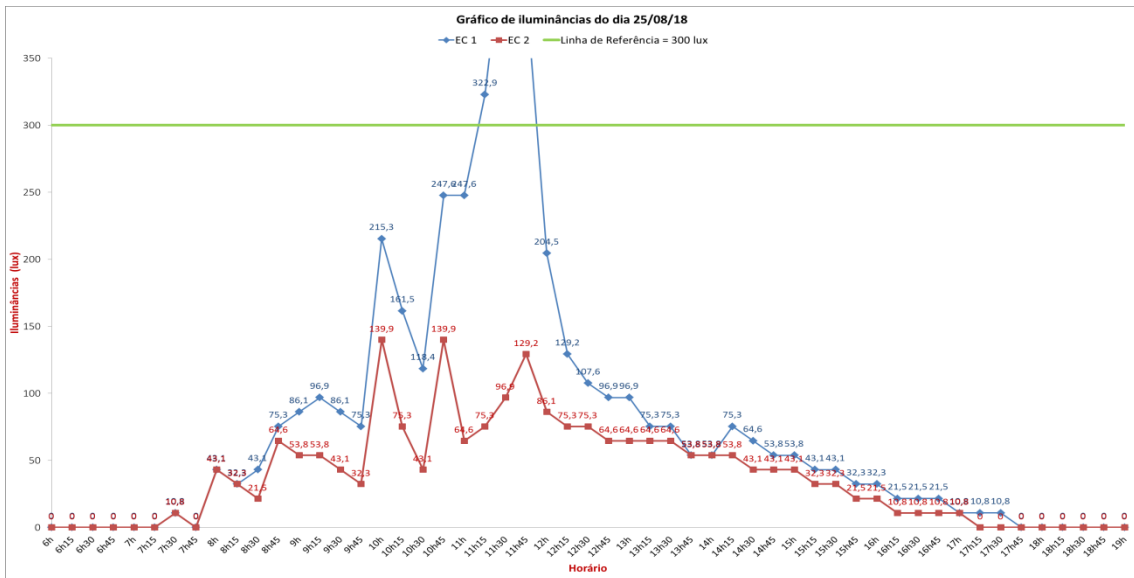
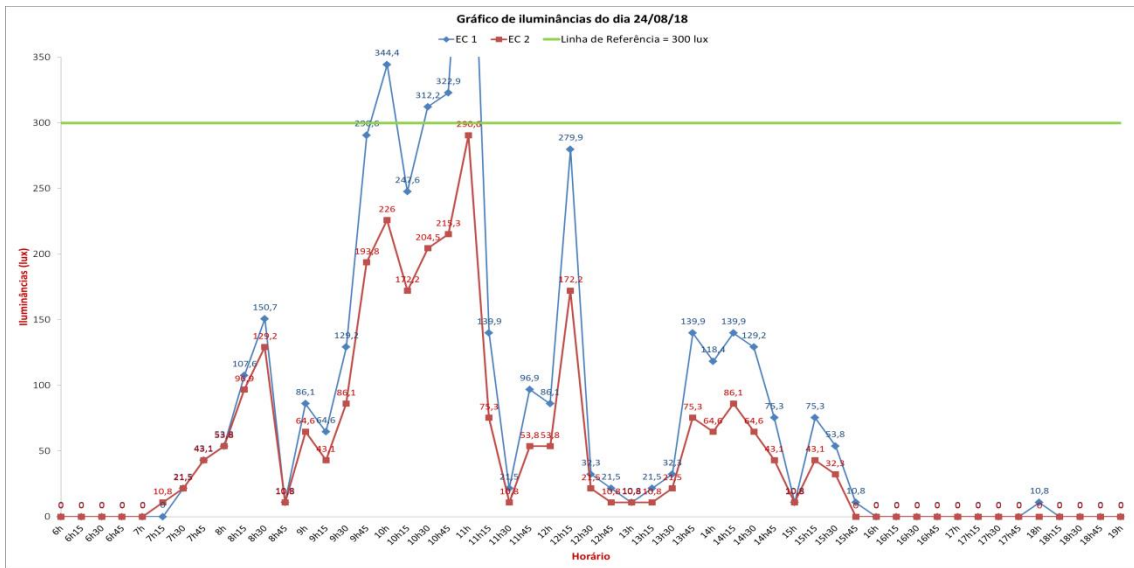


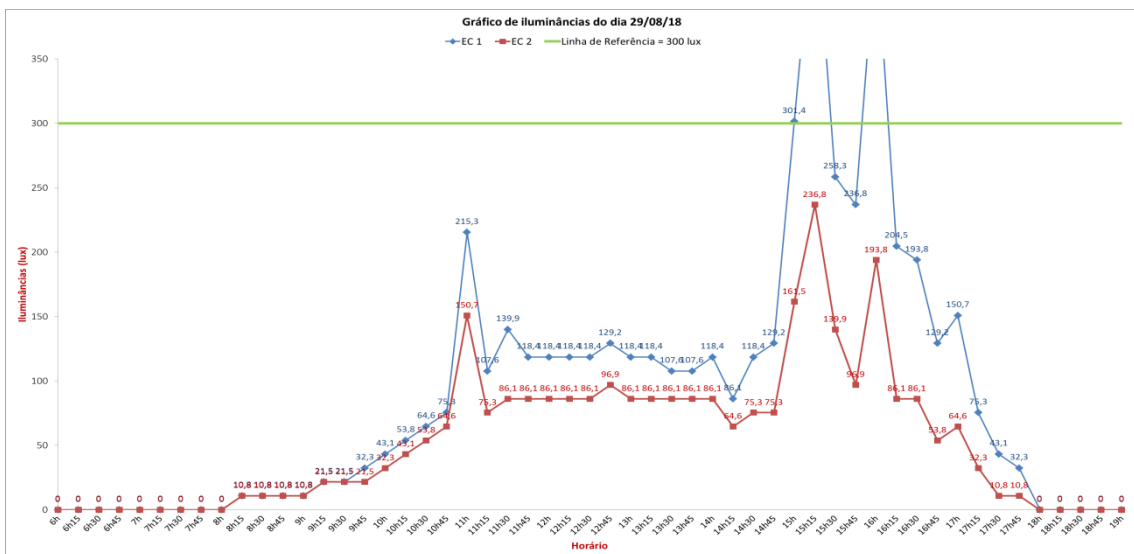
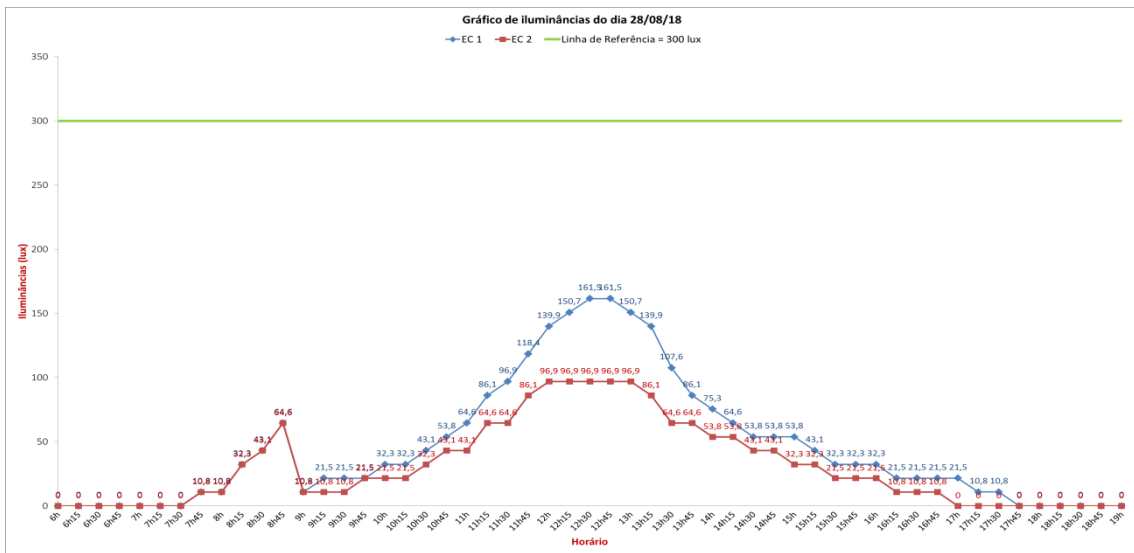
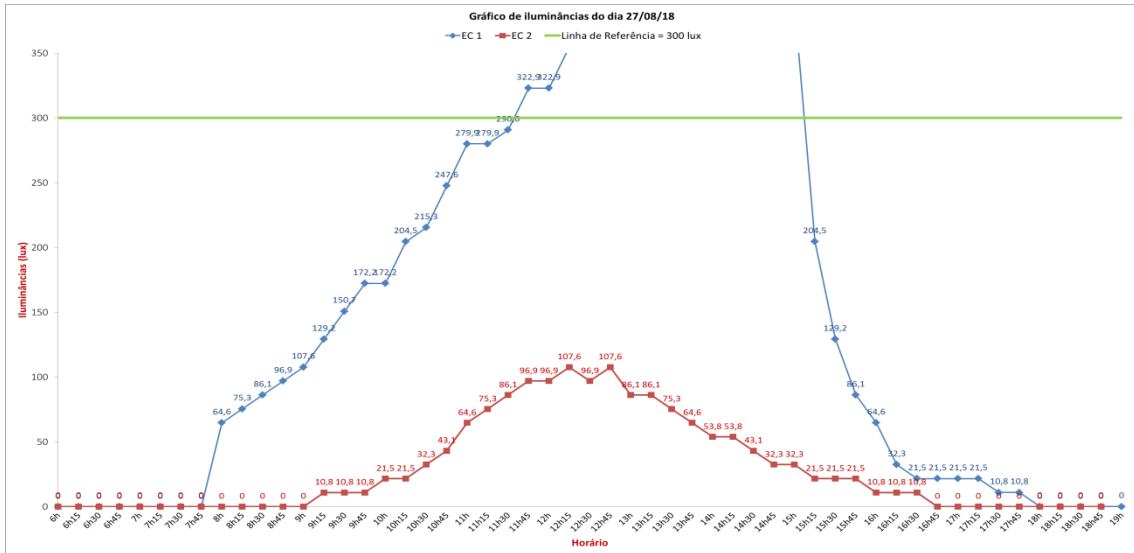


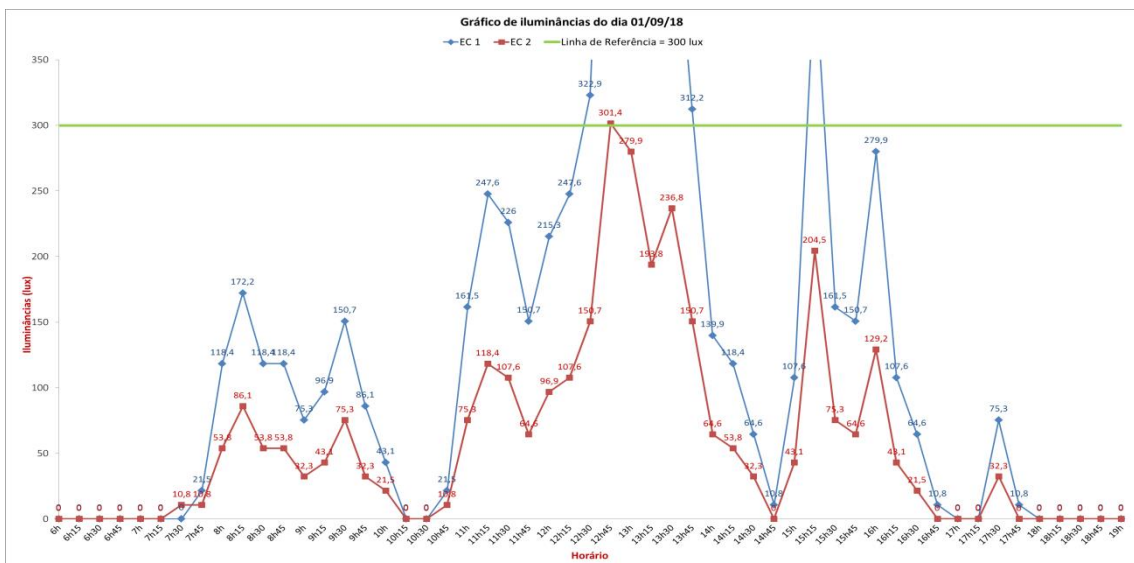
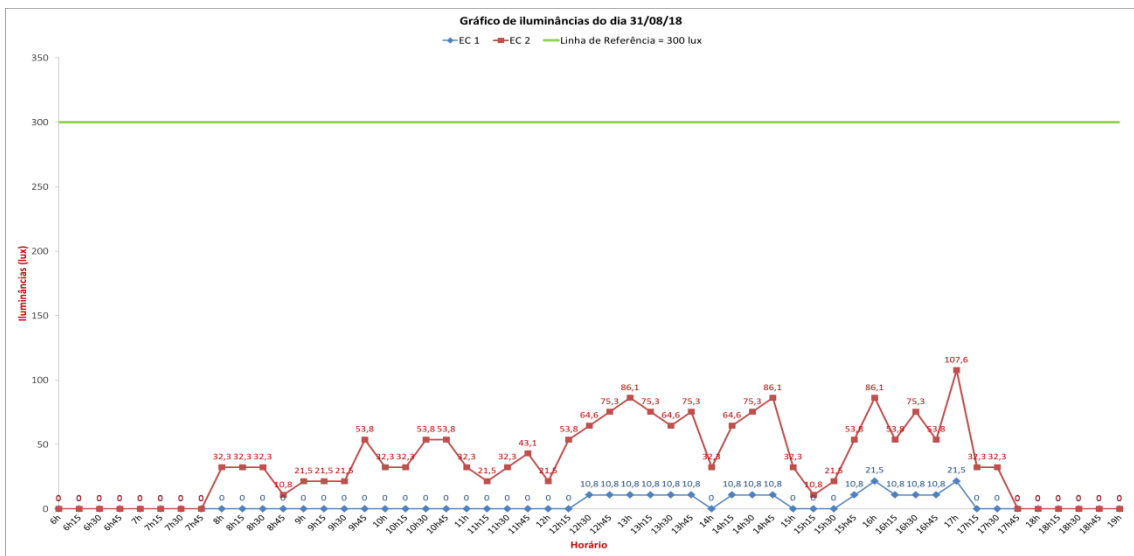
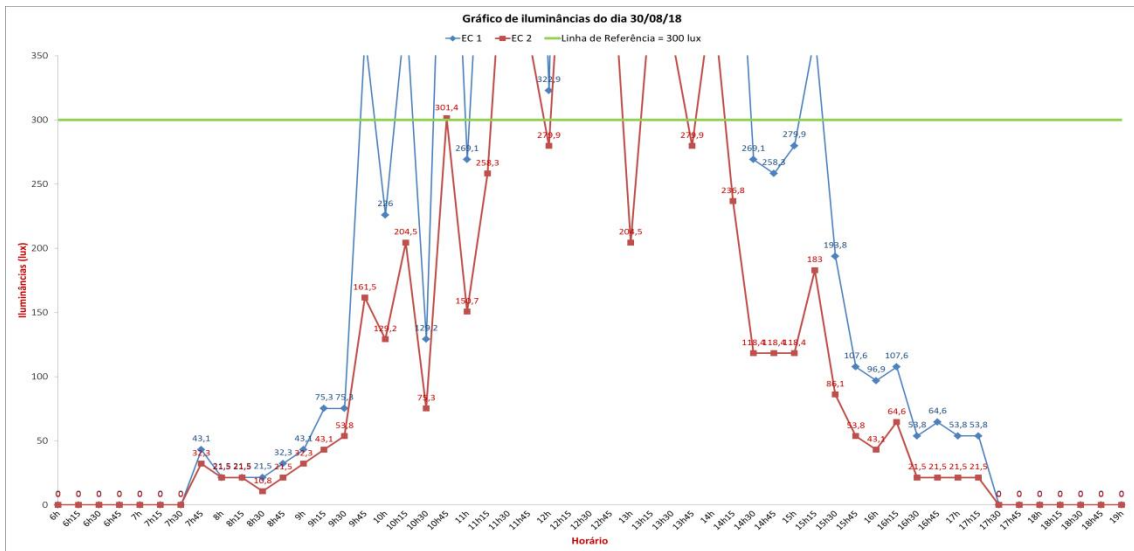


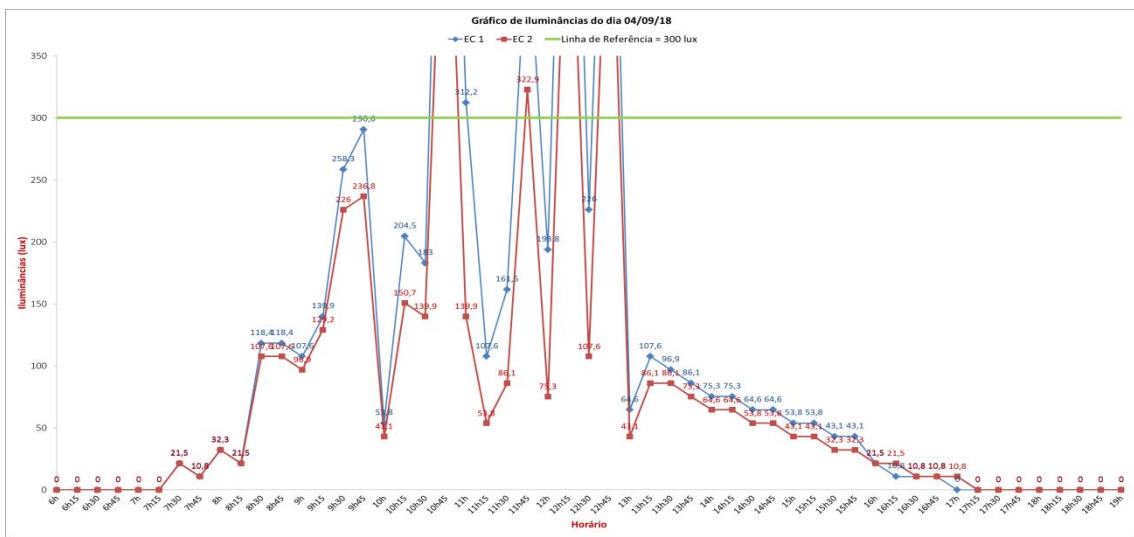
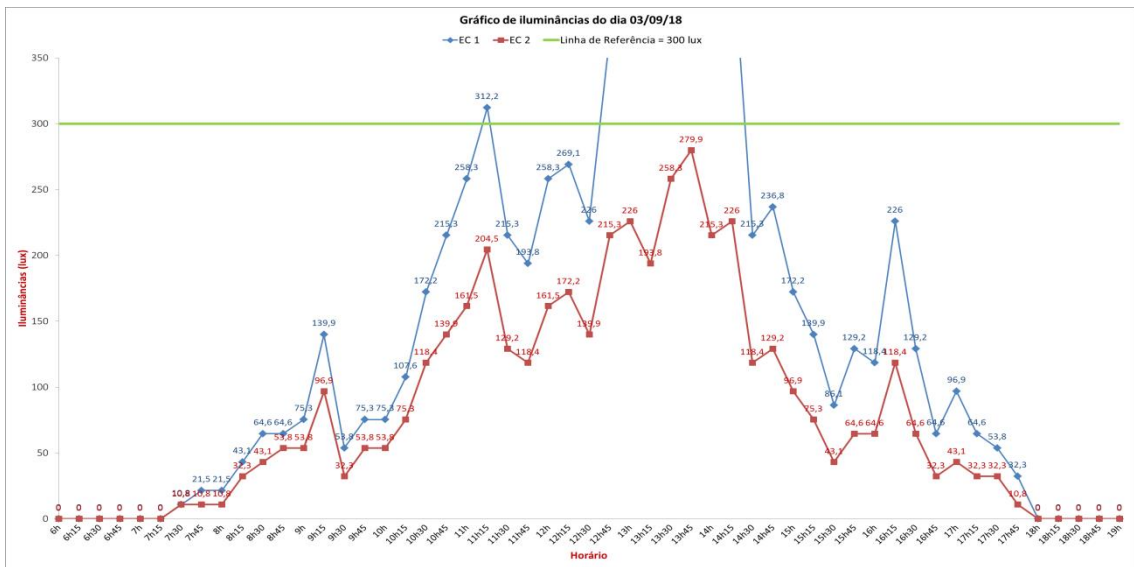
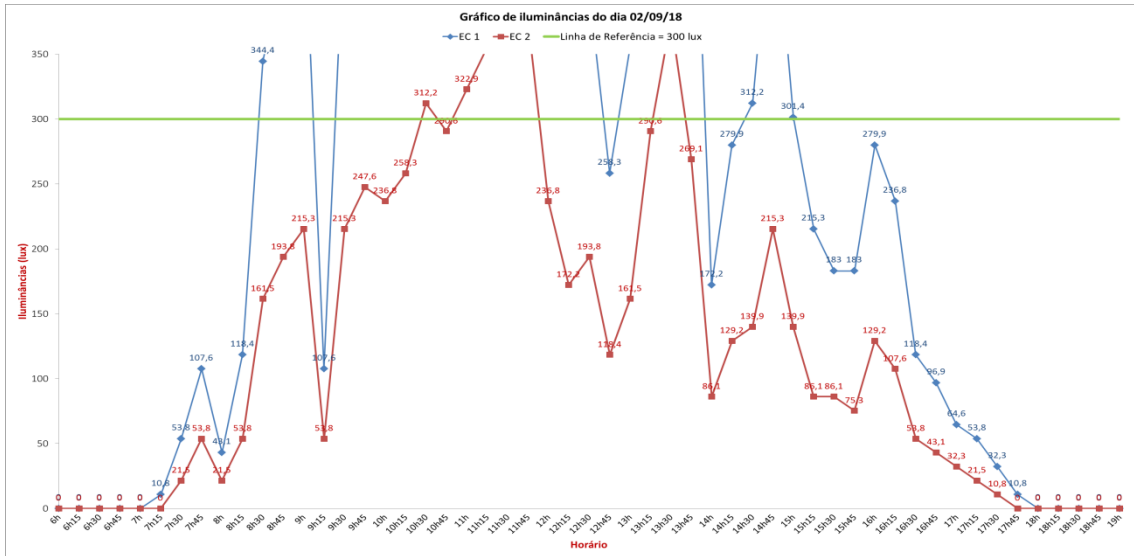
Z

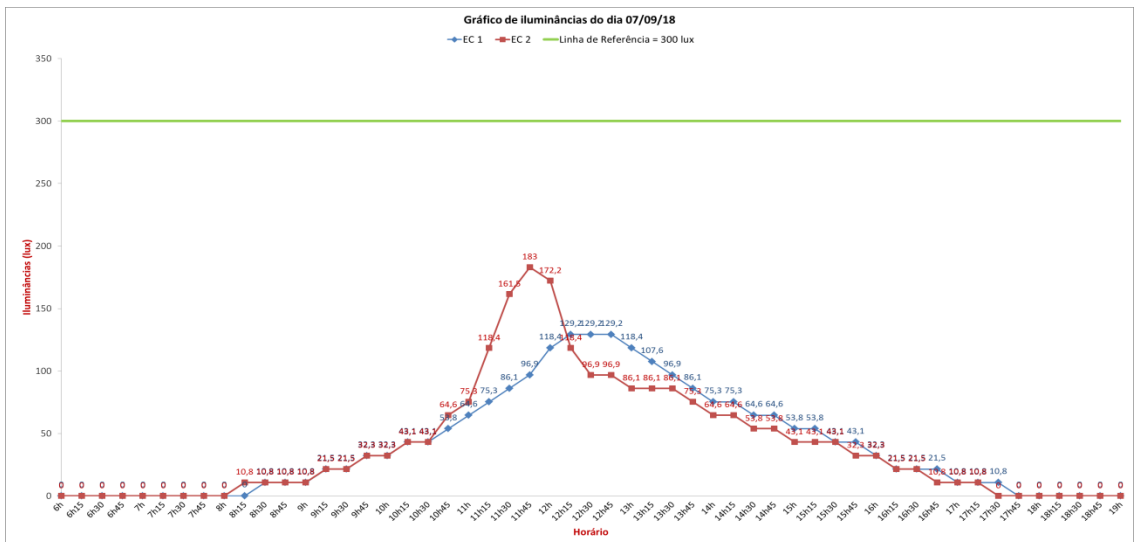
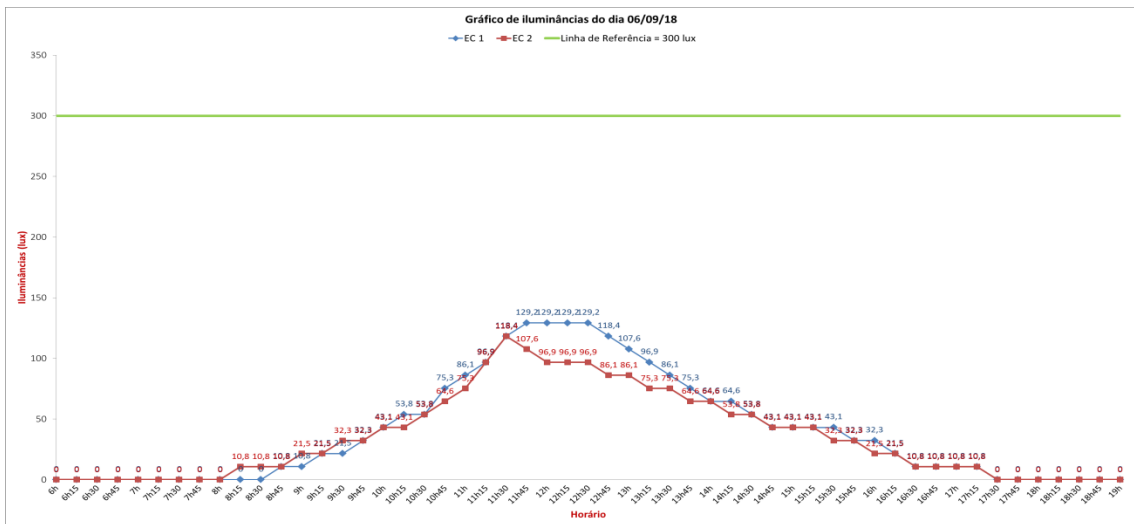
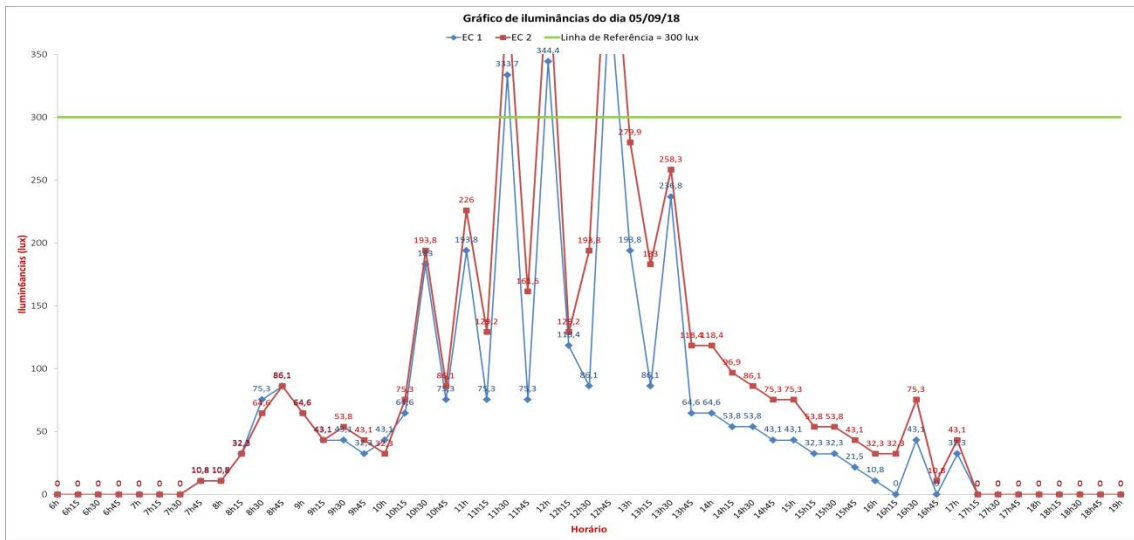


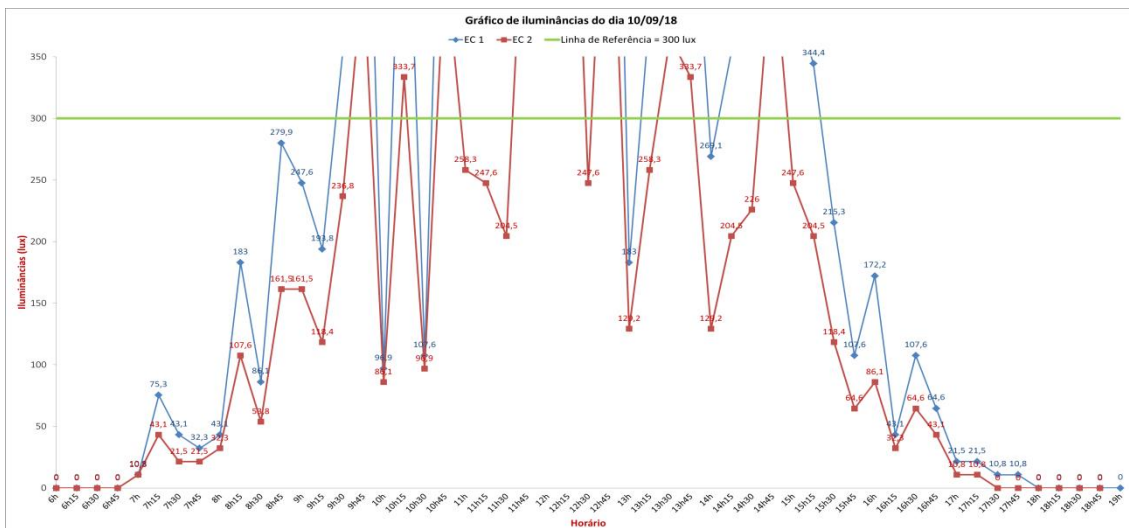
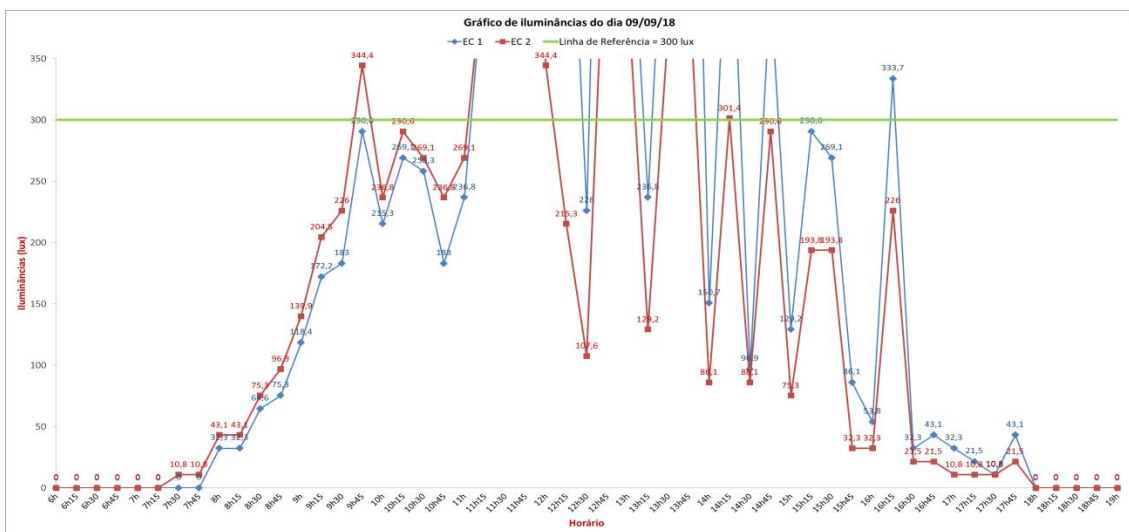
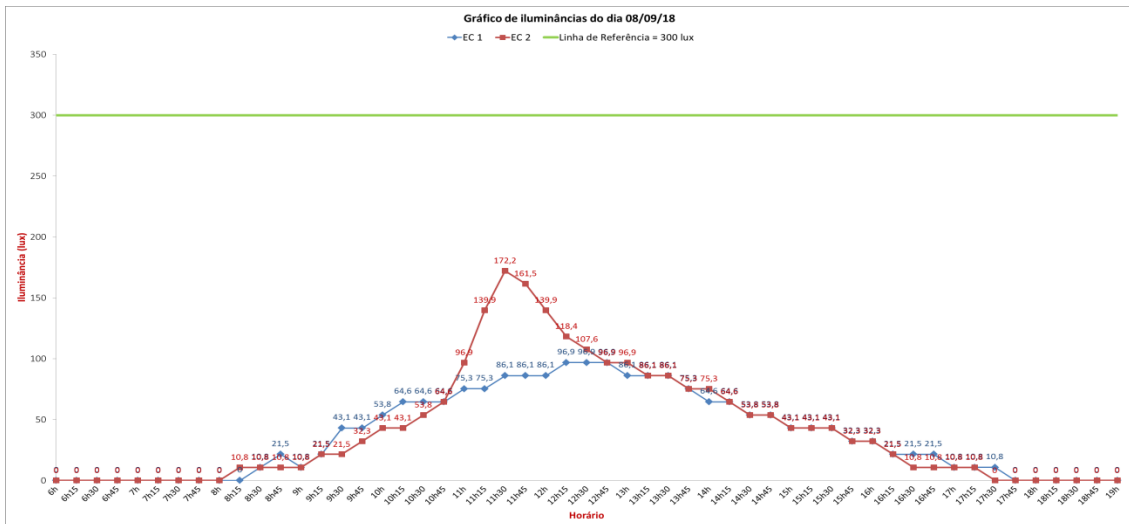


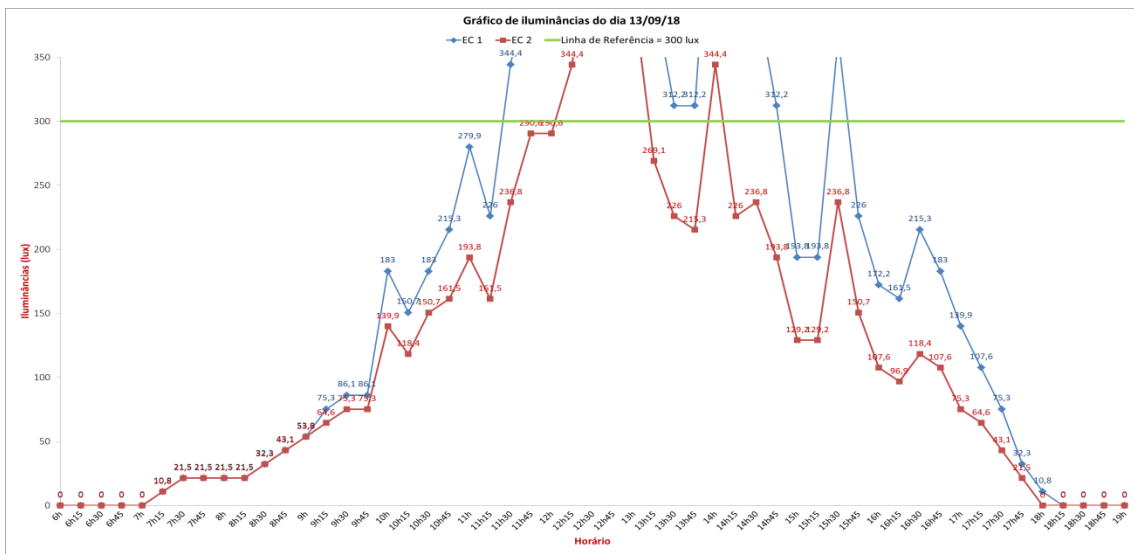
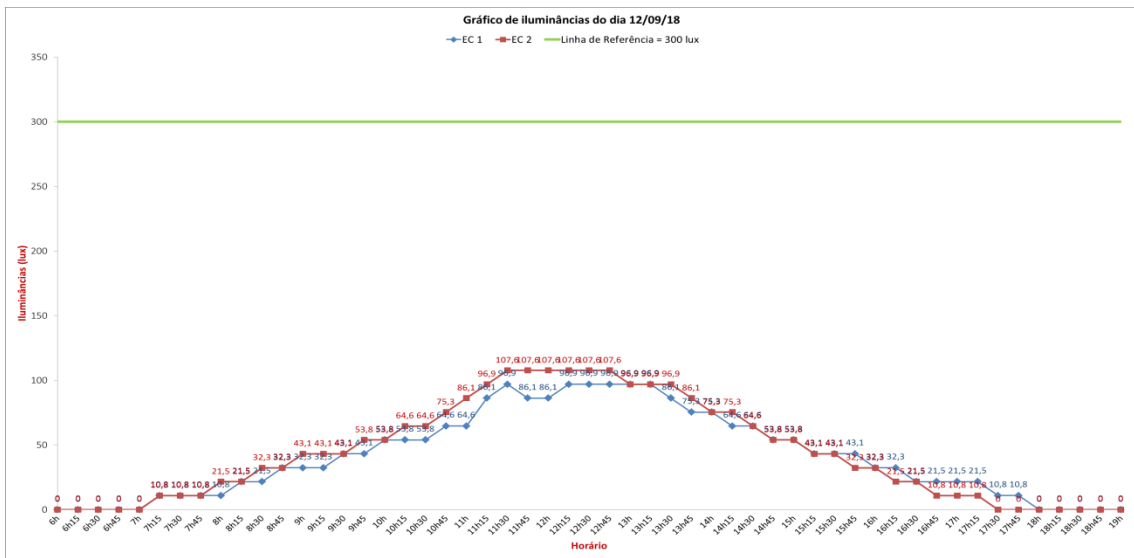
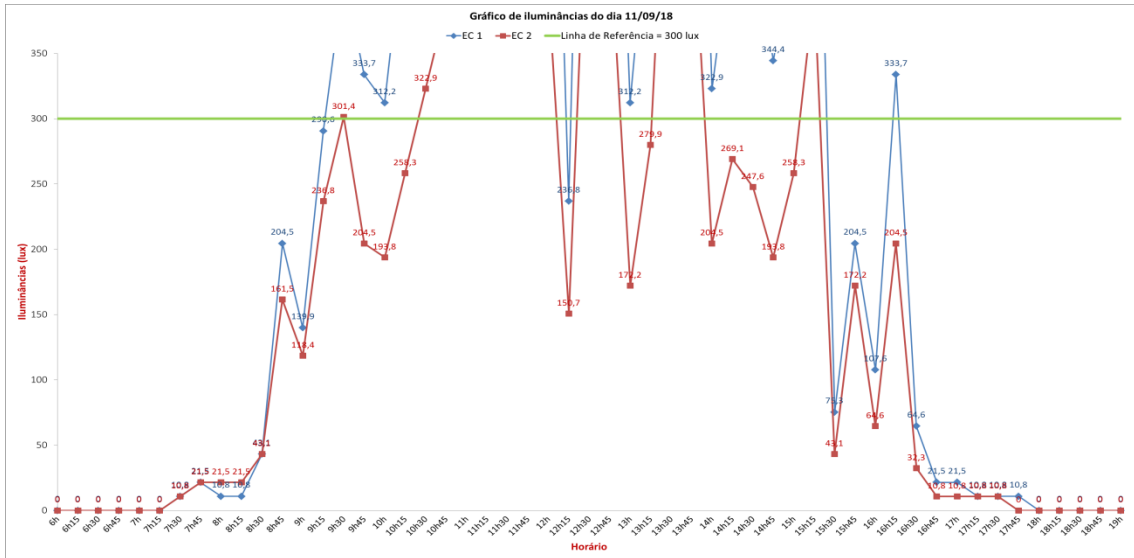


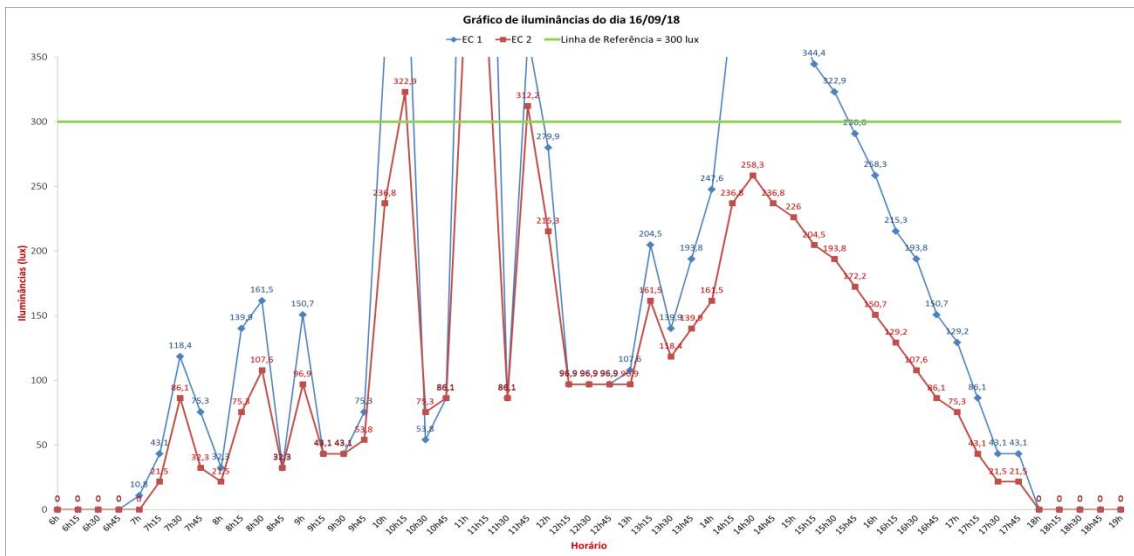
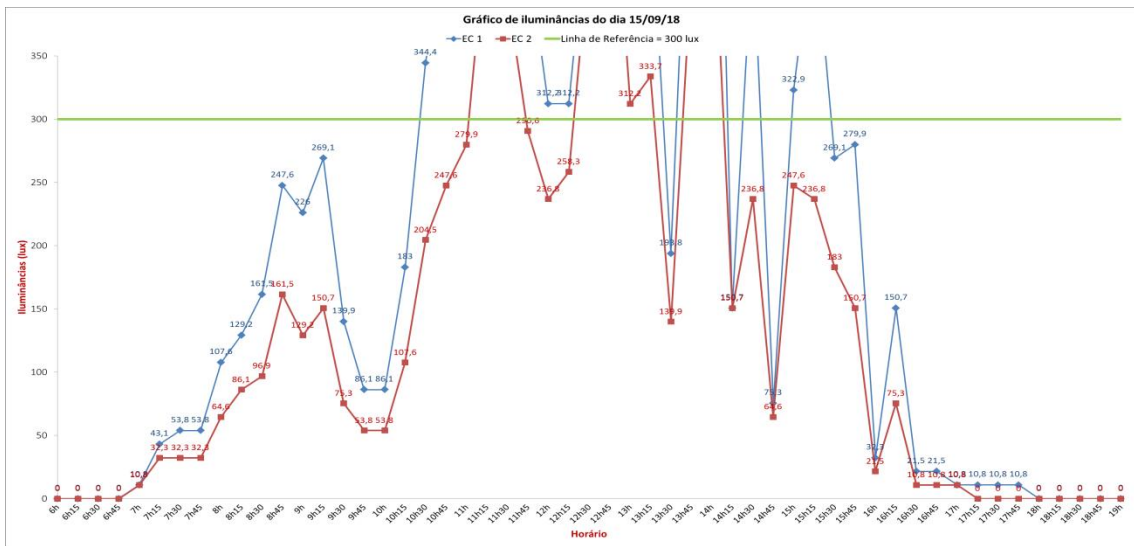
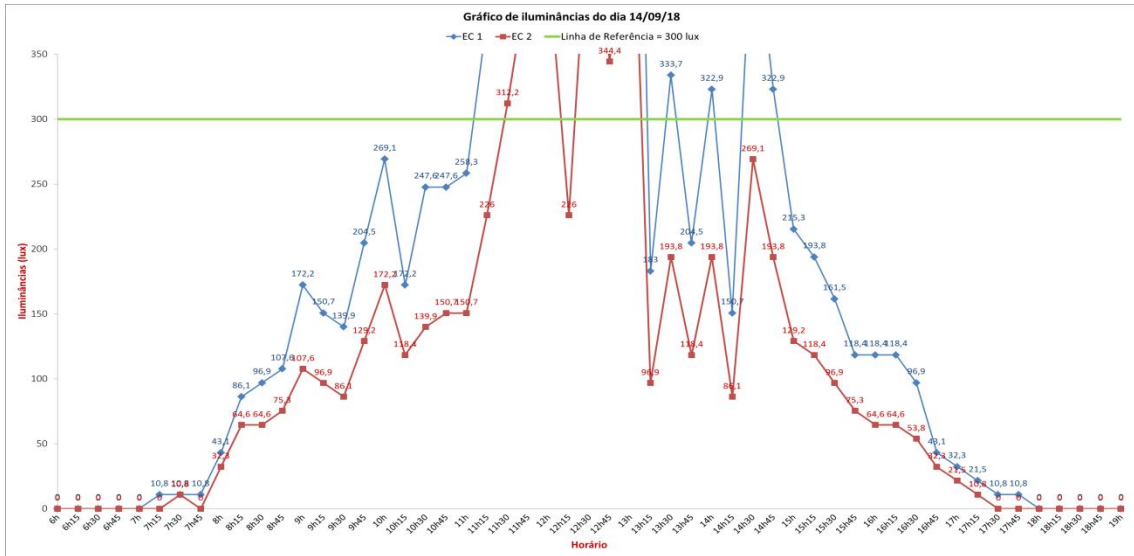


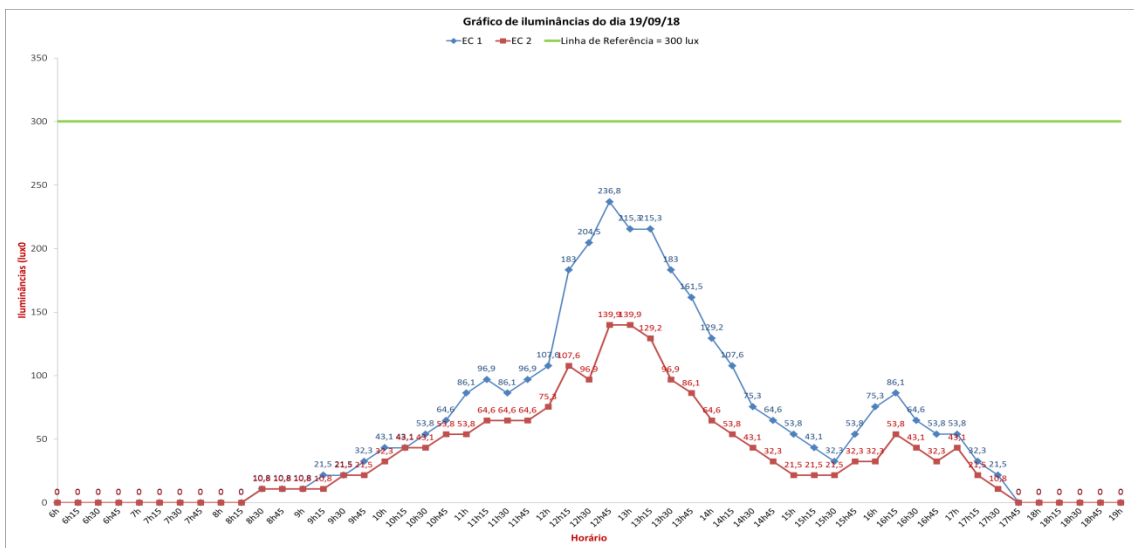
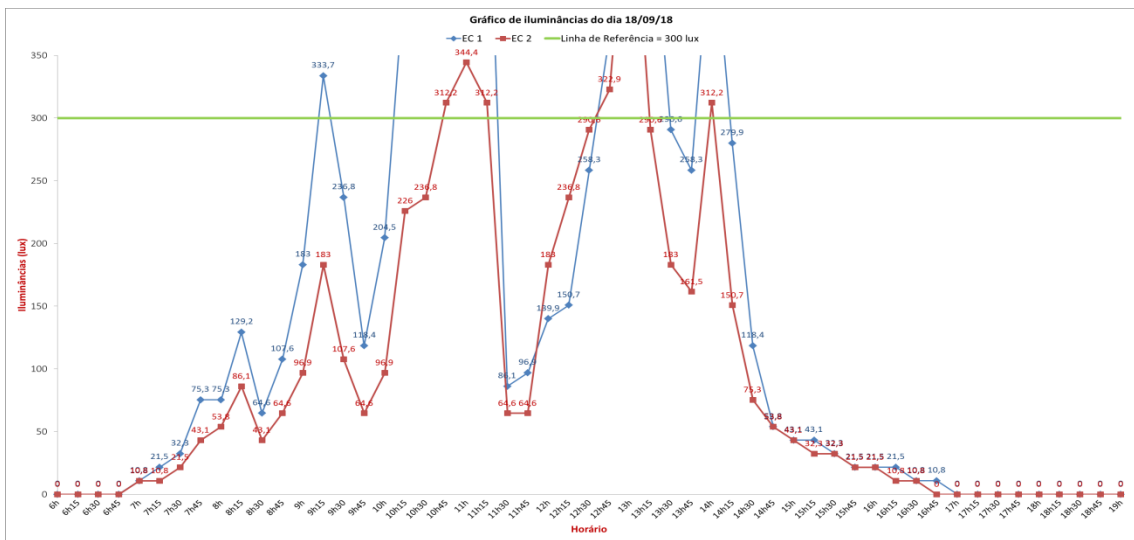
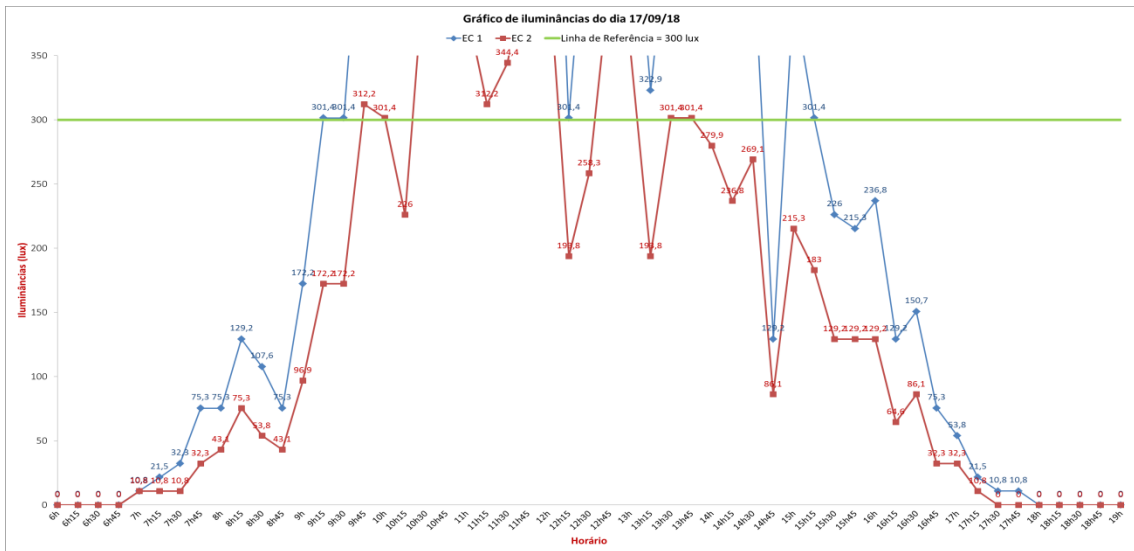


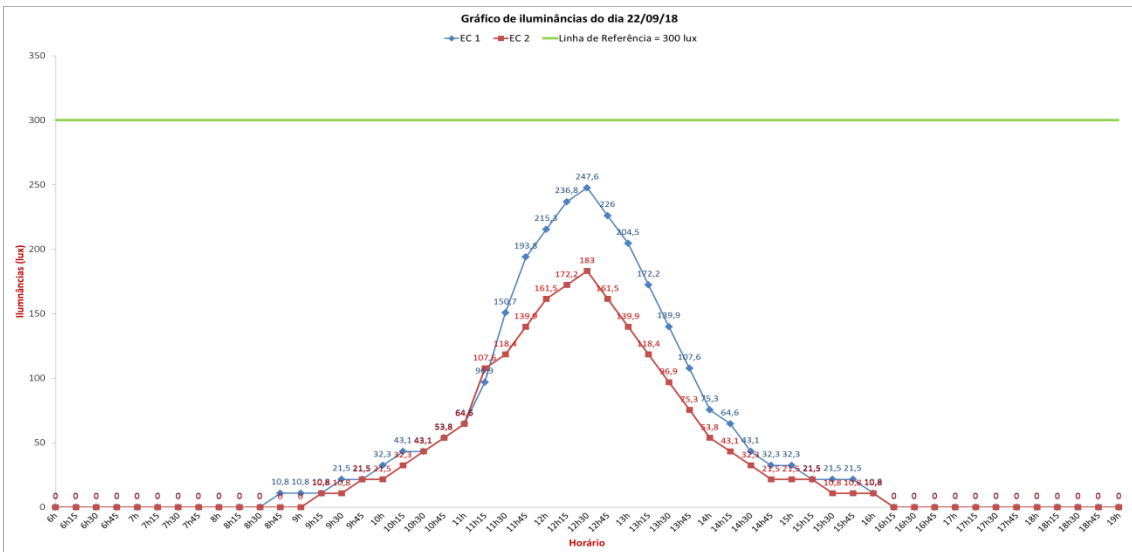
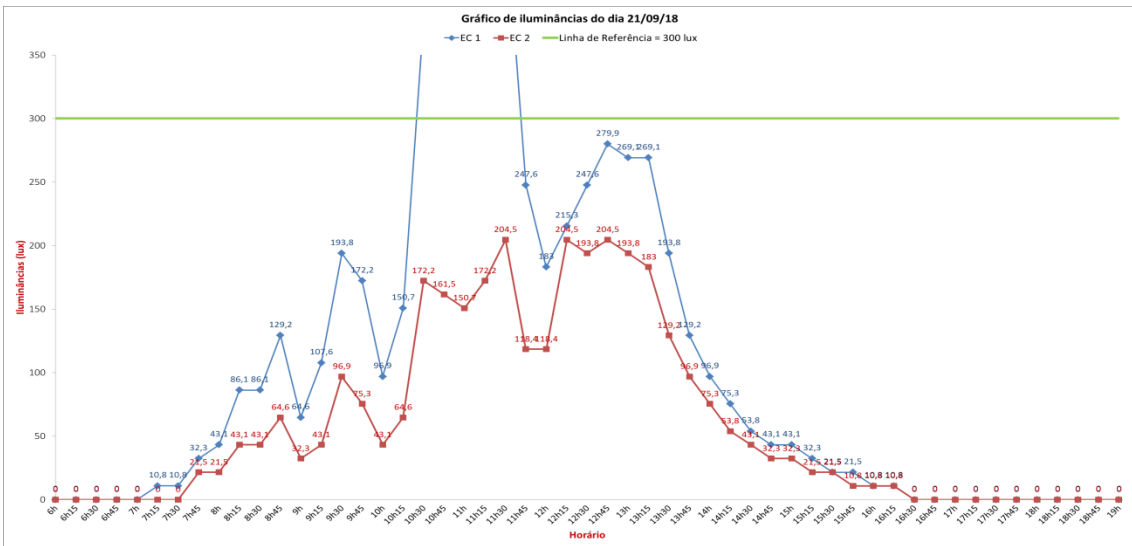
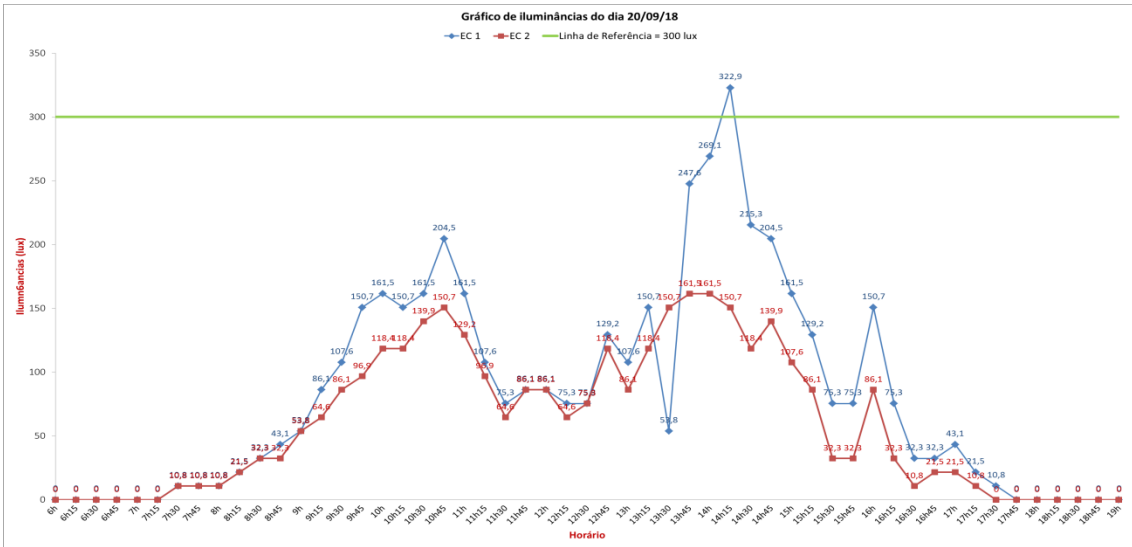


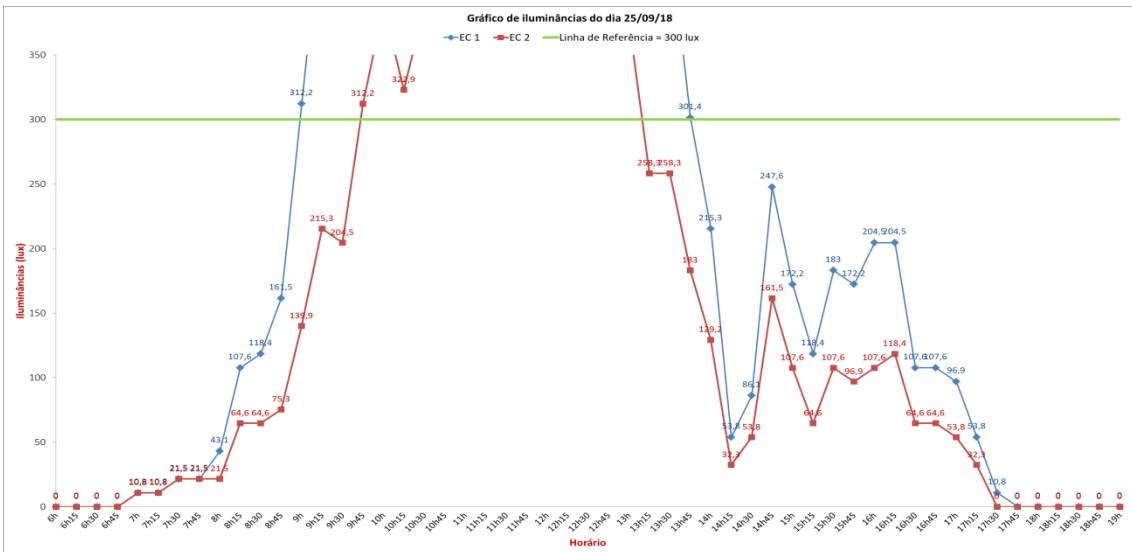
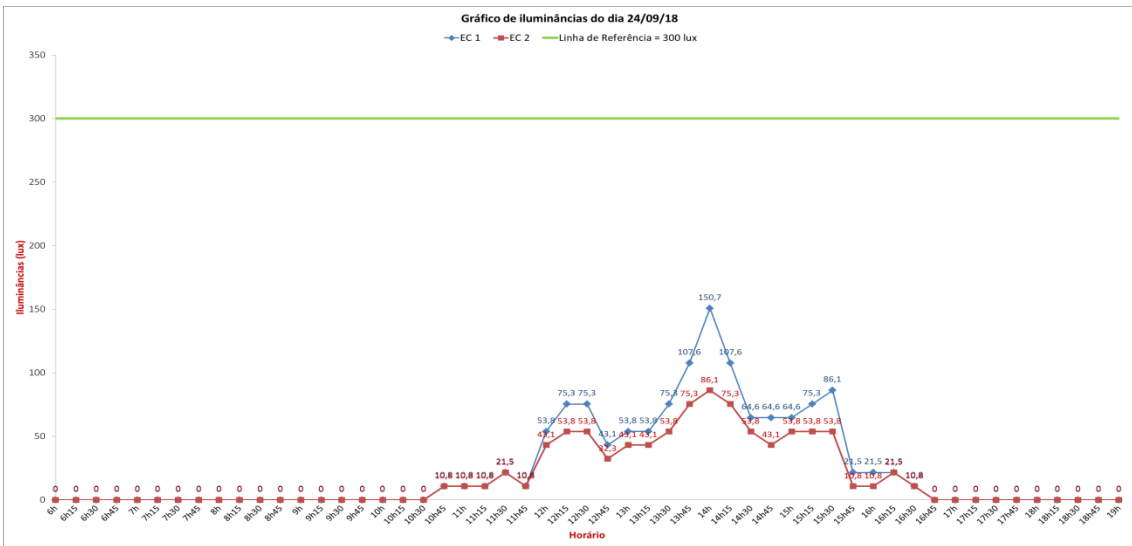
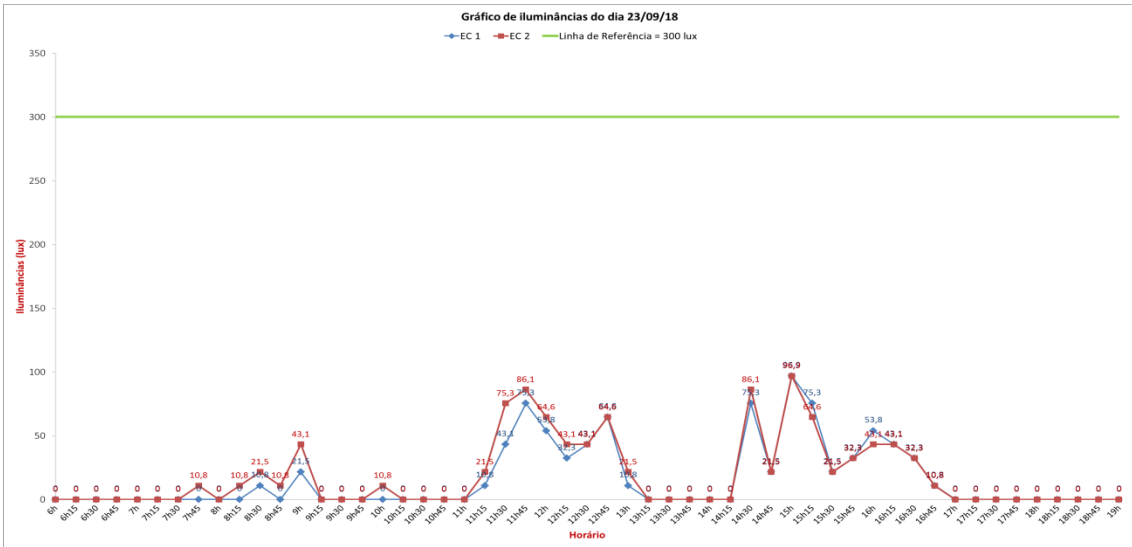


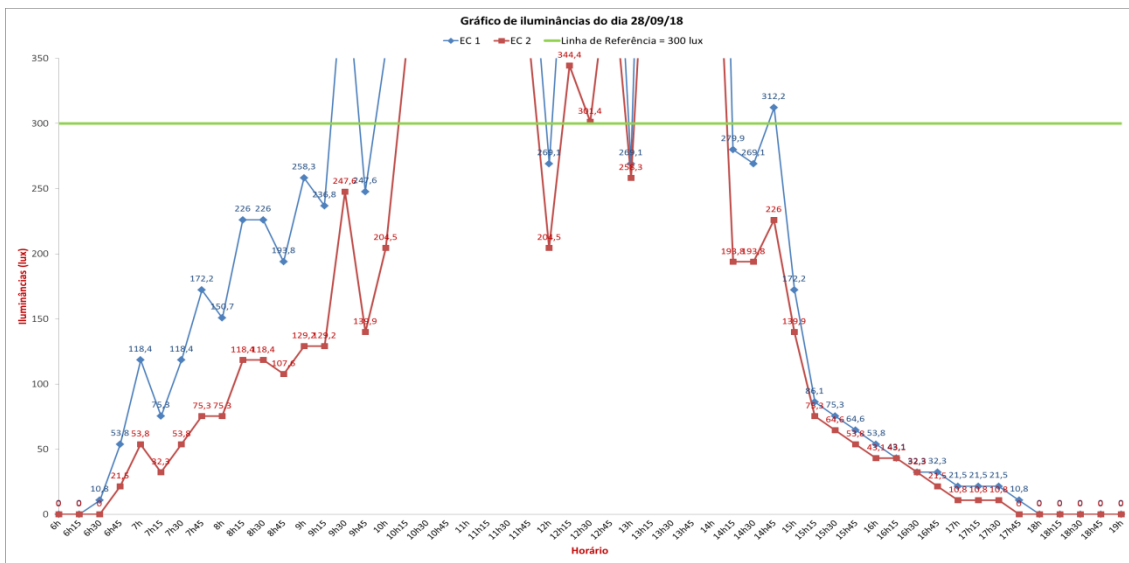
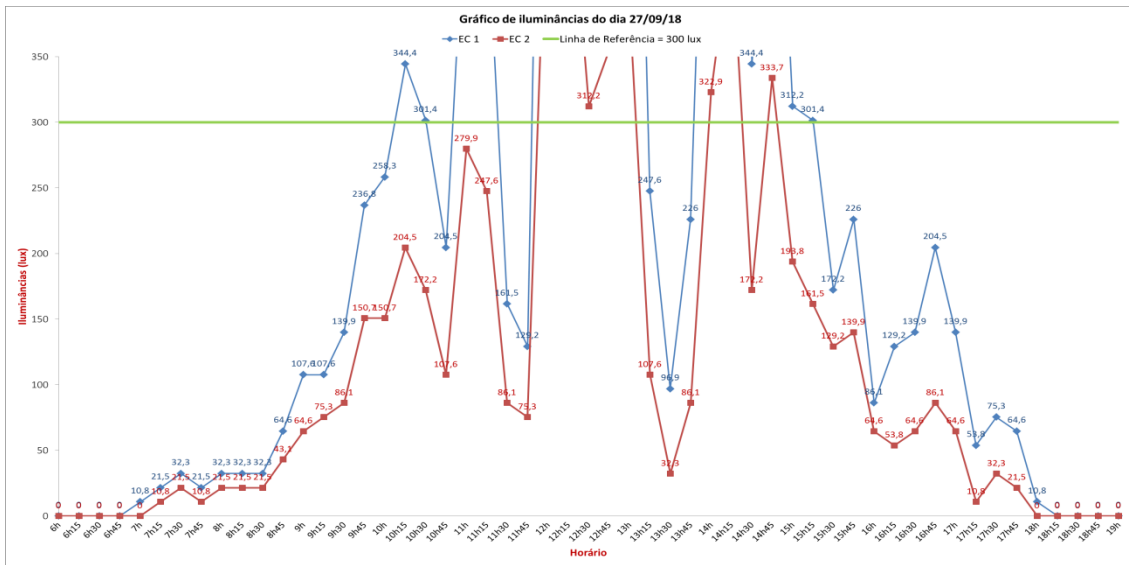
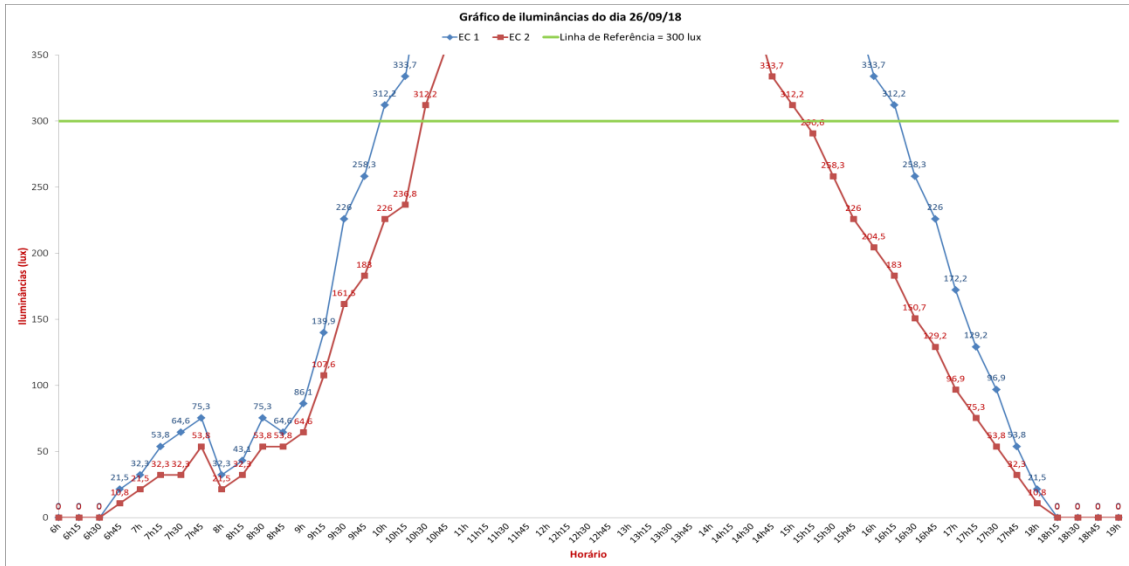


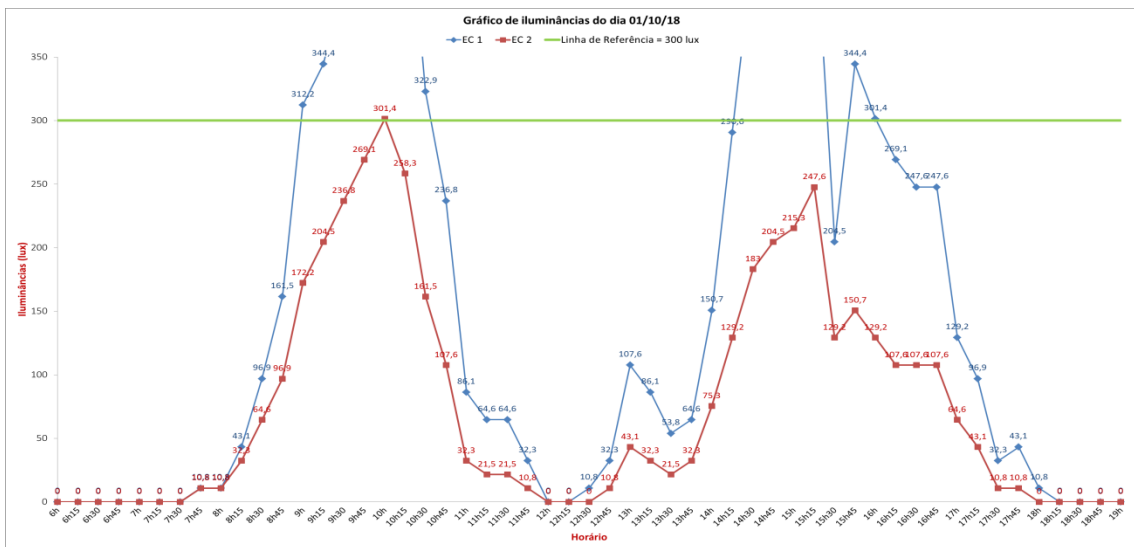
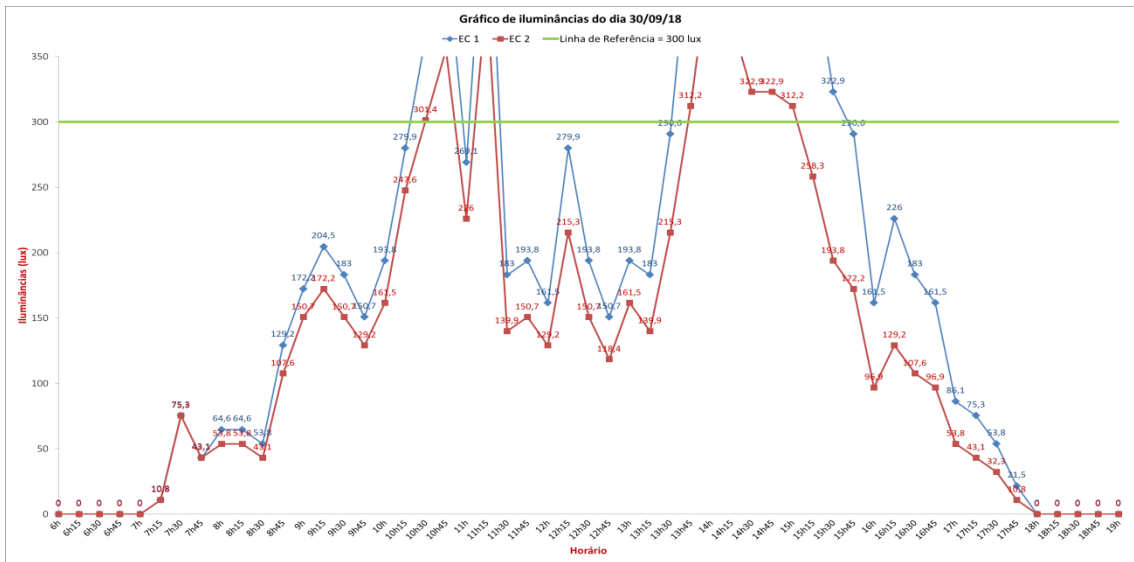
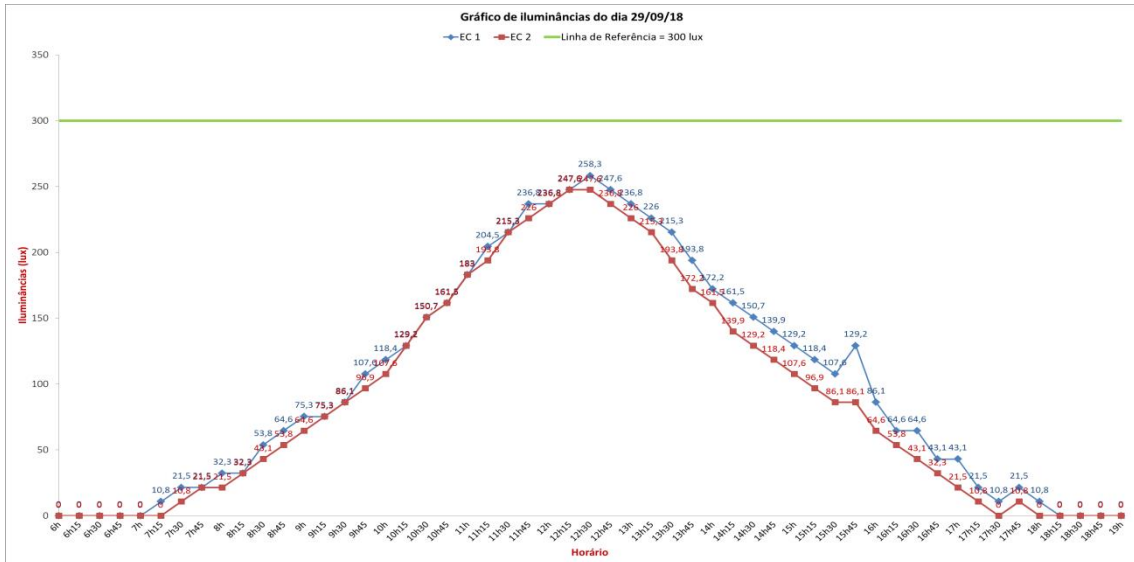


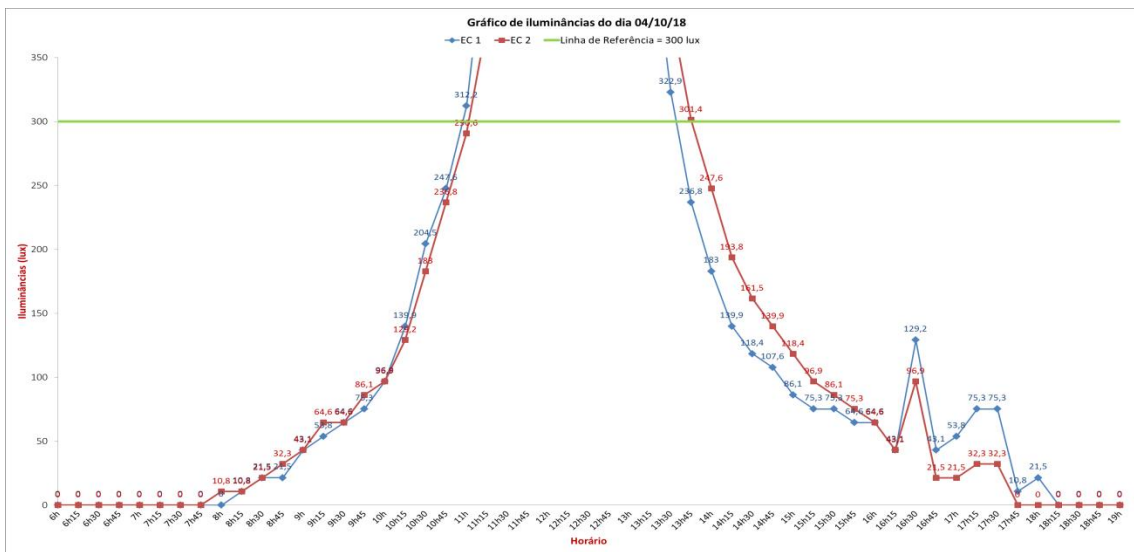
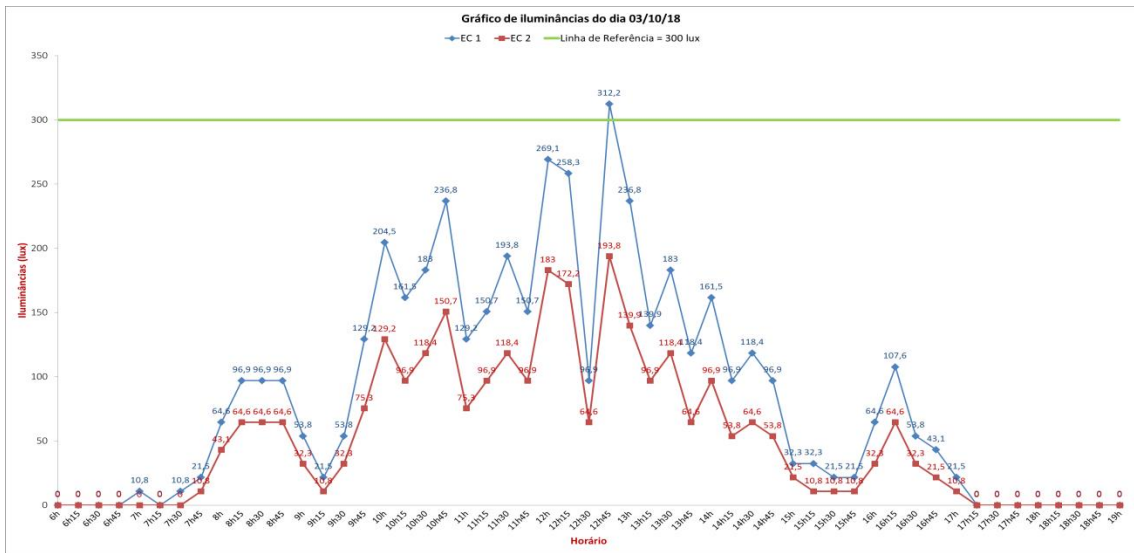
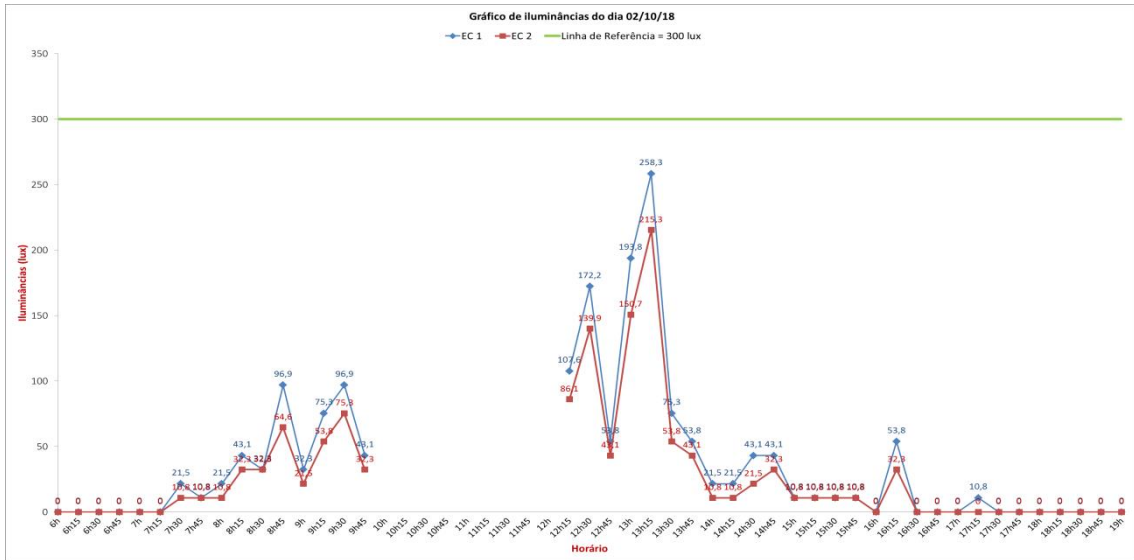


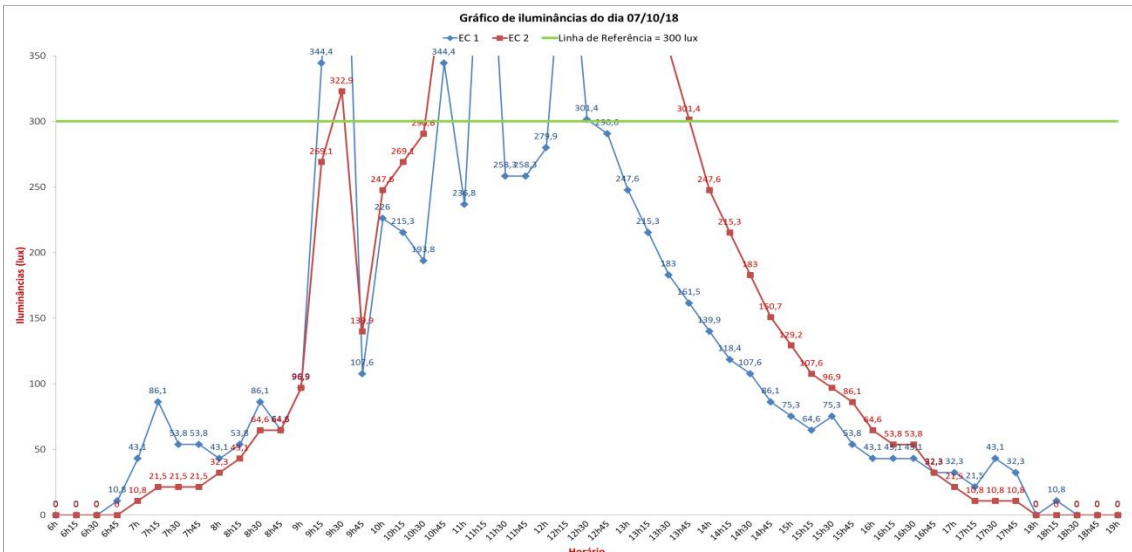
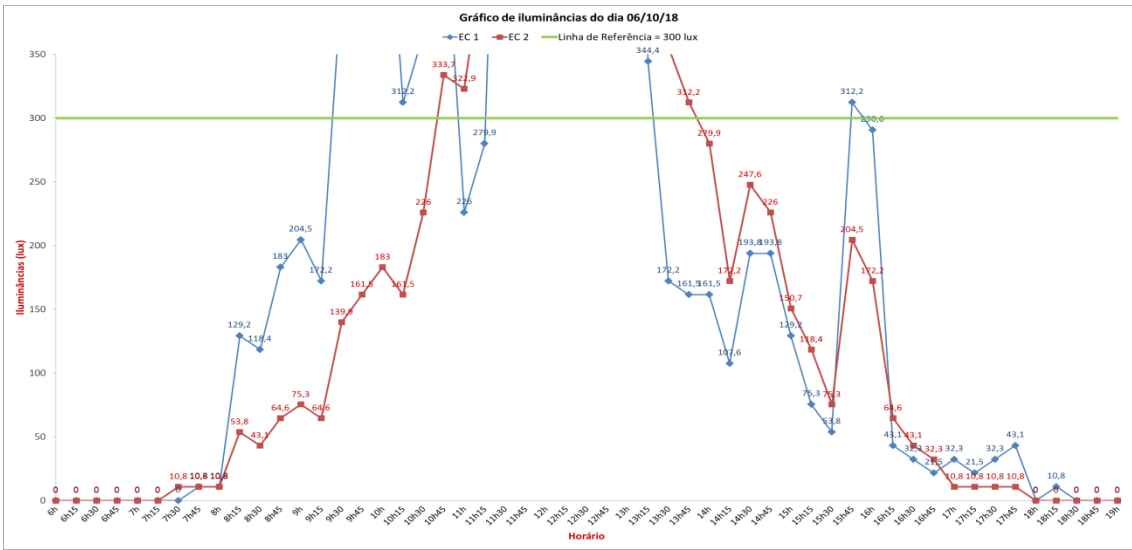
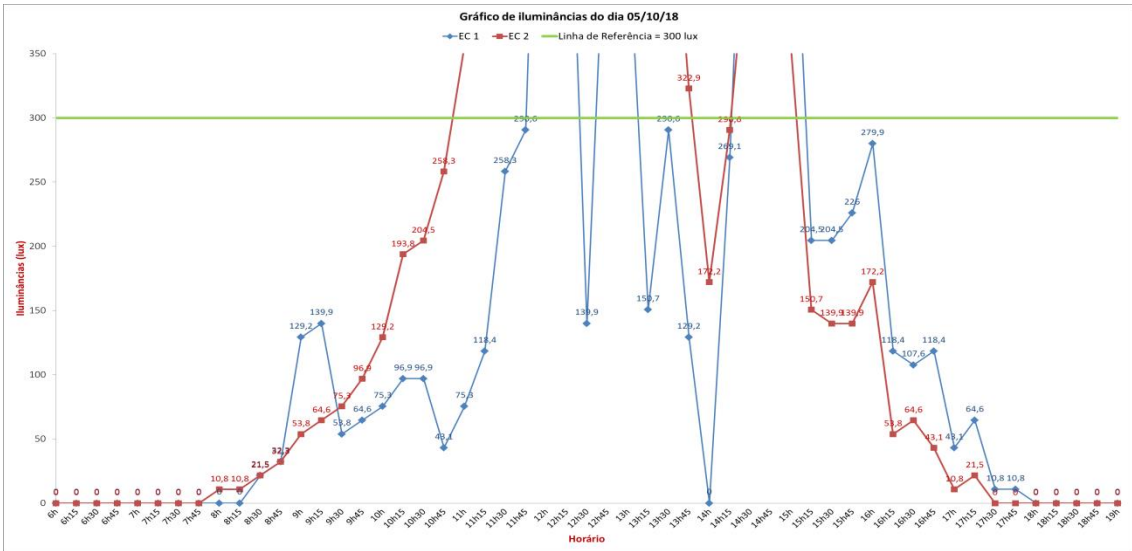


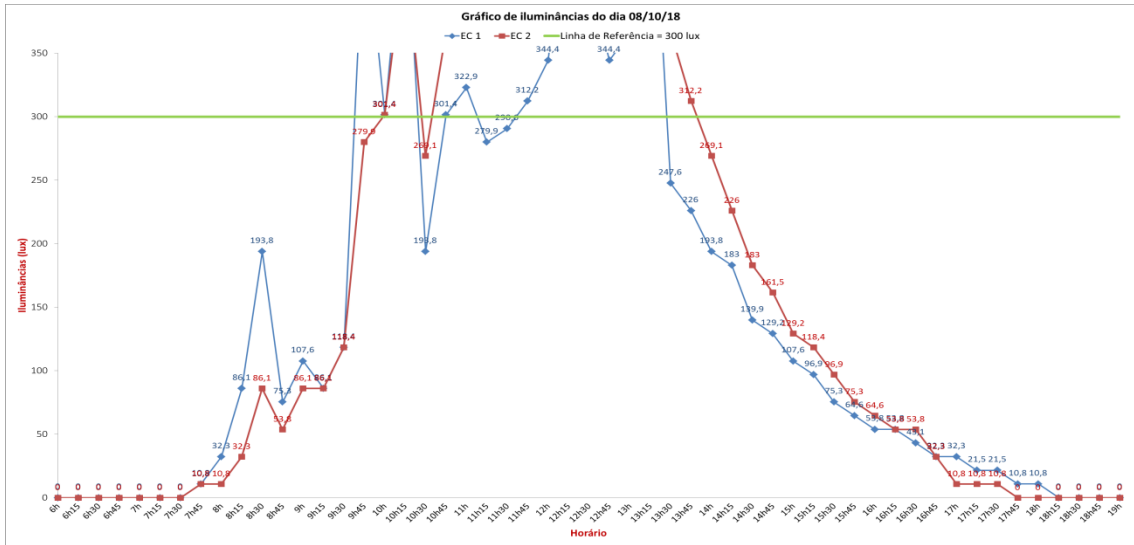












APÊNDICE 4 – Tabela e gráfico do fotoperíodo (horas) diário coletado nos Estudos de Caso 1 e 2 - EC 1 e EC 2, respectivamente.

Tabela dos fotoperíodo (horas) x média iluminâncias (lux) (EC 1, EC 2 e externa).

Fotoperíodo diário - período com iluminâncias acima de 300 lux							
Dia do experimento	Dia de coleta	Tipo de céu	Fotoperíodo EC 1 (hora)	Média iluminância EC 1 (lux)	Fotoperíodo EC 2 (hora)	Média iluminância EC 2 (lux)	Iluminância média exterior (lux)
1	18/8	C	0,75	4.990	0	10	27.873
2	19/8	P	7,5	14.815	0,5	72	71.072
3	20/8	E	0	19	0	18	6.027
4	21/8	E	5,5	3.094	0,25	87	35.357
5	22/8	E	1,75	150	0,75	101	13.365
6	23/8	C	8	23.675	0	23	91.861
7	24/8	E	2	80	0	51	11.027
8	25/8	P	0,75	77	0	38	84.393
9	26/8	C	0,25	60	0	20	90.906
10	27/8	C	3,25	260	0	28	90.792
11	28/8	C	0	45	0	31	91.334
12	29/8	P	0,5	91	0	54	74.777
13	30/8	E	4,25	245	2,25	128	48.096
14	31/8	E	0	3	0	35	6.391
15	1/9	E	1,75	128	0,25	59	9.860
16	2/9	E	5,75	281	2	130	24.221
17	3/9	E	2	143	0	83	13.354
18	4/9	P	1,25	114	1	85	72.610
19	5/9	C	0,75	64	0,75	86	93.814
20	6/9	C	0	39	0	35	97.263
21	7/9	C	0	40	0	40	96.537
22	8/9	C	0	36	0	41	96.696
23	9/9	P	3	204	2,5	154	62.025
24	10/9	E	5	258	2,5	158	50.130
25	11/9	E	6	280	3,25	172	38.578
26	12/9	C	0	41	0	44	96.865
27	13/9	P	3,75	192	1,25	129	74.775
28	14/9	E	3	192	1,5	116	15.685
29	15/9	E	4,25	218	2	141	59.815
30	16/9	P	2,75	165	1	110	77.903
31	17/9	E	5,75	259	3,25	154	50.524
32	18/9	P	2,5	151	1,5	101	66.804
33	19/9	C	0	59	0	35	99.349
34	20/9	E	0,25	82	0	60	36.032
35	21/9	P	1,25	105	0	59	75.057
36	22/9	C	0	49	0	36	101.177
37	23/9	E	0	15	0	18	14.818
38	24/9	E	0	24	0	17	15.266
39	25/9	E	4,75	284	3,5	171	31.852
40	26/9	E	6,5	352	4,75	228	56.291
41	27/9	E	3,75	235	2	121	31.289
42	28/9	P	4,25	261	3,5	176	70.299
43	29/9	C	0	100	0	90	98.677
44	30/9	E	2,75	194	2,25	139	28.121
45	1/10	E	3,25	157	0,25	76	27.401
46	2/10	E	0	52	0	34	11.358
47	3/10	E	0,25	85	0	52	18.511
48	4/10	C	2,75	184	2,75	162	109.717
49	5/10	P	1,75	149	3,75	200	93.994
50	6/10	P	3,75	227	3,25	178	91.008
51	7/10	C	1,25	132	3,5	186	107.644
52	8/10	C	3	148	3,75	181	106.396
Média			2,34	1.025	1,15	91,40	58.942

LEGENDA

C - CÉU CLARO

P - CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO

E - CÉU ENCOBERTO

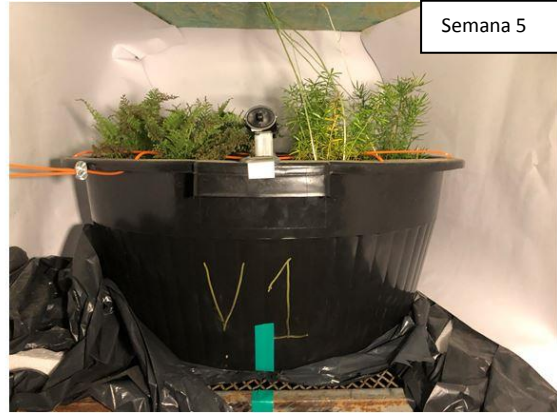
Fonte: a autora.

APÊNDICE 5 – Imagens utilizadas para avaliação da vegetação (EC 1 – Vaso 1)





Semana 0



Semana 5



Semana 1



Semana 6



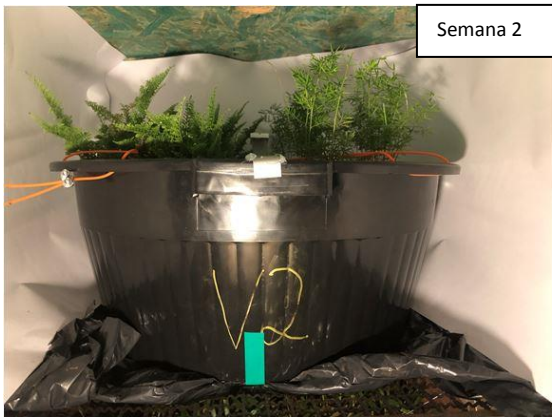
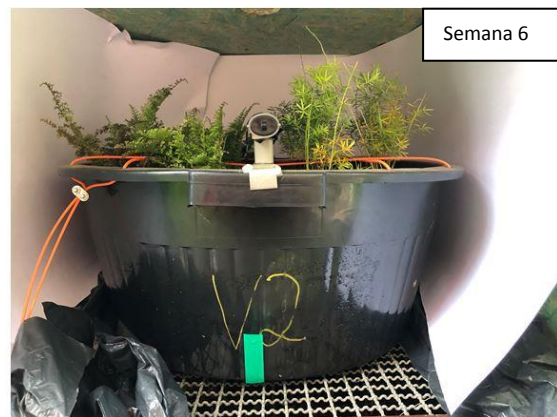
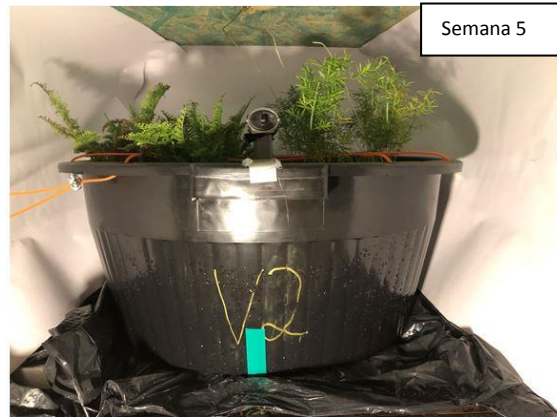
Semana 2



Semana 7

APÊNDICE 5 – Imagens utilizadas para avaliação da vegetação (EC 2 – Vaso 2)





APÊNDICE 5 – Imagens utilizadas para avaliação da vegetação (EC 3 – Vaso 3)





Semana 0



Semana 5



Semana 1



Semana 6



Semana 2

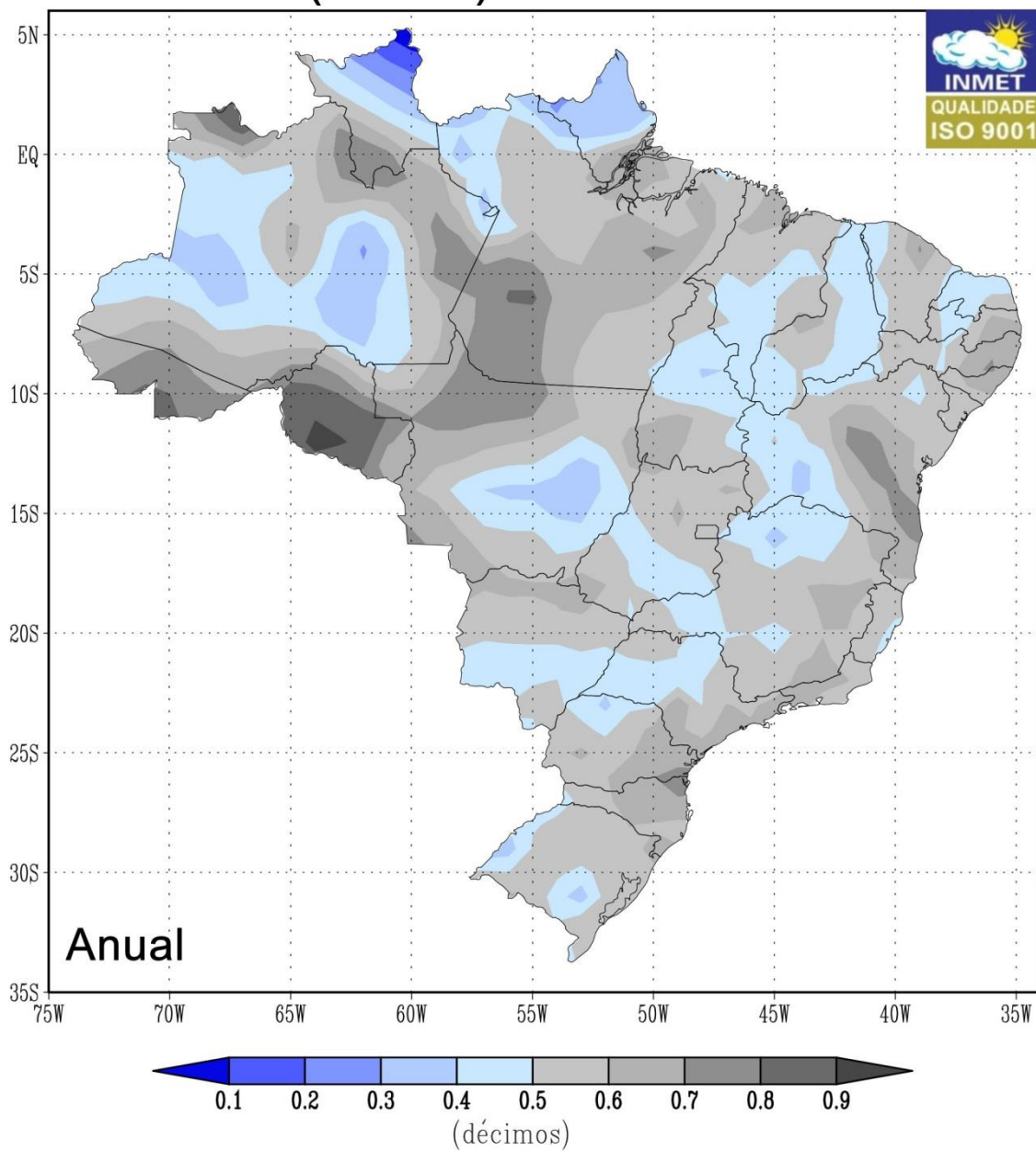


Semana 7

ANEXOS

ANEXO A – Mapa de nebulosidade média anual do Brasil – de 1961 a 1990.

Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 Nebulosidade (décimos)



Fonte: INMET, 2016.

ANEXO B – Publicações

ESTUDO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE DUTO DE LUZ ALIADO AO USO DE HELIOSTATO PARA ILUMINAÇÃO DE EDIFICAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM PORTO ALEGRE

BYSTRONSKI, Yasmin de Almeida*¹(yasmin.bystronski@ufrgs.br); MARTAU, Betina Tschiedel¹
(betina.martau@ufrgs.br)

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - PROPAR, Brasil

*Autor correspondente

RESUMO

O uso dos espaços subterrâneos tem crescido nas últimas décadas, principalmente em função do conceito de cidade compacta, adotado em muitos países como estratégia para garantir a sustentabilidade urbana. O contato com a luz natural é apontado como alternativa de grande potencial para a melhoria das experiências dos usuários desses locais. A utilização dessa fonte de luz implica também a diminuição do uso de luz elétrica no período diurno, possibilitando economia de recursos energéticos. Uma tecnologia capaz de conduzir a luz natural são os chamados dutos de luz, que permitem o transporte do raio luminoso até grandes profundidades. Esta pesquisa tem como objetivo verificar o comportamento de um duto de luz, pouco utilizado no país e no contexto da cidade de Porto Alegre. A metodologia envolveu estudo experimental realizado com modelos de escala reduzida e compreendeu duas fases. Na primeira, foram testados dutos de 30 cm de altura e 5 cm de diâmetro revestidos internamente com diferentes materiais reflexivos e sem heliostatos na parte superior, para verificar qual conduziu maior quantidade de luz. O de melhor desempenho foi utilizado na fase dois, na qual foi executado um duto de luz de 150 cm de altura e 5 cm de diâmetro, com heliostato no topo para captar a luz do sol e redirecioná-la ao interior do duto. Os resultados preliminares obtidos apontam para grande potencial do uso dessas tecnologias em dias de céu limpo, quando há ocorrência de luz direta do sol. Entretanto, para condições de céu encoberto, o sistema diminui consideravelmente sua eficiência. Sistemas híbridos, nos quais a luz elétrica entra em ação para complementar iluminâncias insuficientes, e utilização de heliostato podem ser necessários dependendo da inclinação solar. O ofuscamento e a transferência de carga térmica são as principais limitações do sistema, e essa tecnologia deve contemplar estratégias para enfrentá-las.

Palavras-chave: Luz natural; Dutos de luz; Heliostato; Edificações subterrâneas; Sustentabilidade.

EXPERIMENTAL STUDY OF LIGHT PIPES' BEHAVIOR COMBINED WITH HELIOSTAT DEVICES FOR LIGHTING UNDERGROUND BUILDINGS IN PORTO ALEGRE

ABSTRACT

The use of underground spaces has been growing in the past decades, mainly because of the concept of compact cities, adopted in many countries as a strategy to guarantee urban

sustainability. Contact with natural light is indicated as an alternative of great potential for improving the experience of users in these places. Using this source also implies in less electricity being used during daytime, allowing good savings in terms of resources. Light pipes are one of the technological alternatives able to conduct natural light, allowing the transportation of luminosity to great depths. This research aims to verify the behavior of light pipes, which are not very commonly used in the country, in the context of the city of Porto Alegre. The methodology consisted of an experimental study performed with reduced-scale models and it was done in two parts. During the first one, we tested pipes (30 cm height x 5 cm diameter) with different types of internal reflexive coating, without the use of heliostat in the superior part, to verify which one conducted the highest amount of light. That material was selected for the second phase, which consisted in testing a 150 cm x 5 cm pipe with a heliostat on top to capture sunlight and redirect it into it. The results show that this kind of technology has great potential when the sky is clear, when direct sunlight occurs, but its efficiency decreases considerably during cloudy days. Dazzle and thermal charge transfer are the main limitations and this technology should find strategies to face them. Hybrid systems, in which electric light complements insufficient luminosity and the use of a heliostat, might be needed depending on solar position.

Keywords: Sunlight; Light-pipe; Heliostat; Underground buildings; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O alto crescimento populacional nos grandes centros urbanos implica a necessidade de mais áreas nas cidades, a fim de atender às novas demandas urbanas como habitação, lazer e redes de infraestrutura. Nesse contexto, o conceito de cidade compacta é trazido à tona como alternativa para produzir cidades mais sustentáveis, enfatizando o uso mais eficiente do solo existente (BESNER, 2002). Essa forma de pensar a cidade procura evitar o espalhamento das redes de infraestrutura urbana e seus altos custos, assim como a diminuição dos trajetos, possibilitando a diminuição da poluição, dos ruídos e do estresse da população em relação à perda de tempo para deslocar-se e acessar os serviços urbanos. Diante disso, o uso do espaço subterrâneo tem se mostrado uma estratégia importante para a renovação dessas áreas, pois permite abrigar novas atividades, além de aliviar a superfície para habitação e novas áreas verdes e de lazer ao ar livre – essenciais para a qualidade de vida urbana (DURMISEVIC, 1999; KALIAMPAKOS, BENARDOS, MAVRIKOS, 2015).

Entretanto, há estudos que apresentam diversos fatores negativos com relação às experiências dos usuários dessas áreas abaixo da superfície, como falta de orientação, de contato com a natureza, sensação de claustrofobia e de ambiente insalubre, bem como medo de colapso da estrutura, escuridão e falta de segurança (DURMISEVIC, SARIYILDIZ, 2001; KIM, KIM, 2010; ISOCARP, ITA, ITACUS, 2015). A luz natural é trazida como elemento de grande potencial para amenizar alguns desses fatores, à medida que aproxima o usuário da dinâmica do dia e do meio natural – o que implica melhoria da sensação de conforto e de segurança nos seres humanos (DURMISEVIC, 1999). Além disso, o contato com essa fonte de luz traz uma série de benefícios para a manutenção da saúde humana, sendo, portanto, essencial quando há usuários de longa permanência nesses ambientes (MARTAU, 2009; BOUBEKRI, 2014; HARB, HIDALGO, MARTAU, 2015). Cabe ressaltar que essa estratégia de iluminação fortalece o conceito de sustentabilidade

ao diminuir o uso de energia elétrica em áreas de subsolos durante o dia, corroborando seu potencial para a criação de cidades mais eficientes energeticamente¹.

Para iluminar naturalmente locais distantes da superfície é necessário lançar mão de tecnologias capazes de conduzir os raios luminosos com eficiência a longas distâncias. Uma das tecnologias capazes de desempenhar essa função são os chamados dutos de luz – ou *light pipes* (BOUBEKRI, 2014; HANSEN, EDMONDS, 2015). Essa ferramenta conduz a luz como se fosse líquida através de dutos altamente reflexivos internamente. Esse sistema condutor também pode ser composto por outros materiais, como prismas, lentes, fibra óptica e painéis cortados a laser, por exemplo (HANSEN, 2006; BOUBEKRI, 2014).

Cabe lembrar que o transporte de luz natural também pode acarretar transferência de carga térmica para o interior da edificação e ofuscamento, caracterizando as principais limitações dessa tecnologia, que deve contemplar estratégias a fim de enfrentá-las. Kim e Kim (2010) também apontam o uso da luz natural como uma estratégia capaz de influenciar positivamente o bem-estar de trabalhadores de subsolos urbanos. Porém, quando da ocorrência de luz direta, o ofuscamento nas zonas de trabalho pode atrapalhar o desenvolvimento de certas atividades e causa desconforto aos usuários, corroborando a necessidade de controle do brilho da luz captada, dependendo da atividade a ser desenvolvida no ambiente.

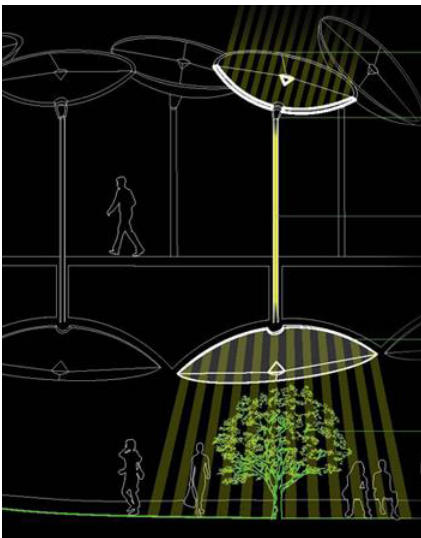
O desempenho dos dutos depende do ângulo que o raio luminoso incide neste, e quanto maior o número de reflexões ao longo do trajeto, menor seu desempenho (BOUBEKRI, 2014). Alguns estudos revelam a necessidade de utilizar um elemento captador de luz na extremidade dessas tecnologias para aumentar sua eficiência durante a variação do ângulo do sol ao longo dos dias e das estações (HANSEN, EDMONDS, BELL, 2009; AKHADOV *et al.*, 2014). A utilização de heliostatos – espelhos que seguem o movimento do sol – tem se apresentado como alternativa bastante eficiente e, por isso, também será tratada neste estudo. A utilização de áreas subterrâneas abaixo da superfície é crescente no contexto brasileiro e a ocorrência de experiências negativas dos seus usuários também se faz presente. Em pesquisa realizada na cidade gaúcha de Porto Alegre, foi apontada a utilização de iluminação como estratégia para melhorar a qualidade espacial dessas áreas e a percepção dos usuários (FRANZ, MARTAU, 2016). Mais uma vez, a luz natural é trazida como alternativa.

No entanto, ainda há poucos estudos quanto ao uso desses sistemas de dutos de luz no país e se desconhece algum que já tenha sido realizado no contexto da cidade de Porto Alegre. Para verificar o comportamento da luz natural em conjunto com essas tecnologias, é necessário que se realizem estudos locais, pois cada lugar apresenta um tipo de luz e de céu característico. Como exemplo, pode-se citar o laboratório da Low Line, em Nova Iorque, EUA (THE LOW LINE, 2016), onde estão sendo testadas algumas dessas tecnologias a fim de definir a estratégia mais

¹ Ainda relacionado ao conceito de eficiência energética, ressalta-se que a utilização de áreas enterradas também pode ser uma alternativa para o grande uso de condicionamento de ar nos dias quentes em cidades brasileiras, pois essas áreas, por estarem em contato com o solo, são capazes de manter quase que constantes as temperaturas ao longo dos dias, diminuindo a necessidade de aparelhos de ar-condicionado, por exemplo.

adequada para aplicação no contexto daquela cidade (Figuras 1 e 2). O projeto pretende executar o primeiro parque subterrâneo do mundo em área que estava obsoleta no coração de uma das principais cidades do país. Seus idealizadores têm feito uso de tecnologias de captação e condução de iluminação natural para levar essa fonte de luz a esse local afastado da superfície, a fim de possibilitar a existência de vegetação no ambiente - o que tem sido utilizado como inspiração para o conteúdo aqui apresentado, que também caracteriza estudo-piloto para pesquisa de mestrado que está sendo desenvolvida.

Figura 1. Corte esquemático



Corte mostrando o trajeto da luz captada até o ambiente subterrâneo.

Fonte: THE LOW LINE, 2016.

Figura 2. Sistema de reflexão da luz natural captada



Imagem ilustrativa do sistema que redireciona a luz captada para o forro reflexivo do futuro parque.

Fonte: THE LOW LINE, 2016.

2. OBJETIVO

A pesquisa teve por objetivo verificar o comportamento de um duto de luz no contexto de céu da cidade de Porto Alegre, Brasil.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa utilizado caracteriza-se por estudo experimental, no qual foram desenvolvidos modelos de escala reduzida e que compreendeu duas fases. Na primeira, foram realizados testes com quatro dutos de 30 cm de altura e 5 cm de diâmetro, a fim de escolher o material mais reflexivo para realizar a fase dois do experimento. Na segunda fase, foi executado um duto de 150 cm de altura e 5 cm de diâmetro com um heliostato no topo para captar a luz natural. Essa altura representa um sistema que percorreria o equivalente a um edifício de 10 andares na escala 1.20 – adequada para essa tipologia de estudo da luz do sol, segundo a NBR 15215-4 (ABNT, 2005). Para a medição da iluminância foram utilizados sensores do tipo *dataloggers* HOBO UA-002-64, capazes de medir também a temperatura.

Realização



Escola Politécnica
UNISIÃO PPG Engenharia Civil

Promoção



GT Desenvolvimento
Sustentável

3.1 Experimento fase um – procedimentos para escolha do material

Para a execução de dutos de luz recomenda-se a utilização de materiais altamente reflexivos, como Spectralight², alumínio TS V98100 ou lâmina Mylar, que apresentam entre 95% e 99% de refletividade (TOLEDO, 2013). Entretanto, até o momento não foi possível encontrar esses materiais para venda ou doação³ no mercado local. A fim de realizar a escolha do material mais eficiente entre os disponíveis, foram selecionados quatro tipos: aço inox polido, alumínio polido, película reflexiva para vidros e pintura branca.

A execução dos dutos exigiu a utilização de calandra para transformar as placas metálicas em cilindros. Os dutos possuem um revestimento externo em ferro, necessário para calandrar os materiais e não danificá-los durante o processo de dobra da placa. A película reflexiva foi colocada solta no interior de um dos dutos, pois a sua colagem poderia enruguar o material⁴ quando fosse transformado em cilindro. O alumínio foi polido com processo abrasivo (próprio para esse tipo de material⁵) para que ficasse o mais reflexivo possível. Optou-se por esse tratamento para otimizar o potencial do material, devido a sua maior leveza em relação aos demais – característica importante para evitar a sobrecarga dos sistemas de captação de luz natural. Para a confecção do duto com pintura branca foi utilizada tinta acrílica em *spray*⁶.

Após a confecção dos dutos, foram executados suportes para apoiá-los, onde também seriam colocados os sensores internamente. Os suportes foram feitos a partir da reciclagem de caixas de papelão. As medições foram realizadas em dias de céu parcialmente nublado, possibilitando a verificação do comportamento dos dutos quando da ocorrência de luz direta e de luz difusa. Entretanto, verificou-se que o papelão cedeu devido ao peso do duto, favorecendo o surgimento de frestas que permitiam a entrada de luz intrusiva. Foram confeccionadas novas bases em MDF, cortadas a laser e coladas com cola de isopor (Figura 3), e novas medições foram realizadas sob as mesmas condições de céu. Os sensores foram programados para coleta de dados de 30 em 30 minutos.

Foi utilizado um sensor na extremidade inferior de cada cilindro e um sensor externo, viabilizando o cálculo da porcentagem de luz incidente que chega ao fim do trajeto (Figura 3). Esse sensor foi colocado acima de um cilindro de ferro e sobre pedaço de papelão, a fim de verificar a incidência

² Tecnologia utilizada pela empresa Solatube (2016). Tentou-se conseguir esse material para realizar testes, mas, devido a burocracias internas da empresa, não foi possível realizar a parceria.

³ O alumínio TS V98100 foi encontrado em empresa localizada no norte do Brasil, porém o material é trazido da Alemanha, por esse motivo não foi possível enviar amostra para testes até o momento. A lâmina Mylar foi encontrada no estado de Santa Catarina para venda, porém não haviam na UFRGS máquinas disponíveis para fixa-la no alumínio e depois transforma-la em cilindro no momento da pesquisa, inviabilizando sua utilização.

⁴ Foram testadas películas reflexivas coladas em placas de alumínio, mas estas enrugaram ao ser calandrado o material. Por esse motivo foram descartadas.

⁵ Neste caso, foi utilizado polimento com pasta. Porém há outras formas de polir o alumínio (com líquidos e partículas abrasivas menores que as da pasta) que podem deixá-lo com índice de refletividade maior. Entretanto, são processos que exigem profissional qualificado – o que não foi encontrado a nível local até o momento.

⁶ Spray Multiuso Branco Brilhante, da marca Suvinil.

de luz na altura que esta também incidia nos dutos, minimizando distorções e interferências nos resultados obtidos. Os dados do experimento foram registrados em planta baixa com a localização de cada duto e seu respectivo material, bem como o número do sensor posicionado.

Figura 3. Fase 1 do experimento



Fonte: as autoras.

Figura 4. Fase 2 do experimento



Fonte: as autoras.

3.2 Experimento fase dois – procedimentos para verificação do comportamento do duto de luz

Nesta fase, foi executado um duto em ferro com 150 cm de altura, revestido internamente com o material considerado mais eficiente na fase anterior do experimento. As máquinas disponíveis para calandrar esse objeto não possibilitam a execução de um duto dessa altura. Diante disso, foram feitos dois dutos com 75 cm de altura, que posteriormente foram soldados.

Foram soldadas três hastes na região inferior do duto, para possibilitar seu apoio no piso, e duas hastes na extremidade superior, para apoio do espelho móvel (Figura 4). Executou-se o espelho redirecionador de luz com 5 cm de diâmetro, e esse foi colado em um sistema móvel com transferidor⁷ que permite o seu manuseio de acordo com a altura solar. Para calcular a posição do sol foi utilizada a ferramenta online *SunPosition* (SUSDESIGN, 2016), na qual foram introduzidos

⁷ Essa parte do sistema foi executada em madeira MDF e desenhada e cortada por máquina a laser na UFRGS.

o posicionamento da cidade de Porto Alegre, Latitude Sul -30° e Longitude Oeste -51° (PORTO ALEGRE, 2016), e a data e horários requeridos.

Inicialmente se tentou utilizar o transferidor do espelho para acertar o ângulo do sol conforme as informações obtidas com a ferramenta *SunPosition*, mas o ângulo não coincidiu com o ângulo real solar. Isso pode ter ocorrido devido a certa inclinação que o conjunto pode ter, resultante da execução manual. É possível que o duto tivesse ligeira inclinação, assim como a haste que apoiava o transferidor. Diante disso, ressalta-se a importância de verificar a precisão da ortogonalidade do sistema quando for executado.

Quando a definição dos ângulos for o objetivo do estudo, deve-se atentar também para a utilização de método que possa estabelecer o erro do sistema, a fim de aprimorá-lo e possibilitar a definição dos ângulos solares mais aproximada da realidade. Entretanto, o foco desse estudo é verificar a quantidade de luz transmitida pelo duto quando da utilização do espelho móvel, o que possibilitou a continuidade do experimento. Sendo assim, para movimentar o sistema de acordo com a direção do sol, foi utilizado procedimento visual de tentativa e erro minutos antes de os sensores de luz executarem as medições. Para tanto, o espelho foi movido manualmente até o raio de luz solar ser transmitido na extremidade inferior do duto.

Diante da necessidade de visualizar o raio de luz transmitido pelo duto, não foi possível utilizar uma caixa fechada na extremidade a fim de evitar a entrada de luz intrusiva. Assim sendo, foram utilizados três sensores nessa etapa. O primeiro foi localizado ao fim do duto, e o segundo na área menos iluminada (sombra interna), viabilizando o cálculo da quantidade de iluminância fornecida pelo duto de luz. Um terceiro sensor foi localizado em área não sombreada para verificar a porcentagem de luz transmitida pelo sistema.

Cabe ressaltar que os sensores podem apresentar erro de um minuto em relação ao horário real. Para não interferir nos dados obtidos, o ajuste da posição do sistema foi realizado até o limite de dois minutos antes de os sensores agirem. As coletas de iluminância foram programadas para ocorrerem de 30 em 30 minutos. O conjunto foi posicionado inicialmente para o Norte magnético e movido ao longo dos testes de acordo com o trajeto do sol. Os dados obtidos para condições de céu encoberto não foram considerados devido à baixa ou não condução de luz natural para as dimensões de duto estudadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento fase um – escolha do material

Esta etapa foi realizada no dia 18 de dezembro de 2016 sob condições de céu parcialmente nublado, alternando entre incidências de luz direta e de luz difusa nos dutos. Os resultados obtidos apontam o duto pintado internamente de branco como material menos eficiente, seguido do material composto por inox polido (Tabela 1). O duto de alumínio polido apresentou maior eficiência na condução da luz natural nas condições de céu desse dia, seguido do duto revestido internamente com a película reflexiva para vidros.

Tabela 1. Iluminâncias medidas (em lux) no dia 18/dez - céu parcialmente nublado – demonstrando o desempenho dos diferentes materiais

Linha	Hora	Alumínio Polido	Aço Inox Polido	Película Reflexiva para Vidro	Pintura Branca	Sensor Externo	% de transmissão do material mais eficiente
1	15h30	21.355,7	8.266,7	20.666,8	2.066,7	209.423,6	10,2
2	16h00	11.022,3	7.233,4	8.266,7	1.636,1	198.401,3	5,5
3	16h30	4.822,3	1.808,3	3.444,5	1.377,8	176.356,7	2,7
4	17h00	5.166,7	3.100,0	4.650,0	1.636,1	170.845,6	3,0
5	17h30	1.980,6	1.722,2	1.980,6	721,2	14.466,8	13,7
6	18h00	4.994,5	4.133,4	4.994,5	1.463,9	49.600,3	10
7	18h30	3.100,0	2.583,4	3.100,0	1.044,1	34.444,7	8,9
8	19h00	495,1	355,2	484,4	150,7	8.266,7	5,9
9	19h30	818,1	645,8	839,6	236,8	9.644,5	8,7
10	20h00	236,8	193,8	236,8	75,3	1.980,6	11,9
11	20h30	0	0	0	0	118,4	0

Fonte: as autoras.

No entanto, deve ser ressaltado que os resultados das linhas 5, 6 e 7 foram exatamente os mesmos para esses dois materiais, sendo que às 19h30 desse dia a película reflexiva apresentou maior eficiência. Esse fato pode ter ocorrido devido a interferências externas no momento que o sensor executou a medição. Poderia também ser levantada a hipótese de esses dois materiais apresentarem índices de reflexão mais próximos e os sensores utilizados não serem capazes de medir com exatidão diferenças menores, generalizando alguns resultados. O fato ocorreu quando a iluminância externa variou entre 14.466,8 lux e 49.600,3 lux (Tabela 1), e quando acima ou abaixo desses valores os resultados obtidos seguem um mesmo padrão – no qual o alumínio tem maior desempenho na condução de luz natural. Tal constatação também aponta a hipótese de esses sensores apresentarem essa incoerência dentro dessa faixa de iluminância.

Ainda assim, e diante do contexto desta pesquisa, adotou-se o alumínio polido como material mais adequado para realizar a próxima etapa do experimento, por ser mais leve e por existir mão-de-obra local capaz de produzi-lo. Entende-se, porém, que deve ser realizado estudo mais profundo acerca do funcionamento dos equipamentos utilizados para medição de iluminância, a fim de verificar o fator de erro que podem apresentar diante das condições aqui descritas. Para tal, pode ser realizada a comparação com dados obtidos simultaneamente por luxímetros calibrados, visando aferir a exatidão dos resultados.

Diante da Tabela 1, pode-se ainda constatar que, em condições de luz direta e com alta angulação solar, a iluminância captada é maior se comparada quando em condições de céu nublado, como esperado. Verifica-se, porém, que em condições de luz difusa (linhas 5, 9 e 10) a capacidade de transmissão do sistema aumentou. Ao analisar a tabela também se percebe a variação não constante da quantidade de luz externa, devido às condições de céu parcialmente nublado. Isso deve ser considerado ao projetar essas tecnologias, principalmente quando a variação do brilho não for desejada internamente.

4.2 Experimento fase dois – comportamento do duto de luz

Esta fase foi realizada no dia 23 de dezembro de 2016 e sob condições de céu parcialmente nublado. Na Tabela 2, são apresentados os resultados quando da ocorrência de céu limpo durante esse dia.

Tabela 2. Iluminâncias medidas (em lux) no dia 23/dez – momentos de céu limpo

Linha	Hora	Sensor no fim do duto	Sensor na sombra	Quantidade transmitida pelo duto	Sensor no sol	Heliostato agindo	% de transmissão de luz do duto
1	13h00	60.622,6	26.178,0	34.444,6	275.557,4	Não	12,5
2	14h00	19.977,9	28.933,5	-	264.535,1	Não	-
3	15h30	17.911,2	44.089,2	26.178,0	187.379,0	Sim	13,9
4	16h30	57.867,0	26.178,0	31.689,0	176.356,7	Sim	17,9

Fonte: as autoras.

Nota-se que não há necessidade de utilizar o espelho móvel para elevadas alturas solares. Nesse dia, verificou-se visualmente a sua necessidade a partir das 14h (Figura 5), quando o duto não refletia luz na área onde estava localizado o sensor. Na Figura 6, é mostrado o efeito visual da luz redirecionada pelo duto quando a área do céu em frente ao sol estava livre das nuvens. Nessa mesma figura, nota-se a incidência de luz direta no final do duto, possível através da utilização do espelho móvel – o que aponta o potencial dessa tecnologia quando sob condições de céu limpo.

Figura 5. Sensor na extremidade do duto



Imagem obtida às 14h04.
Fonte: as autoras.

Figura 6. Luz refletida/captada na extremidade



Imagem obtida às 16h55.
Fonte: as autoras.

A luz transmitida pelo heliostato, em conjunto com o duto reflexivo internamente, apresenta quantidades suficientes para tarefas visuais comuns, de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), para iluminar naturalmente um ambiente que esteja situado a 30 metros da área de captação, em Porto Alegre. A capacidade de transmissão de luz do duto aumentou consideravelmente, atingindo 17,9%, mesmo com baixo ângulo solar (Tabela 2). Este estudo foi realizado no verão, quando os ângulos do sol favorecem a captação. Entretanto, é possível

verificar a diminuição da eficiência à medida que o sol se aproxima da linha do horizonte, o que deve acentuar-se durante o inverno. Isso aponta para a importância de espelhos móveis, principalmente durante essa estação do ano, e corrobora os estudos de Hansen, Edmonds e Bell (2009), em que baixas altitudes solares implicam menor eficiência de dutos de luz.

Cabe ainda destacar que a luz transmitida pelo duto fica localizada na superfície logo abaixo deste, caracterizando uma área bastante restrita possível de ser iluminada, o que também pode apresentar-se como uma limitação da tecnologia. Entretanto, há estratégias (como uso de elementos que redirecionam e difundem a luz) disponíveis para refletir essa luz e conduzi-la horizontalmente no ambiente subterrâneo, distribuindo-a aos ambientes mais afastados do núcleo iluminado (HANSEN, 2006; HANSEN EDMONDS, 2015). A utilização de espelhos e de materiais reflexivos em forros também são algumas das alternativas para enfrentar esse obstáculo, conforme pode ser visto no laboratório da Low Line, em Nova Iorque, EUA (THE LOW LINE, 2016).

Como citado no início deste artigo, o objetivo do experimento foi verificar o desempenho de determinado duto de luz reflexivo internamente, aliado ao uso de heliostato no contexto da cidade de Porto Alegre. Os dados coletados apontam que o uso dessa tecnologia oferece grande potencial para aplicação em espaços afastados da superfície na cidade, porém quando em condições de céu limpo. Diante desse contexto, a estratégia utilizada forneceu índices de iluminância suficientes para iluminar naturalmente um ambiente que poderia estar localizado em área subterrânea, por exemplo. As quantidades de luz captadas indicam a possibilidade de utilização de vegetação nesses ambientes, o que deve ser aprofundado em pesquisas futuras a fim de verificar a sua viabilidade ou novas estratégias para tornar isso realidade no contexto de Porto Alegre. Ainda assim, essa tecnologia deve ser acompanhada de estratégias que permitam controlar a condução de carga térmica e de luz excessivas (ofuscamento), que são uma das limitações do sistema. Cabe ressaltar que este estudo foi realizado próximo do solstício de verão, quando o ângulo do sol atinge maiores altitudes, e que, ainda assim, a utilização do heliostato é necessária na maior parte do tempo. Diante disso, conclui-se que a utilização desse elemento deve ser considerada a fim de aumentar a eficiência desses sistemas ao longo de todo ano, principalmente no inverno, quando a altura solar é mínima. Para situações de céu encoberto, a eficiência de dutos profundos e estreitos diminui consideravelmente, podendo ser praticamente nula. O uso de sistema híbrido, no qual a luz elétrica é acionada para complementar iluminâncias insuficientes, pode ser uma alternativa para essa limitação.

5. CONCLUSÃO

Pequenos experimentos utilizando modelos em escala reduzida podem ser uma ferramenta rápida e eficiente para avaliação de desempenho de novas tecnologias de iluminação. Apesar de os *softwares* hoje disponíveis possibilitarem simulações das variadas condições de céu, medições *in loco* sempre terão mais validade como base para tomada de decisões projetuais. Este estudo será utilizado como ponto de partida para um experimento maior acerca da utilização de estratégias de iluminação natural de ambientes profundos na cidade de Porto Alegre para crescimento de vegetação. É importante que estudos como este sejam desenvolvidos e divulgados, uma vez que já está comprovada a necessidade de luz natural para manter a saúde e bem-estar dos usuários dos espaços. Futuros projetos na cidade, como o do metrô ou de novas áreas subterrâneas, poderão se beneficiar dos resultados obtidos nesta pesquisa.

Realização



Escola Politécnica
UNISIÑOS PPG Engenharia Civil

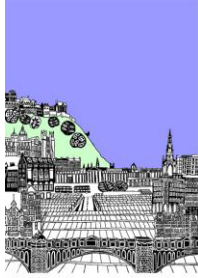
Promoção



GT Desenvolvimento
Sustentável

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15215-4. Iluminação natural. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR ISO/ CIE 8995-1. Iluminação de Ambientes de Trabalho – Parte 1: interior. Rio de Janeiro, 2013.
- AKHADOV, Z.; ABDURAKHMANOV, A.; SOBIROV, Y.; KHOLOV, S.; MAMATKOSIMOV, M.; KUCHKAROV, A. A system with a tracking concentrating heliostat for lighting underground spaces with beams of sunlight. Applied Solar Energy. V. 50, n. 2, p. 122, 2014.
- BESNER, J. The sustainable usage of the underground space in metropolitan area. Proceedings of the 9th International Conference of Associated Research Centers for the Urban Underground Space. Torino, 2002.
- BOUBEKRI, M. Daylighting design: planning strategies and best practice solutions. Birkhäuser, 2014. 176 p.
- DURMISEVIC, S. The future of the underground space. Cities. V. 16, n. 4, p. 233-245, 1999.
- DURMISEVIC, S.; SARIYILDIZ, S.. A systematic quality assessment of underground spaces–public transport stations. Cities. V. 18, n. 1, p. 13-23, 2001.
- FRANZ, E.; MARTAU, B.. Percepção de conforto ambiental em espaços subterrâneos. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. V. 16, p. 2907-2918, 2016.
- HANSEN, V. G.. Innovative daylighting systems for deep-plan commercial buildings. Australia, Brisbane, 348 p, p. 1/19-2/58, 2006. Tese (Doutorado) – Queensland University of Technology.
- HANSEN, V. G.; EDMONDS, I.. Methods for the illumination of multilevel buildings with vertical light pipes. Solar Energy, v. 117, p. 74-88, 2015.
- HANSEN, V. G.; EDMONDS, I.; BELL, J.. Improving daylighting performance of mirrored light pipes. Conference on Passive and Low Energy Architecture. V. 26, 2009.
- HARB, F.; HIDALGO, M.; MARTAU, B.. Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms. Chronobiology international. V. 32, n. 3, p. 368-375, 2015.
- KALIAMPAKOS, D.; BENARDOS, A.; MAVRIKOS, A. A review on the economics of underground space utilization. Tunneling and Underground Space Technology. V. 55, p. 236-244, 2016.
- KIM, G.; KIM, J.. Visual environment within the already-built underground development in South Korea. Indoor and Built Environment. V. 19, n. 1, p. 184-191, 2010.
- MARTAU, B. A luz além da visão. Revista Lume Arquitetura. V. 38, n. 38, p. 54-61, 2009.
- PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/ictportoalegre/default.php?p_secao=98>. Acesso em: 25.nov.2016.
- SUSDESIGN. Sustainable by design. Disponível em: <<http://susdesign.com/tools.php>>. Acesso em: 10.dez.2016.
- THE LOW LINE. Disponível em: <<http://www.thelowline.org/>>. Acesso em: 25.nov.2016.
- TOLEDO, G. E.. Parâmetro de design para configuração de dutos de luz Solar. Curitiba, 148 p., 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.
- ISOCARP, ITA, ITACUS. Think deep: planning, development and use of underground space in cities. 2015. 59p, p. 5-26. Disponível em: <http://isocarp.org/app/uploads/2015/05/FINAL_Think-Deep.pdf>. Acessado em 20.nov.2016.



PLEA 2017 EDINBURGH

Design to Thrive

Experimental Study of Light Pipe and Heliostat for Conducting Sunlight to Underground Spaces in Porto Alegre

Yasmin Bystronski¹, Waldo Costa-Neto² and Betina Martau¹

¹ Research and Post-graduate Program in Architecture, Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, yasmin.bystronski@ufrgs.br;

² Usina Fab Lab, Porto Alegre, Brazil, waldo00@gmail.com

Abstract: The use of underground spaces has been pointed out as an alternative to the growing demand for more areas in cities and the presence of natural light is seen as a strategy for improving the quality of such buildings. Light pipes are one of the technologies capable of conducting light over long distances. However, they require local studies to check the most efficient performance in each geographical location. This paper aims to study the performance of a given light pipe combined with a heliostat device in Porto Alegre, a city in south Brazil. We conducted an experiment in which scale models were used. Different reflexive materials were tested and, as a second step, light pipes combined with the use of a handmade heliostat were verified. At the end, rapid prototyping tools were used to build and test an automatized heliostat. Our results pointed to a great potential for using these technologies in deep environments on cloudless days. However, in overcast weather their efficiency drops considerably, so the use of hybrid systems may be an alternative. Heat load conduction and glaring caused by direct sunlight are some of the main limitations of these systems and must be addressed in future experiments.

Keywords: Sunlight, Light pipe, Heliostat, Underground spaces, Sustainability, Low energy architecture.

Introduction

Applying the concept of compact cities has been gaining strength given the growing population increase and the consequent demand for new spaces in large urban centers. This way of looking at the city seeks to bring together efforts to foster sustainable urban development and the efficient use of already consolidated spaces, thereby keeping them from spreading out horizontally and preventing the high monetary and energy costs deriving from that (Besner, 2002). In this backdrop, the use of underground space has been pointed out as a strategy with great potential to supply the demand for new areas and new uses in the cities. Such use has been increasingly growing both worldwide and in Brazil (Durmisevic, 1999; Isocarp et al, 2015; Kaliampakos et al, 2016).

However, there are studies revealing a host of negative opinions by users of below-surface areas. Lack of visual contact with the outdoors and feelings such as insecurity, disorientation, fear of a building collapse, claustrophobia, and a sense of a dark, unhealthy environment are some of the effects found by these studies (Durmisevic & Sariyildiz, 2001; Kim & Kim, 2010; Isocarp et al, 2015).

Given this scenario, natural light is brought in as an alternative to help improve the experience of underground building users (Besner, 2002; Kim & Kim, 2010). In a study conducted in the Brazilian city of Porto Alegre, Franz and Martau (2016) pointed out lighting

as one of the tools mentioned the most by interviewees to make subterranean environments more pleasant. Light allows plants to live in such areas and brings people closer to other natural elements capable of helping improve human welfare (Grahn, 1994; Grinde & Patil, 2009). Additionally, daily exposure to natural light is essential for sustaining human life, as it regulates a series of biological mechanisms that must be considered, especially when it comes to users that remain in these environmental conditions for many working hours (Boubekri, 2014; Martau, 2009; Harb et al, 2015).

One of the technologies capable of conducting light over long distances comprises an internally reflective pipe that guides the captured light into buildings, known as a light pipe (Boubekri, 2014). This technology is one of the most popular in the international market today and is less complex to put in place than others (such as the use of lenses, prisms, and optical fibers), which helps make the system less expensive and its maintenance more affordable (Hansen & Edmonds, 2015).

The performance of these systems depends on how many times the ray of light is reflected until it reaches its final destination, the distance to be traveled, and the inner diameter of the pipe, as well as on the reflective capability of its inner lining (Boubekri, 2014). The deeper the assembly is, the less efficient, as the number of reflections increases. The use of a heliostat (a mirror that follows the motion of the sun) is recommended for places far away from the light capturing surface, as it has shown to be efficient for enhancing the performance of these systems (Akhadov et al, 2014).

The type of sky and local geographical position also have a great influence on its performance. That is why local studies are required to check the advantages and limitations of these technologies in each location so that the most suitable strategy can be chosen and its viability ascertained. Brazil is a country where sunlight abounds. However, few studies on these technologies have been carried out in the country, and there are no references for research conducted in the city of Porto Alegre, in the extreme south of Brazil, which shows the need for a more in-depth investigation about this topic.

It should be noted that the efficiency of these systems drops significantly in overcast weather (Boubekri, 2014; Hansen & Edmonds, 2003). Nevertheless, in this case, the use of hybrid systems that resort to electricity when illuminance is low may be an alternative (Mayhoub & Carter, 2009). Porto Alegre (latitude $30^{\circ} 1' 59''$ S, longitude $51^{\circ} 13' 48''$ W) is a city where the sky is partially clouded for the most part. Therefore, at times there is direct sunlight (clear sky) and diffuse light (the sun is covered by clouds). Still, even when the sky is cloudy, this type of technology can offer advantages for lighting up future underground buildings in the city, such as the subway project currently under study (Porto Alegre, 2016), besides making it possible to improve the quality of areas already in existence and which lack exposure to natural light.

Objective

The purpose of this study is to check the performance of a light pipe system using scale models considering the sky conditions in the city of Porto Alegre. The paper presented here is part of a Master's research project currently underway to test this system's ability to provide suitable illuminance for plants to survive in underground buildings.

Method

This is an experimental study carried out in three steps using scale models. In the first step, we tested four pipes (30 cm high and 5 cm diameter, each) internally lined using different

materials to determine the most reflective input to be used in the following phase. In the second step, a 150 cm high, 5 cm diameter pipe was fabricated to simulate a 10-storey building at a 1/20 scale, suitable for studies of this kind (Bodart & Deneyer, 2006). The pipe was internally lined using the material chosen in the previous step, and its top end was fitted with a round mirror heliostat (5 cm diameter), which was made and moved by hand. In the third step, we tested a new heliostat system with a square mirror (10 cm x 10 cm) modeled using specific software and 3D printed. This device was moved manually and fitted to the top end of the pipe found to be the most efficient in the first step. To measure the amount of light, we used HOBO UA-002-64 data loggers and Dr. Meter LX 1330B luxmeters.

Experiment step 1: procedures for choosing the inner lining of light pipe

We selected the three most reflective materials available in the local market and which could be handled to make the pipes in the sizes and shapes required: a polished aluminum sheet, a polished stainless steel sheet, and reflective window film. The pipes were made using a 1 mm outer iron plate to protect the reflective lining during the bending process, which was carried out by a rolling machine.

The aluminum and stainless steel sheets were set on the iron plate and turned into cylinders. The film was pasted onto an aluminum sheet and also set on an iron plate. However, the material crumpled in the bending process. That is why welding was used inside the iron pipe during the test. The fourth pipe was internally coated in white spray paint applied directly to the iron. This color is the most reflective of those in existence, in addition to requiring a less complex, and therefore less expensive, production method. For those reasons, it was tested, too.

Medium-density fiberboard (MDF) boxes were made to support the pipes and house the inner light sensors (data loggers) so they would be shielded from intrusive light capable of interfering in the results. An outside sensor was placed close to the pipes to allow us to calculate the illuminance percentage transported by them (Figure 1).



Figure 1. Step 1



Figure 2. Step 2.



Figure 3. Step 2, light beam.

Experiment step 2: procedures to test the light pipe combined with manual heliostat

To roll up the metal sheets and make the pipes in the required sizes, we had to split them in two parts of 75 cm each, which were then welded. The heliostat set, whose parts were made of MDF and laser cut, we put together manually and taped to the support rod located at the top end of the pipe (Figure 2).

To follow the motion of the sun, the heliostat was turned vertically and the base, which was supported on the pipe, was moved horizontally. A trial and error visual procedure was used to find the proper angle to conduct the sunlight into the pipe (Figure 3). Because of that, the base was not covered.

Therefore, to calculate the amount of light transported, a data logger was placed at the bottom end of the pipe (which received the light reflected by the heliostat and the surrounding diffuse light) and another in a shaded area close to the former (which received only the surrounding diffuse light). A third device quantified the direct light hitting the outer area of the assembly to obtain the percentage of illuminance transmitted by the assembly.

The data loggers available for conducting the study measure illuminance from zero to 300,000 lux at an accuracy rate between 60% and 80%. This characteristic means not so accurate amounts of illuminance. However, for the study presented here these relative values provide an adequate tool for the proposed goals to be achieved.

Nevertheless, a new test was briefly conducted in which data was collected using identical luxmeters in order to check very big discrepancies between the information collected before. One of the devices was placed at the bottom end of the pipe, which end was covered to prevent intrusive light from shining in. The second luxmeter was put outside and quantified the incidence of direct sunlight to allow calculating the transmission percentage of the pipe.

Experiment step 3: procedures to start building the electronic heliostat

After checking the manual heliostat, we started making parts fabricated with greater accuracy and which may be used to put together an assembly whose movements are electronically controlled. To do that, the parts were modeled using the Autodesk Inventor 2016 software to determine the most suitable size and shape, as well as the mechanism of the assembly (Figure 4). After that, the necessary adjustments were made, each element was 3D printed, and the assembly was put together (Figure 5). This procedure was repeated until the more appropriate assembly was achieved.

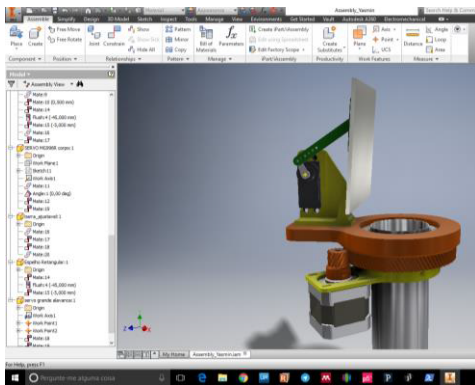


Figure 4. Step 3, software modeling.



Figure 5. Step 3, scale model.

The device was fitted to the end of one of the 30 cm high pipes (the one found to be most efficient in step one of this study). The purpose of this test was to check how assembly worked, albeit manually. The mirror used was made in a rectangular shape using 10 cm x 10 cm pieces to check for a potential efficiency increase in capturing natural light. Another purpose of this test was to check whether the frame was able to support and properly operate with the weight the mirror and electronic devices (servomotor and step motor) added to the assembly (Figure 5). The electronic components will be managed by an Arduino-type microcontroller in a future study.

The servomotor lever arm (responsible for vertical motion) was manually pushed to position the mirror for it to reflect the sunlight into the pipe. A luxmeter was used at the

bottom end to measure the illuminance transmitted by the assembly, and another was used outside to collect the amount of direct light shining on it.

Results and discussion

Experiment phase 1: the inner lining of light pipe

Table 1 shows the results of the test carried out on December 18, 2016, under partially cloudy weather conditions. The duct coated white inside proved less efficient for conducting natural light, followed by the polished stainless steel. Polished aluminum conducted the highest amount of illuminance in most tests.

However, the reflective film showed some identical results to those of aluminum, and at 7:30 p.m. exceeded the latter's performance. The discrepancy between the data may have been due to interfering outside factors at the time of measurement. Another hypothesis to be considered is that the two materials may also carry close reflectivity rates but the sensors are not precise enough to detect such difference. For the purpose of finding absolute values in order to define the reflectivity of each material, we recommend conducting tests using more precise equipment.

The purpose of this test was to check the material available in the local market which showed greater efficiency in conducting natural light and whose fabrication was viable. Hence, we found polished aluminum to be the most suitable input. Also, its light weight is an important feature so as not to overburden the frame of the assembly.

Table 1. Performance of materials (lux).

Line	Hour	Polished aluminum	Polished stainless steel	Reflective film	White paint	External sensor	Transmission of the most efficient material
1	3:30 pm	21.356	8.266	20.667	2.067	209.424	10.2%
2	4 pm	11.022	7.233	8.267	1.636	198.401	5.5%
3	4:30 pm	4.822	1.808	3.444	1.378	176.357	2.7%
4	5 pm	5.167	3.100	4.650	1.636	170.846	3.0%
5	5:30 pm	1.981	1.722	1.981	721	14.467	13.7%
6	6 pm	4.994	4.133	4.994	1.464	49.600	10%
7	6:30 pm	3.100	2.583	3.100	1.044	34.445	8.9%
8	7 pm	495	355	484	151	8.267	5.9%
9	7:30 pm	818	646	840	237	9.644	8.7%
10	8 pm	236	194	237	75	1.981	11.9%
11	8:30 pm	0	0	0	0	118	0%

Experiment phase 2: light pipe performance combined with manual heliostat

This step was carried out on December 23, 2016, under partially cloudy weather conditions. We considered only the data obtained when the sky was clear because otherwise the system was unable to conduct natural light. This issue is one of the limitations of this study, especially given the depth and diameter adopted.

In the previous step, we found that it is possible to conduct diffuse natural light even under cloudy weather conditions, albeit in smaller amounts, when compared to the incidence of direct light. However, as depths increase and light is mostly diffuse, not even a heliostat may be able to improve the assembly's performance. Using hybrid systems may be an alternative, as mentioned early on in this article. The high cost these technologies may have must be considered, though. It should be noted that in places where cloudy weather is prevalent using this strategy may not be enough to light up very deep areas.

Table 2. System performance (lux), measured by data loggers.

Line	Hour	Sensor at the end of the duct	Sensor in shadow	Amount passed through the duct	Sensor at the sun	Heliostat acting	Duct light transmission
1	1 pm	60.623	26.178	34.445	275.557	No	12.5%
2	2 pm	19.978	28.933	-	264.535	No	-
3	3:30 pm	17.911	44.089	26.178	187.379	Yes	13.9%
4	4:30 pm	57.867	26.178	31.689	176.357	Yes	17.9%

Under clear sky conditions, using the heliostat is effective for redirecting the light and conducting over great distances (Table 2). It must be noted this test was conducted on a day close to the summer equinox, when solar angles are higher. Consequently, the aid of the heliostat was not needed at 1 pm. It became necessary only from 2 pm, when the sun was lowering and the pipe did not conduct light.

The light transported by the pipe is direct and shows high illuminance rates (Table 2), which is conducive to glaring and heat load conduction, factors that must be addressed when undesired. The light beam is not distributed evenly either, which may pose another issue to be tackled, especially with respect to glaring (Figure 3). In this case, an alternative may be a more in-depth study into materials and strategies capable of transporting (or reflecting) light more evenly.

A second test was conducted on March 17, 2017, under clear skies. Illuminance rates were quantified using luxmeters to allow us to compare them against data previously collected by the data loggers. It should be noted that solar angles at the hour and time of year when this test took place are lower than in December, which may explain the lower illuminance amounts collected (Table 3).

Table 3. System performance (lux), measured by luxmeters.

Line	Hour	Illuminance transmitted by assembly	Amount of direct light outside	System transmission percentage
1	8:45 am	20400	53900	38%
2	8:50 am	47500	61100	78%
3	8:55 am	40200	58300	69%
4	9 am	53600	61500	87%
5	9:05 am	40100	53400	75%
6	9:10 am	61500	70100	88%
7	9:15 am	65000	70300	92%

However, despite that, on that day we found a significant increase in the system's ability to conduct natural light, when compared to previously collected data. The light beam reflected (Figure 3) by the heliostat can be adjusted to increase the capture of light. Because of the lack of homogeneity of the light beam conducted, at some points it may even exceed the amount of light measured outside, as we found during this same test.

In this case, while the illuminance outside was 69400 lux, inside the pipe it was 90500 lux. As the sun traveled, these rates dropped to 69400 lux x 82600 lux, 69500 lux x 70100lux, and 65600 lux and 60000 lux (inside x outside, respectively). It may as well be that the light beam was not as well adjusted in the test measured in December as it was in this latest test, or that the light sensors had different errors, which requires a more in-depth study about these devices. Regardless, the purpose of this study is to check the ability or failure to conduct natural light and its relative values. Therefore, the data obtained by this study are highly valuable and may be used in future research.

Experiment phase 3: start build of future electronic heliostat and initial tests

The final step of this study was tested on March 31, 2017. The heliostat mechanism worked and bore the weight of the larger mirror (10 cm x 10 cm). The assembly was turned manually, which requires greater effort to drive the servomotor crank and results in a not so precise motion. The electronic devices are expected to allow the system to move with greater precision. The step motor slid easily in this test. However, this study needs to continue to check the operation of this gear along with the system that will be operating electronically, and also to check the durability and limitations of the parts during their use, especially in case of long-term use.

Table 4. System performance (lux), measured by luxmeters.

Line	Hour	Illuminance transmitted by assembly	Amount of direct light outside	System transmission percentage
1	3:29 pm	93500	71800	130%
2	3:30 pm	118000	71500	165%
3	3:34 pm	50700	71800	71%

In this step, data were collected when the sky was clear. The depth of the pipe used was shorter, when compared to the previous step. That, combined with the use of a heliostat, led to a significant increase in the system's efficiency (Table 4). The larger square mirror features a larger capture area than the one previously used. However, its shape directs a lot of light to outside the pipe as well, which may lead to a waste of material. To prevent that, a more in-depth study into the most suitable shape for the light reflecting element should be conducted.

Considering these results, we should point out that for pipes that do not run too deep, using a heliostat may not be necessary when solar angles are high, thereby saving energy and lessening wear and tear to the mechanism. Not using this tool altogether may even be considered. These devices are more expensive owing to the complexity of their fabrication and operation, which must be taken into account when defining the most suitable strategy for lighting up deep spaces. Skylights and central atriums are strategies whose cost and maintenance may be lower, but they demand a larger area. Nevertheless, in buildings where the demand for more space is limited and exposure to natural light is required, using light pipes along with a heliostat may be an alternative whose potential to enhance the quality of these spaces is high.

Conclusions

Although light pipes technology is not wide spread in Brazil, maybe because the reduced number of underground spaces comparing to European or North American cities, it has a potential as a lighting solution. The south region requires more studies due to its particular sky condition than the rest of the country, where the sky is most of the time clear. Given this context, this study was carried out in Porto Alegre, with the purpose of verifying the behavior of one of the existing technologies to conduct light at long distances from the surface, named reflective light pipes. Among the available reflective materials for testing in the local context, polished aluminum presented the highest efficiency. However, it is important to carry out a more in-depth study of materials in order to test others that present greater power of reflection. The work described has also shown to be indispensable, most of the time, a heliostat use for the reflective duct leads direct light 30m away from the

surface. A light transmitted by this system does not arrive uniformly at the end of the light pipe, pointing out difficulties to control the transport of heat load and glaring, which must be faced.

However, the system is not capable of conducting diffuse light, corroborating the need to use hybrid systems, which uses an electric light in case of low illumination rates, and which should be the object of further study in the context of the research. The experiment proved that, in this area, the light pipe must be combined with the use of a heliostat to be efficient. Although this lighting technology offers great potential for improving the space quality of underground buildings, its high cost must be a limitation. The results described in this paper can offer information to base decisions for the lighting design of the city's new subway system, currently being studied.

References

- Akhadov, Z., Abdurakhmanov, A., Sobirov, Y., Kholov, S., Mamatkosimov, M. & Kuchkarov, A. (2014). A system with a tracking concentrating heliostat for lighting underground spaces with beams of sunlight. *Applied Solar Energy*, 50(2), pp. 122-124.
- Besner, J. (2002). The sustainable usage of the underground space in metropolitan area. In: ACCUS Proceedings of the 9th International Conference of Associated Research Centers for the Urban Underground Space, Torino, Italy, 14 - 16 November. Torino: Associazione Georisorse e Ambiente.
- Boubekri, M. (2014). *Daylighting design: planning strategies and best practice solutions*. USA: Birkhäuser.
- Durmisevic, S. (1999). The future of the underground space. *Cities*, 16(4), pp. 233 – 245.
- Durmisevic, S. & Sariyildiz, S. (2001). A systematic quality assessment of underground spaces—public transport stations. *Cities*, 18(1), pp. 13-23.
- Franz, E. & Martau, B. (2016). Percepção de conforto ambiental em espaços subterrâneos. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído São Paulo, Brazil, 21 - 23 September. Porto Alegre: Antac.
- Hansen, V. & Edmonds, I. (2015). Methods for the illumination of multilevel buildings with vertical light pipes. *Solar Energy*, 117, pp. 74-88.
- Hansen, V. & Edmonds, I. (2003). Natural illumination of deep-plan office buildings: light pipe strategies. In: ISES Solar World Congress Göteborg, Sweden, 14 – 19 June. Freiburg: Ises.
- Harb, F., Hidalgo, M. & Martau, B. (2015). Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms. *Chronobiology international* 32(3), pp. 368 – 375.
- Kaliampakos, D., Benardos, A. & Mavrikos, (2016). A review on the economics of underground space utilization. *Tunnelling and Underground Space Technology* 55, pp. 236 – 244.
- Kim, G. & Kim, J. (2010). Visual environment within the already-built underground development in South Korea. *Indoor and Built Environment* 19(1), pp. 184 – 191.
- Martau, B. (2009). A luz além da visão. *Revista Lume Arquitetura* 38, pp. 54 – 61.
- Porto Alegre (2016). Prefeitura Municipal de Porto Alegre. [Online] Available at: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/poametro/internas/Projeto/projeto.html> Accessed: 25 November 2016.
- Isocarp, Ita & Itacus. (2015). *Think deep: planning, development and use of underground space in cities*. Netherlands: Isocarp.
- Bodart, M. & Deneyer, A. (2006). A guide for the building of daylight scale models. In: 23th International Conference on Passive and Low Energy Architecture Geneva, Switzerland, 6 – 8 September. Geneva: PLEA2006.
- Mayhoub, M. & Carter, D. (2009). Hybrid lighting systems: A feasibility study for Europe. In: Proceeding of the 11th LuxEuropa, Istanbul, Turkey, 9 – 11 September. Istanbul: Lux Europa.
- Grahn, P. (1994). Green structures - The importance for health of nature areas and parks. In: 56th European Conference of Ministers Responsible for Regional Planning Örnköldsvik, Switzerland, 24 – 26 March. Strasbourg: Council of Europe.
- Grinde, B. & Patil, G. G. (2009). Biophilia: does visual contact with nature impact on health and well-being?. *International journal of environmental research and public health* 6(9), pp. 2332 – 2343.



Conference Proceedings

ASES National Solar Conference 2017

Denver, Colorado 9-12 October 2017

ASES National Solar Conference 2017

Use of Light Pipe and Electronic Heliostat for Lighting of Underground Areas in Porto Alegre

Yasmin de A. Bystronski¹, Betina T. Martau¹ and Waldo L. Costa-Neto²

¹ Research and Post-graduate Program in Architecture/ Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brazil)

² Usina FabLab, Porto Alegre (Brazil)

Abstract

The use of underground spaces is increasing and light pipes are an alternative to create natural lighting in these areas. However, the technique should be tested locally to verify best performance and viability. This study was designed to test a specific light pipe in the city of Porto Alegre, southern Brazil. A scale model experiment was run, organized in three steps. In the first, two different reflective materials were tested. The material that performed better was used for the second stage, where light pipes of different heights were tested. In the third and final step, an electronic heliostat was added to the system to verify how it would improve its performance. The results showed that this specific system can be used in this city to light underground areas under clear sky conditions. However, in cloudy days the performance of the system decreases. Hybrid light systems can be an alternative to deal with this. Future studies can verify how to control heat loading and glare to avoid damage and increase in energy consumption.

Keywords: *Daylight, Solar energy, Light pipe, Heliostat, Underground spaces.*

1. Introduction and background

The use of underground spaces is increasing and making for more sustainable cities, using land more efficiently and concentrating more functions in the same area (Besner, 2002; Durmisevic, 1999; Isocarp et al., 2015; Kaliampakos et al., 2016). The use of light pipes is an alternative to create natural lighting in environments that don't have windows, such as underground spaces. Despite its growing use, people still relate these areas to bad experiences, such as pollution, claustrophobia, fear of landslides, disorientation, lack of outdoor contact and insecurity, etc. (Durmisevic and Sariyildiz, 2001; Kim and Kim, 2010; Isocarp et al., 2015). Sunlight exposure is a way to improve human experience in these areas because of its important benefits for human well-being (Besner, 2002; Durmisevic, 1999; Soh et al., 2016). The contact with sunlight approximates people to the external world (Boubekri, 2014; Boyce et al., 2003; Hobday, 2006), allows the use of vegetation to make these areas more alive and pleasant (Bringslimark et al., 2007; Dijkstra et al., 2008; Grahn, 1994; Grinde and Patil, 2009; Park and Mattson, 2009), and regulates a lot of physiological processes in the human body (Boubekri, 2014; Harb et al., 2015; Hobday, 2006; Martau, 2009), which is very important to promote good health for users that spend long periods of time in there. The use of vegetation in these areas can also be an important alternative to promote air quality and restore these users

stress cycle (Dijkstra et al., 2008; Grahn, 1994; Grinde and Patil, 2009), but plants need a satisfying amount of light per day – 300 lux minimum (Kämpf, 2005).

Light pipes work like a leader that catches the sunlight and guides it into the interior of a building. These systems can be made with lenses, cut laser panels, fiber optics, etc. (Boubekri, 2014). However, the most usual is the hollow duct with reflective internal material, because it's more simple to build than others (Hansen and Edmonds, 2015). Its efficiency depends on how many times the light beam is reflected. Diameter, reflectance of the internal material, height and solar angle incidence must also be considered (Boubekri, 2014). Furthermore, the kind of light sky available should be taken into account. Sunny days and clear skies provide direct sunlight (light beams in the same direction, thus more concentrated) making the systems performance better than on cloudy days, when the diffuse light predominates (light beams in different directions, more disperse) (Boubekri, 2014; Hansen and Edmonds, 2003). Each part of Earth has a different kind of sky, so this kind of technology should be tested in each context to find the best system for it and to evaluate if this system will be able to give the required amount of light.

An example of this is The Low Line Lab in New York, where they were testing the performance of a specific kind of technology for providing sunlight for an underground space with plants. In the near future, it will be the first underground park in the world (The Low Line, 2017). There are several studies about these technologies and examples built in international ambit (Akhadov et al., 2014; Boubekri, 2014; Hansen, 2006; Hansen and Edmonds, 2015; Heliobus, 2017; Ji et al., 2016; Peña-García et al., 2016; The Low Line, 2017). But in Brazilian context, a country that has a lot of sun, these technologies don't have much attention yet. The little number of studies on them can be one of the reasons why. The use of underground spaces is increasing in Brazil and there are a lot of spaces that have people working there during long hours. Furthermore, the need to save energy is required in face of the world energy crisis, limited resources and climate changes.

Until 2017, there were no known studies about this technology related to underground spaces and plants in the country, neither about how this technology would behave in the city of Porto Alegre. Bystronski and Martau (2017) have started a study in this context and tested light pipe models made of different materials, where the polished aluminium had the best performance. Afterwards, they tested a longer light pipe model (150 cm height and 5 cm diameter) with this material, but a top heliostat (moved manually) was needed to improve the sunlight transmission. Without it, the system would only work for a short time when the higher sun angles occurred (this experiment was made near the summer solstice). Bystronski et al. (2017) kept this study and tested different positions for the heliostat to focus the light beam, making the amount of sunlight transmitted greater than what was available outside. Besides that, they tested procedures to start building an electronic heliostat. However, this device was tested manually.

In these two experiments, the system can catch enough sunlight to allow plants to live when the direct sunlight is available. A more in-depth study of light distribution would be necessary in order to make it more uniform and control its intensity, avoiding glaring and heat load conduction. However, Porto Alegre has partially cloudy sky and these specific systems wouldn't work well in these conditions. So, how would this system work if it had other height and a more reflective material? And how can this electronic heliostat increase the performance in these systems? Testing other materials and the electronic device is one way to get a better performance of this technology in this specific local context. The results of this investigation can be used in future projects, such as subway stations, underground buildings and also in the existent underground spaces in this city. Furthermore, it can contribute to the discussion in this area, helping in the development of a sunnier future for us all.

2. Goal

The main goal of this paper is to continue the studies made in order to verify the behavior of specific light pipes in the city of Porto Alegre, located in the southern region of Brazil. Therefore, this study intends to test other materials, light pipes of different heights and the use of an electronic heliostat to increase the performance of this specific technology.

3. Method and procedures

This work is a quasi-experimental study and it was organized into three steps using scale models, which is a good strategy for such studies (Bodart and Deneyer, 2006). In the first one, two light pipes were made (30 cm high and 5 cm diameter) internally coated with different materials to compare their performance. In the second stage, four light pipes of different height (30 cm, 50 cm, 100 cm and 150 cm, respectively) and same diameter (5 cm) were made to compare their behavior under direct and diffuse daylight conditions. These pipes were internally coated with the material that achieved the best results in stage one. In the last stage, one of the light pipes used in the previous stage (30 cm high and 5 cm diameter) was used to test an electronic heliostat with a square mirror (10 cm x 10 cm).

The scale used in this work (1/20) represents a duct of 1 m in diameter in the real context, and the tallest (150 cm) represents 30 m - approximately the height of a ten-story building. To measure the illuminance (lux), a HOBO UA-002-64 data logger was used and the procedures to built the light pipes were based on the last works by the authors (Bystronski and Martau, 2017; Bystronski et al., 2017). In all stages of this experiment, one data logger was used in the extremes parts of each pipe to measure the amount of light transported, and one in the exterior to measure the illuminance of the sky, in order to verify the percentage of light captured in the interior (daylight factor).

3.1. Step 1: procedures to choosing a more reflective material

The material that performed better in the prior experiment was the polished aluminum (Bystronski and Martau, 2017; Bystronski et al., 2017). However, its reflectance was not specified and, to achieve a better performance, it would be necessary to use an even more reflective material than the one used in the previous studies. So, visual analysis was used to choose a more reflective material. Aluminum Vega 95 was selected because it has 95% reflectance (Almeço, 2017) and it was available in Brazil. There are more reflective types, such as the Vega 98, but it was not possible to find a sample in the country to use in this experiment. A more in-depth study of these materials should be made. The light pipes were tested simultaneously to verify if the aluminum Vega 95 is better to lead the light than the polished aluminum (Figure 1).

3.2. Step 2: procedures to test the performance of four light pipes of different heights

The four light pipes were internally coated with aluminum Vega 95 and also tested simultaneously in order to compare their performance (Figure 2). This test was also made to compare the behavior of intermediate heights (50 cm and 100 cm) compared to the others (30 cm and 150 cm) that were tested in the previous studies. Testing these other height possibilities may help us find an approximate depth in which the duct is able to conduct the required illuminance without the need for a heliostat.



Fig. 1: step 1



Fig. 2: step 2



Fig. 3: step 3

3.3. Step 3: procedures to test the performance of an electronic heliostat

Bystronski et al. (2017) started the procedure by using 3D modeling software to test the operation system. Afterwards, they used a 3D printer to make the parts, assembled the set and tested the operation manually.

An Arduino-type microcontroller was added to manage the electronic components (servomotor and step motor) and the squared mirror (10 cm x 10 cm) (Figure 3). After the complete assembly of the system, they tested it and made some more adjustments to improve it.

4. Results and discussion

4.1. Step 1: performance of two different reflective materials

This stage was tested on July 23, 2017, under partially cloudy sky conditions. The results are on Table 1 and they show that the aluminum Vega 95 was a better light conductor. It conducts almost twice as much light as the polished aluminum. The performance is reduced as the sun goes down, while the relation between the amount of light absorbed and transmitted through the duct increases. This light pipe can catch a significant amount of light until 5 pm, which points to the possibility of vegetation in areas with this specific type of light pipe. The duct internally coated with polished aluminum can conduct less amount of light, but it can be used for lighting general areas. It also provides the minimum amount of light needed to perform basic tasks for a period of time during the day according to NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

Tab. 1: Results of verifying materials performance

Line	Time	Polished aluminum	Aluminum Vega 95	External sensor	Transmission of the most efficient material
		Illuminance (lux)	Illuminance (lux)	Illuminance (lux)	(%)
1	3:05 pm	1.980	3.444	93.689	3,67
2	3:35 pm	1.894	3.272	79.911	4,09
3	4:05 pm	484	947	10.677	8,87
4	4:10 pm	462	914	10.333	8,84
5	4:40 pm	312	710	4.650	15,27
6	5:00 pm	226	549	2.497	21,98
7	5:30 pm	107	269	1.205	22,32
8	6:00 pm	0	0	64	-

4.2. Step 2: performance of four light pipes of different heights

This stage of the experiment was done on July 22 under clear sky conditions. The shortest duct can guide a greater illuminance than the others and the ability to carry the light decreases as the duct height increases. Table 2 shows the results - some of the data on the 50 cm duct were excluded because they are the same or a little higher than what was measured in the shortest duct. Maybe there was some interference at the measuring moment, but it may also have been a consequence of the dataloggers precision. This happened during higher solar angles, when the light is brighter and any interference may be stronger than in other moments. The collected data is sufficient for this study, nevertheless the use of more accurate devices is required to compare the behavior between ducts with little height difference.

The direct sunlight acted in the beginning of this experiment, but after 4:00 pm all the ducts were probably in the shadow absorbing diffuse light. Previous studies (Bystronski and Martau, 2017; Bystronski et al., 2017) showed that the tallest light pipe needed a heliostat during most of the time to catch sunlight, but the light pipe improved its behavior with this more reflective material (Table 2). The amount of light guided through the duct decreases as the sun goes down. Nevertheless, it can be used for lighting deep buildings during a part of daytime. As previously stated, plants need 300 lux minimum to survive and this amount of light is not provided by the tallest pipe during the whole period of the day. Therefore, the heliostat can be a strategy to improve the system performance and even more reflective materials should be investigated. The intermediate height light pipes can also be used for lighting deep areas, but it depends on the amount of light required.

Tab. 2: Light pipes performance

Line	Time	30 cm	50 cm	100 cm	150 cm	External sensor	Transmission of the most efficient material
		Illuminance (lux)	Illuminance (lux)	Illuminance (lux)	Illuminance (lux)	Illuminance (lux)	(%)
1	11:00 am	2.411	2.325	1.377	796	115.734	2,08
2	11:30 am	2.669	-	1.636	990	126.756	2,10
3	12:00 pm	3.272	-	2.066	1.324	132.267	2,47
4	12:30 pm	3.616	-	2.066	1.377	132.267	2,73
5	1:00 pm	2.755	-	1.808	1.151	126.756	2,17
6	2:00 pm	2.497	-	1.377	796	99.200	2,52
7	2:30 pm	2.152	2.066	1.162	602	88.178	2,44
8	3:30 pm	1.550	1.377	592	236	9.644	16,07
9	4:00 pm	839	796	344	96	6.200	13,53
10	4:30 pm	645	592	258	64	4.822	13,38
11	5:00 pm	333	301	129	32	2.497	13,34
12	5:30 pm	204	183	64	10	1.550	13,16
13	6:00 pm	10	0	0	0	140	7,14

4.3. Step 3: performance of electronic heliostat in this specific context

The third stage was tested on July 7, 2017, under partially cloudy sky conditions. The light measurements were collected at the same time as the first stage of this study and the sky was clear at this moment. The system performance improves with the electronic heliostat. The capacity to guide sunlight increases considerably. Table 2 shows the same duct guiding approximately 1.550 lux when the amount of external light is around 10.000 lux and that number reaches 24.800 lux when using heliostat (Table 3). The light pipe used in this stage is 30 cm high and next studies should test the behavior of this electronic system in the tallest duct (150 cm) to check its ability to provide the required amount of light for plants to survive in deeper areas.

Tab. 3: Electronic heliostat performance (positioned at the top of the 30 cm light pipe)

Line	Time	Internal sensor	External sensor	Transmission through the light pipe
		Illuminance (lux)	Illuminance (lux)	(%)
1	3:05 pm	22.044	93.689	23,53
2	3:35 pm	42.711	79.911	53,45
3	4:05 pm	24.800	10.677	232,27
4	4:40 pm	15.155	4.650	325,91
5	5:00 pm	613	2.497	24,55

The transmission percentage is variable and it increases considerably comparing the results on lines 1 and 2, for example. While the amount of external light is greater at 3:05 pm, the light pipe absorbed less than at 3:35 pm. And at 4:40 pm (line 4), the internal sensor absorbed more sunlight than the external one as the beams were concentrated. The system accuracy is probably responsible for this, because the angles may not be changing according to the sun's movement. A more depth study about the electronic heliostat is necessary. The amount of light absorbed can involve glare and heat loading and strategies should be adopted to deal with them. Furthermore, the sunlight transported through the light pipes is not uniform causing variability in its distribution. The use of diffuse device is an alternative to face it and should be tested in next studies.

5. Conclusions

The use of underground spaces is increasing and develop a more natural environment for people in these places is a big and urgent challenge. Light pipes can be an alternative to offer natural lighting in these areas and contribute to health and well being of users. Considering that this technology has to be tested in local context, this research was fundamental to find the most suitable system and test its viability to the city of Porto Alegre. Scale models are used to test the system performance and were a good alternative to simulation studies. The use of these technologies can provide natural light for deep buildings, but under cloudy sky conditions were not able to conduct enough light. The use of hybrid systems (with electric light) may be an alternative to this limitation. More in-depth studies are needed on reflective materials, techniques to increase the accuracy of the electronic heliostat model built in this study and to dissipate the light that reaches the end of the duct, as well as controlling the heat load conduction and the glare transmitted by direct sunlight. Another limitation of this study is that the used devices have an accuracy rate between 60% and 80%, so the amount of light measured is not precise, but it can give us an idea of which material or duct conducts more light, which is the goal of this work. Therefore, a more in-depth study with more sensitive measurement devices is necessary to know the exact capacity of these materials in conducting light. Only then it will be possible to compare the behavior between materials that have similar capacity of reflectance, for example. These preliminary results will be part of another research to test the behavior of specific plants in deep environment illuminated by the light pipes described in this paper. The behavior of this technology under cloudy sky conditions will also be tested. This study may be used for existing deep buildings or to project new underground spaces, such as the future subway of this city.

6. References

- ABNT, NBR ISO/ CIE 8995-1, 2013. Iluminação de Ambientes de Trabalho – Parte 1: interior. ABNT, Rio de Janeiro.
- Akhadov, Z., Abdurakhmanov, A., Sobirov, Y., Kholov, S., Mamatkosimov, M., Kuchkarov, A., 2014. A system with a tracking concentrating heliostat for lighting underground spaces with beams of sunlight. *Applied Solar Energy*, 50(2), pp. 122-124.
- Almeco, 2017. Almeco Group. Available in: <<http://www.almecogroup.com/en>>. Accessed in: Jun.15.2017.
- Besner, J., 2002. The sustainable usage of the underground space in metropolitan area. In: *Proceedings of the 9th International Conference of ACUUS*, Torino, Italy.
- Bodart, M., Deneyer, A., 2006. A guide for the building of daylight scale models. In: *23th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, 6–8 September 2006, Geneva, Switzerland.
- Boubekri, M., 2014. *Daylighting design: planning strategies and best practice solutions*, first ed. Birkhäuser, Basel.
- Boyce, P., Hunter, C., Howlett, O., 2003. The benefits of daylight through windows. *Rensselaer Polytechnic Institute, Troy*, p. 8-31.
- Bringslimark, T., Hartig, T., Patil, G. G., 2007. Psychological benefits of indoor plants in workplaces: Putting experimental results into context. *HortScience*, 42(3), 581-587.
- Bystronski, Y. A., Martau, B. T., 2017. Estudo experimental do comportamento de duto de luz aliado ao uso de heliostato para iluminação de edificações subterrâneas em Porto Alegre. In: *II Encontro Latino-americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*, São Leopoldo, Brazil, pp.1145–1156.
- Bystronski, Y. A., Costa-Neto, W. L., Martau, B. T., 2017. Experimental Study of Light Pipe and Heliostat for Conducting Sunlight to Underground Spaces in Porto Alegre In: *Passive and Low Energy Architecture 2017 Conference - Design to Thrive: Foundations for a Better Future*, Edinburgh, Scotland, vol. II, pp. 3183-3190.
- Dijkstra, K., Pieterse, M. E., Pruyn, A., 2008. Stress-reducing effects of indoor plants in the built healthcare environment: The mediating role of perceived attractiveness. *Preventive medicine*, 47(3), 279-283.

- Durmisevic, S., 1999. The future of the underground space. *Cities*, 16(4), 233-245.
- Durmisevic, S., Sariyildiz, S., 2001. A systematic quality assessment of underground spaces–public transport stations. *Cities*, 18(1), 13-23.
- Grahn, P., 1994. Green structures - The importance for health of nature areas and parks. In: 56th European Conference of Ministers responsible for Regional Planning (CEMAT), Örnköldsvik, Suíça pp. 89-112.
- Grinde, B., Patil, G. G., 2009. Biophilia: does visual contact with nature impact on health and well-being?. *International journal of environmental research and public health*, 6(9), 2332-2343.
- Hansen, V. G., 2006. Innovative daylighting systems for deep-plan commercial buildings (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
- Hansen, V. G., Edmonds, I., 2003. Natural illumination of deep-plan office buildings: light pipe strategies. In: ISES Solar World Congress, 14–19 June Göteborg 2003, Sweden, Freiburg.
- Hansen, V. G., Edmonds, I., 2015. Methods for the illumination of multilevel buildings with vertical light pipes. *Solar Energy*, 117, pp. 74-88.
- Harb, F., Hidalgo, M., Martau, B., 2015. Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms. *Chronobiology international*, 32(3), pp. 368 – 375.
- Heliobus, 2017. Heliobus – The daylight company. Available in: <<http://www.heliobus.com/>>. Accessed in: Feb.15.2017.
- Hobday, R., 2006. *The Light Revolution. Health, Architecture and the Sun*, first ed. Findhorn Press, Findhorn.
- Isocarp, Ita, Itacus, 2015. *Think deep: planning, development and use of underground space in cities*. First ed. Isocarp, Netherlands.
- Ji, S., Cao, G., Zhang, J., Yu, F., Li, D., Yu, J., 2016. Lighting design of underground parking with tubular daylighting devices and LEDs. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 127(3), 1213-1216.
- Kaliampakos, D., Benardos, A., Mavrikos, A., 2016. A review on the economics of underground space utilization. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55, pp. 236 – 244.
- Kämpf, A. N., 2005. *Produção comercial de plantas ornamentais*, second ed. Agrolivros, Guaíba.
- Kim, G., Kim, J., 2010. Visual environment within the already-built underground development in South Korea. *Indoor and Built Environment*, 19(1), pp. 184 – 191.
- Martau, B., 2009. A luz além da visão. *Revista Lume Arquitetura*, 38, pp. 54 – 61.
- Park, S. H., Mattson, R. H., 2009. Therapeutic influences of plants in hospital rooms on surgical recovery. *HortScience*, 44(1), 102-105.
- Peña-García, A., Gil-Martín, L. M., Hernández-Montes, E., 2016. Use of sunlight in road tunnels: An approach to the improvement of light-pipes' efficacy through heliostats. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 60, 135-140.
- Soh, C. K., Christopoulos, G., Roberts, A., Lee, E. H., 2016. Human-centered development of underground work spaces. *Procedia Engineering*, 165, 242-250.
- The Low Line. Available in: <<http://www.thelowline.org/>>. Accessed in: Mar.25.2017.

