Otimização da forma para captação da radiação solar sobre superfícies de edifícios:
um exercício de integração entre os programas Rhinoceros e Ecotect

Virgínia Czarnobay Vannini

Porto Alegre – 2011

Otimização da forma para captação da radiação solar sobre superfícies de edifícios:
um exercício de integração entre os programas Rhinoceros e Ecotect

Virgínia Czarnobay Vannini
autora

Dissertação apresentada ao programa de pesquisa e pós-graduação em arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura.

Prof. Dr. Benamy Turkienicz
orientador

Porto Alegre - 2011

CIP - Catalogação na Publicação

Vannini, Virgínia Czarnobay
Otimização da forma para captação da radiação solar sobre superfícies de edifícios: um exercício de integração entre os programas Rhinoceros e Ecotect / Virgínia Czarnobay Vannini. -- 2011.
249 f.

Orientador: Benamy Turkienicz.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Porto Alegre, BR-RS, 2011.

1. Design paramétrico. 2. Sistemas fotovoltaicos. 3. Otimização da forma. I. Turkienicz, Benamy, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

A minha família

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Benamy Turkienicz, pelo empenho, ensinamentos e paciência, dedicados ao longo desses anos de pesquisa, sempre demonstrando sua dedicação irrestrita na busca pelo conhecimento cientifico; explorando os limites da tecnologia nos processos de design, fabricação e uso da arquitetura.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Nadiérge e Ronaldo Vannini pelo amor, apoio e incentivo incondicional a mim dedicado durante a realização deste trabalho. Agradeço pela paciência e pelos ensinamentos de persistência, luta, dedicação e honestidade. Sempre presentes, apoiando e estimulando a buscar objetivos maiores.

Ao professor Arno Krenzinger, pela orientação e sugestões de leitura sobre sistemas fotovoltaicos.

Aos bolsistas de iniciação científica do SIMMLAB – Laboratório para Simulação e Modelagem em Arquitetura e Urbanismo – que contribuíram com este trabalho, Mário Gonzaga e Pablo Rezende.

A Rosirene Mayer, pelos esclarecimentos e sugestões de leitura sobre geometria e estratégias generativas.

À colega de mestrado Alessandra Teribele pela amizade, compreensão e apoio.

Aos colegas do Propar e do Pgdesign, Andréa Mussi, Cristina Gondim, Ana Cláudia Vettoretti, Rodrigo Allgayer, Fernanda Schreiner, Tiago Retamal, José Carlos Konzept, Patrícia Neuhaus e Mateus Beck.

Ao Rogério Versage pela elucidação das dúvidas sobre o *Ecotect Analysis*.

Ao grupo de alunos e professores do *Solar Decathlon* – Consórcio Brasil - pela troca de experiências e conhecimento.

A Neli Bonatto, pela disposição e dedicação na revisão gramatical deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo explorar a forma de planos de fachada vinculados à incidência solar, potencializando a aplicação de sistemas fotovoltaicos. A identificação e parametrização de formas segundo os princípios geométricos de captação fotovoltaica, sugerem a aplicação de uma metodologia de projeto para superfícies de fachadas fotovoltaicas, de modo a otimizar a incidência direta da radiação solar, incorporada a volumetria da edificação. O modelo de otimização de fachadas fotovoltaicas consiste em quatro etapas. Inicialmente define-se a tecnologia fotovoltaica e a localização geográfica (1). Posteriormente, é realizada a modelagem elementar tridimensional (2) através do editor de algoritmos gráficos *Grasshopper* – integrado à ferramenta de modelagem *Rhinoceros3D* – estabelecendo assim, as restrições e variáveis da forma. Na terceira etapa, correlacionam-se transformações geométricas tridimensionais (*twist*, *taper* e *shear*) e incidência solar (3) por meio dos softwares *Ecotect Analysis e Grasshopper*. Com isso, os parâmetros dimensionais atribuídos às variáveis – transformações geométricas – são vinculados aos parâmetros de radiação solar, visando à geração de formas. Após a seleção das formas com maior potencial fotovoltaico, identificam-se as zonas com maior incidência de radiação solar e realiza-se a manipulação dos pontos de controle das superfícies NURBS (4). Através das transformações geométricas *taper*, *shear* e *twist* foi possível gerar um conjunto de soluções otimizadas, correlacionando dados energéticos e geométricos, integrando métodos de geração de formas e avaliação performática da radiação solar. O estudo identificou que as possibilidades de articulação entre os planos fotovoltaicos e a eficiência energética têm implicações positivas, correlacionando variabilidade formal e geração de energia elétrica.

Palavras-chave: design paramétrico, otimização da forma, sistemas fotovoltaicos, fachada.

ABSTRACT

This work aims explore the shape of façade planes linked to the solar incidence, in order to optimize the use of photovoltaic systems. The identification and parameterization of forms according to geometric principles of photovoltaic capture suggest the application of a design methodology for optimizing the photovoltaic surface façade in order to optimize direct solar radiation, incorporating the volume of the building. The optimization model of photovoltaic façade consists of four steps. Initially decide on the photovoltaic technology and geographic location (1). Subsequently, three-dimensional elementary modeling is performed (2) through the graphic-algorithm editor, Grasshopper, – integrated with the modeling tool, Rhinoceros 3D, – thus establishing, restrictions and variables in shape. In the third stage, three-dimensional geometric transformations are correlated (twist, taper and shear) and solar incidence (3) through the computer interfaces of *Ecotect Analysis* and *Grasshopper* software. With this, the dimensional parameters assigned to the variables – geometric transformations – are linked to parameters of solar radiation, in order to generate shapes. After the selection of potential photovoltaic shapes, zones with the greatest incident solar radiation are identified and the control points of NURBS surface are manipulated (4). Using the geometric transformations *taper*, *shear* and *twist*, it was possible to generate a set of optimal solutions, correlating geometric and energetic data, integrating shape generating methods and performatic evaluation of solar exposure. The work identified that possibilities of articulation between photovoltaic planes and energetic efficiency have positive results, correlating shape variability and electricity generation.

Keyword: parametric design, shape optimization, photovoltaic systems, façade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Efeito fotovoltaico 15

Figura 2. Célula fotovoltaica 16

Figura 3. Módulo fotovoltaico (conjunto de células interligadas em série) 16

Figura 4. Tipos de células solares disponíveis no mercado. 18

Figura 5. Fachada ventilada (1), Parede-cortina (2), Sistema janela (3) e Brise Soleil (4). 21

Figura 6. (1) Manchester Collage Art _ (2) Greenpix Zero Energy Media Wall _ (3) Centre for Design, França 25

Figura 7. (1) Sino-Italian Energy Efficient Building _ (2) Schott Sollar 25

Figura 8 (1) Caltrans District (Department of General Services) _ (2) Solar Fabrik, Freiburg 25

Figura 9. Coordenadas de origem do plano fotovoltaico e posicionamentos do plano fotovoltaico 26

Figura 10 Abordagem tradicional de projeto 29

Figura 11 Abordagem de projeto por meio de um sistema generativo 30

Figura 12 Posição do Sol 35

Figura 13 Trajetória Solar 35

Figura 14. Diagrama de perdas anuais de irradiação de um módulo fotovoltaico, calculado para Porto Alegre, em função do ângulo azimutal (0° corresponde ao norte) e da inclinação do módulo fotovoltaico 37

Figura 15. Curvas de perdas anuais de irradiação para diferentes inclinações, em função da orientação solar (azimute) de Porto Alegre. 38

Figura 16 Representação de um volume elementar no sistema cartesiano (a) e representação de superfícies curvas em modelos digitais (b) 41

Figura 17. Curva de Bézier (C) com o polígono de controle (P) e pontos de controle (1, 2, 3, 4) 43

Figura 18. B-Spline composta por arcos Bézier. 44

Figura 19. A forma de uma curva NURBS pode ser alterada interativamente, manipulando pontos de controle, pesos e nós. 46

Figura 20. Variando o grau de uma superfície NURBS é possível obter diferentes formas 46

Figura 21. Malha de controle de uma superfície NURBS e Contornos isoparamétricos (direção “U”) sup. NURBS....47

Figura 22. Malhas regulares....48

Figura 23. Twist deformation....49

Figura 24. Tapering deformation 50

Figura 25. Shear deformation....51

Figura 26. Bending deformation 51

Figura 27. INTER.CON.TINUITIES. Modelo paramétrico desenvolvido pelo Studio Hadid....54

Figura 28. Parametric Skin....55

Figura 29. Parametric facades 55

Figura 30 Etapas da metodologia....59

Figura 31. Esquema gráfico das variáveis e restrições – estudo de caso Porto Alegre 61

Figura 32. Esquema gráfico da *description* elaborada no *Grasshopper* para a realização do experimento. 62

Figura 33. Esquema gráfico parcial da *description* ilustrando os parâmetros estabelecidos nas transformações geométricas tridimensionais – *shear, tapering e twisting* – de cada curva. 62

Figura 34. Esquema gráfico de integração dos softwares *Ecotect Analysis* e *Rhinoceros (Grasshopper)*....63

Figura 35 Diagrama da etapa três: geração de formas 64

Figura 36 Diagrama da etapa 4: otimização de superfícies 65

Figura 37 Integração de softwares Ecotect Analysis e Rhinoceros para a manipulação dos pontos de controle. 65

Figura 38 Diagrama dos procedimentos do estudo de caso 67

Figura 39. Esquema gráfico das etapas percorridas pela primeira fase do experimento. 68

Figura 40. Esquema gráfico das etapas percorridas pela segunda fase do experimento 69

Figura 41 Diagrama com a combinação das transformações geométricas em cada etapa do experimento....70

Figura 42 Forma inicial da 1° fase: 15x15x52 (a) e forma inicial da 2° fase: 15x30x52 (b)....72

Figura 43. Forma inicial, Forma 1.1e, Forma 1.1d, Forma 1.1c, Forma 1.1b e Forma 1.1a 81

Figura 44. Forma inicial, Forma 1.2e, Forma 1.2d, Forma 1.2c, Forma 1.2b e Forma 1.2a 81

Figura 45. Forma inicial, Forma 1.3e, Forma 1.3d, Forma 1.3c, Forma 1.3b e Forma 1.3a 82

Figura 46. Forma inicial, Forma 1.4e, Forma 1.4d, Forma 1.4c, Forma 1.4b e Forma 1.4a 83

Figura 47. Forma inicial, Forma 1.4e, Forma 1.4d, Forma 1.5c, Forma 1.5b e Forma 1.5a 84

Figura 48. Forma inicial, Forma 1.6e, Forma 1.6d, Forma 1.6c, Forma 1.6b e Forma 1.6a 84

Figura 49. Forma inicial, Forma 1.7e , Forma 1.7d, Forma 1.7c, Forma 1.7b e Forma 1.7a 85

Figura 50. Forma inicial, Forma 2.1e, Forma 2.1d, Forma 2.1c, Forma 2.1b e Forma 2.1a 86

Figura 51. Forma inicial, Forma 2.2e, Forma 2.2d, Forma 2.2c, Forma 2.2b e Forma 2.2a 87

Figura 52. Forma inicial, Forma 2.3e, Forma 2.3d, Forma 2.3c, Forma 2.3b e Forma 2.3a 87

Figura 53. Forma inicial, Forma 2.4e, Forma 2.4d, Forma 2.4c, Forma 2.4b e Forma 2.4a 88

Figura 54. Forma inicial, Forma 2.5e, Forma 2.5d, Forma 2.5c, Forma 2.5b e Forma 2.5a 89

Figura 55. Forma inicial, Forma 2.6e, Forma 2.6d, Forma 2.6c, Forma 2.6b e Forma 2.6a 90

Figura 56. Forma inicial, Forma 2.7e, Forma 2.7d, Forma 2.7c, Forma 2.7b e Forma 2.7a 90

Figura 58. Gráfico da 1° fase experimental, confrontando as formas geradas por diferentes transformações geométricas e a radiação solar incidente anual. 91

Figura 59. Gráfico da 2° fase experimental, confrontando as formas geradas por diferentes transformações geométricas e a radiação solar incidente anual 92

Figura 60. Gráfico confrontando as formas de cada etapa geracional e potencial energético 92

Figura 57 Perspectivas das (a) Forma 1.1a e (b) Forma 1.2a com a representação dos pontos de controle utilizados para a manipulação final da forma 94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Eficiência de células fotovoltaicas em laboratório, produção e produção em série 71

Tabela 2. Geração de formas através da correlação entre as transformações geométricas shear, taper e twist, nas duas fases do experimento. 74

Tabela 3. Geração de formas através da correlação entre as transformações geométricas taper e twist, nas duas fases do experimento. 74

Tabela 4. Geração de formas através da correlação entre as transformações geométricas shear e taper, nas duas fases do experimento. 75

Tabela 5. Geração de formas através da correlação entre as transformações geométricas shear e twist, nas duas fases do experimento. 75

Tabela 6. Geração de formas através da transformação geométrica taper, nas duas fases do experimento. 76

Tabela 7. Geração de formas através da transformação geométrica shear, nas duas fases do experimento. 76

Tabela 8. Geração de formas através da transformação geométrica twist, nas duas fases do experimento. 77

Tabela 9 Tabela das formas geradas na primeira fase, correlacionando regras e eficiência fotovoltaica (radiação solar incidente). A legenda de cores é ilustrativa, representando as formas com maior incidência solar com cores mais fortes e as formas com menor incidência solar com cores mais fracas. 78

Tabela 10 Tabela das formas geradas na segunda fase, correlacionando regras e eficiência fotovoltaica (radiação solar incidente). A legenda de cores é ilustrativa, representando as formas com maior incidência solar com cores mais fortes e as formas com menor incidência solar com cores mais fracas. 79

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 11

1. TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS 15
1.1 Efeito Fotovoltaico **15**
1.2 Sistema Fotovoltaico **16**
1.3 Plano vertical fotovoltaico **20**
1.3.1 BIPV – Building-integrated Photovoltaic 20
1.3.2 Pele fotovoltaica 23

2. OTIMIZAÇÃO 28
2.1 Estratégias Generativas **29**
2.2 Otimização geométrica **33**
2.3 Otimização Fotovoltaica **34**
2.4 Otimização fotovoltaica – estudo de caso Porto Alegre **37**

3. TECNOLOGIAS DE MODELAGEM GEOMÉTRICA DIGITAL 40
3.1 Computational Design **40**
3.1.1 Funções *Splines* 42
3.1.2 Curva de *Bézier* 43
3.1.3 Curvas B-Spline 44
3.1.4 Curvas e Superfícies NURBS 45
3.1.5 Malha 48
3.1.6 Transformações geométricas 49
3.2 Design Paramétrico **52**

4. MATERIAIS E MÉTODOS 57
4.1 Etapas **60**
4.1.1 Definição da tecnologia fotovoltaica e localização geográfica 60
4.1.2 Modelagem volumétrica tridimensional 60

4.1.3 Geração de formas....62
4.1.4 Manipulação de superfícies NURBS....64

5. ANÁLISE – ESTUDO DE CASO: PORTO ALEGRE 67
5.1 Definição da localização geográfica e tecnologia fotovoltaica....71
5.2 Modelagem volumétrica tridimensional....72
5.3 Geração de formas....73
5.3.1 Modelos gerados na 1° FASE – base móvel....**80**
Etapa 1 (*shear* + *taper* + *twist*)....80
Etapa 2 (*taper* + *twist*)....81
Etapa 3 (*shear* + *taper*)....82
Etapa 4 (*shear* + *twist*)....82
Etapa 5 (*taper*)....83
Etapa 6 (*shear*)....84
Etapa 7 (*twist*)....85
5.3.2 Modelos gerados na 2° FASE – base fixa (30x15m)....**85**
Etapa 1 (*shear* + *taper* + *twist*)....85
Etapa 2 (*taper* + *twist*)....86
Etapa 3 (*shear* + *taper*)....87
Etapa 4 (*shear* + *twist*)....88
Etapa 5 (*taper*)....89
Etapa 6 (*shear*)....89
Etapa 7 (*twist*)....90
5.4 Manipulação de superfícies NURBS....94

6. CONCLUSÕES 97

REFERÊNCIAS 99

APÊNDICE A 103
Tecnologia Fotovoltaica....103

APÊNDICE B **104**
Forma Inicial 1 ..... **104**
Forma Inicial 2 ..... **106**
Primeira Fase Geracional – Base móvel **108**
Etapa 1 – twisting + tapering + shear (rotação + escala + translação) 108
Etapa 2 – twisting + tapering (rotação + escala) 119
Etapa 3 - tapering + shear (escala + translação) 129
Etapa 4 – twisting + shear (rotação + translação) 139
Etapa 5 – tapering (escala) 149
Etapa 6 – shear (translação) 159
Etapa 7 – twisting (rotação) 169
Segunda Fase Geracional – Base Fixa (15 X 30m) **179**
Etapa 1 – twisting + tapering + shear (rotação + escala + translação) 179
Etapa 2 – twisting + tapering (rotação + escala) 190
Etapa 3 - tapering + shear (escala + translação) 200
Etapa 4 – shear + twisting (translação + rotação) 210
Etapa 5 – tapering (escala) 220
Etapa 6 – shear (translação) 230
Etapa 7 – twisting (rotação) 240

INTRODUÇÃO

A escassez dos recursos naturais aumenta a busca por novos processos e sistemas construtivos sustentáveis e de soluções energeticamente eficazes. Entre os esforços tecnológicos que contribuem para soluções de energia limpa estão os elementos de captação da energia solar.

O aproveitamento da energia solar remete a tecnologias atuais e do passado: no ano 212 a.C. Arquimedes fez aplicação de energia solar para fins bélicos, no século I, Heron de Alexandria, utilizou dispositivos solares para bombeamento de água, em 1560, na França, Ambroise Pare construiu um alambique solar e, em 1615, o engenheiro Salomon de Caus uma caldeira solar. Até o século XIX, os inventos solares eram de cunho experimental. Foi a aplicação da energia solar para dessalinização da água, atribuída a Agustín Mouchot, a primeira aplicação prática da energia solar. Mouchot fabricou ainda, bombas solares, pequenas máquinas a vapor. Em 1886, na Suécia, Ericson apresentou um motor solar de baixa rotação, em 1901, na Califórnia uma caldeira solar foi ativada gerando 15 CV de potência e, em 1913, duzentos e treze hectares de algodão foram irrigados, por meio de uma bomba acionada a energia solar (BEZERRA, 1998).

Através de processos térmicos, elétricos e químicos é possível gerar energia através do sol. Segundo Cometta (1978), são exemplos do aproveitamento de energia solar: as aplicações de *aquecimento de água* através de acumuladores de calor, unidade de dissipação do calor supérfulo e coletores solar; *aquecimento do ar*, por meio de coletores solares a ar; *refrigeração de ambientes* por radiação; *dessalinização da água* através de destiladores solares; *geração de energia mecânica* com baixa diferença de temperatura; captação de calor a alta temperatura mediante fornos solares parabólicos; e transformação direta da energia solar em energia elétrica através de geradores termoelétricos e processos fotovoltaicos.

O *processo fotovoltaico* consiste na transformação direta da energia luminosa do sol em energia elétrica, através de materiais semicondutores. A viabilidade técnica deste processo já foi comprovada no fornecimento de energia necessária para populações rurais de difícil acesso como até no funcionamento de equipamentos lançados em orbita da Terra (BEZERRA, 1998).

São duas as maneiras principais de integrar PVs[1] na arquitetura de edifícios: (1) sistemas de cobertura e (2) sistemas de fachada e protetores solares ou brise soleil[2] (THOMAS, FORDHAM e PARTNERS, 2003). O atual predomínio dos sistemas fotovoltaicos em coberturas é decorrente da lógica de captação solar pelo plano horizontal, superfície com maior aproveitamento dos raios solares anuais, com exceção de implantações nas extremidades dos Pólos Sul e Norte. O uso predominante de sistemas fotovoltaicos em partes pouco visiveis das edificações reduz a interação deste recurso com a volumetria do edifício. Em contrapartida, este trabalho visa estudar o impacto que a utilização da tecnologia fotovoltaica pode exercer sobre o plano vertical (fachada) e na geometria das edificações. A motivação para tal estudo nasce da constatação de que a verticalização das cidades e a consequente redução da disponibilidade de planos horizontais de cobertura ensejam a utilização de painéis fotovoltaicos no plano vertical (fachada), influenciando as características plásticas da edificação.

A utilização de sistemas fotovoltaicos na fachada desafia o conhecimento científico na flexibilização das formas da tecnologia fotovoltaica, hoje fortemente caracterizada por painéis planos, rígidos e de consideráveis dimensões . Projetos que incorporam o PV em suas fachadas utilizam parâmetros como: localização geográfica, fator sombra e temperatura para a otimização do sistema fotovoltaico. Thomas, Fordham and Partners (2003) atribuem o rendimento do sistema fotovoltaico integrado a seis fatores, (a) variação solar diária, (b) localização, ou seja, a radiação solar disponível na implantação, (c) orientação solar, (d) temperatura do painel fotovoltaico, (e) sombreamento e (f) inclinação dos módulos fotovoltaicos. Tais parâmetros do sistema não estariam vinculados aos processos compositivos do edifício para os quais se destinam.

Edificios que incorporam sistemas fotovoltaicos – na cobertura ou nas fachadas – levam principalmente em consideração a latitude do local, gerando assim uma inclinação média ideal para os painéis, além de considerar o entorno próximo, para efeito de sombras. A inclinação média dos painéis é definida por uma

[1] **PV** é a abreviação do termo, inglês *Photovoltaics*, sitema fotovoltaico ou energia fotovoltaica.
[2] ***Brise Soleil*** é um dispositivo arquitetônico utilizado para impedir a incidência direta da radiação solar no interior das edificações, de forma a evitar a manifestação do calor excessivo. Normalmente caracterizam-se como uma série de lâminas, móveis ou não, localizadas em frente às aberturas do edifício. No caso de serem móveis, permitem que conforme a necessidade e a conveniência, sejam regulados para aumentar ou diminuir a insolação no recinto em questão.

correlação entre os ângulos anuais e diários de incidência solar e a localização geográfica do edificio. O procedimento envolve a ponderação dos fatores naturais onde a utilização dos sistemas fotovoltaicos não se correlaciona com a arquitetura do edifício.

A introdução de sistemas generativos[3] aliado a ferramentas computacionais no processo projetual permitiu a rápida exploração de grande quantidade de alternativas, aumentando as chances de eleição de soluções otimizadas. Os algoritmos genéticos são um exemplo de abordagem generativa em que as melhores soluções podem ser selecionadas, dentro de um infinito campo de variações (BENTLEY, 1999) a partir de critérios de adequação (*fitness*).

Aplicando o conceito de design paramétrico no processo projetual de sistemas fotovoltaicos de fachada, é possível atribuir valores aos parâmetros de projeto, permitindo que um projeto seja expresso por uma coletânea de valores (WOODBURY, 2010). A maioria dos modelos paramétricos, desenvolvidos até o presente, vincula a geometria das fachadas a parâmetros lumínicos e de conforto. O método criado pelo Studio Hadid[4] para torre em Dubai, orientado por parâmetros geométricos de condicionamento lumínico e permeabilidade visual, promoveu a conformação de cortes e planos contínuos entre os elementos de fachada. A *Parametric Skin*[5], projetada por Olivier Dibrova e modelada no software *Generative Componentes*, é uma "pele" projetada de acordo com parâmetros de conforto térmico e lumínico para funcionar em edifício comercial existente.

Sheng Cheng (2009) propõem um método para tentar resolver o problema de otimização de superfícies fotovoltaicas curvas. O método proposto por Cheng consiste em três partes: um algoritmo genético, uma ferramenta de simulação adaptativa – para calcular a incidência solar – e um modelo de análise comparativa. O método disponibiliza uma ferramenta computacional para a manipulação de superfícies curvas justapostas aos planos verticais de edifícios, tornando-se uma alternativa para as tradicionais superfícies fotovoltaicas planas de integração

[3] *Sistemas generativos* são métodos de projeto que objetivam gerar uma variedade de soluções em potencial para serem avaliadas. Ou seja, consistem na elaboração de ferramentas projetuais que exploram diferentes formas durante o mesmo procedimento; explorando diversas formas, pertencentes a uma mesma família.

[4] Modelo Paramétrico desenvolvido pelo Studio Hadid. Disponível em: <http://www.futurearchitecture.eu/2007/12/intercontinuites.html> Visitado em: 18 set. 2010

[5] Parametric Skin. Disponível em: <http://www.oliverdibrova.com/blg/?p=423> Visitado em: 12 out. 2010

fotovoltaica. Ou seja, manipulam-se superfícies curvas, porém, individualmente, sem considerar a forma do edifício como um todo.

O método proposto nesta dissertação, diferentemente de Cheng, manipula a forma do edifício com formas curvas, atravé de painéis fotovoltaicos planos – resultantes da conversão de superfícies curvilíneas em *mesh*. Sendo assim, a associação de processos generativos, parâmetros solares e fotovoltaicos na otimização de superfícies de fachada permite a manipulação do **volume do edifício** durante o processo projetual. Este trabalho busca, ao estabelecer um conjunto de regras para a geração de estruturas formais, um método capaz de gerar uma variedade de soluções compositivas potencialmente otimizadas – multifuncionais, híbridas[6] – que considerem a articulação das formas arquitetônicas, dos componentes fotovoltaicos e da incidência solar. O método visa à integração entre softwares de modelagem e simulação solar através de procedimentos de otimização geométrica de planos fotovoltaicos. Ou seja, não desenvolve um método de otimização, mas sim, um conjunto de procedimentos, integrando ambientes computacionais, e visando a otimização de formas de edifícios fotovoltaicos. Tal método, uma vez estruturado, poderá apoiar a otimização de energia solar fotovoltaica em fachadas de edifícios em altura vinculando às variações de incidência solar e conceitos paramétricos.

A dissertação está estruturada em sete partes. A primeira e segunda partes revisam as tecnologias fotovoltaicas e os processos de otimização geométrica, realizados a partir de processos generativos. A terceira parte descreve as tecnologias de modelagem digital disponíveis e, a quarta etapa, apresenta os materiais e métodos, estruturados em quatro etapas: definição da tecnologia fotovoltaica e localização geográfica (1), modelagem volumétrica tridimensional (2), geração de formas (3) e manipulação das superfícies NURBS (4). Na quinta parte, a metodologia é aplicada no estudo de caso para Porto Alegre e, na sexta parte são apresentandos os resultados do estudo de caso. Na última parte são apresentadas as conclusões e as possibilidades de aprofundamento do tema.

[6] **Fachada multifuncional, híbrida,** neste caso, caracteriza-se por planos verticais que alteram seu comportamento térmico e energético conforme os requisitos formais e condições impostas pelo ambiente em que o edifício, na qual a fachada se insere, está implementado.

1. TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS

1.1 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico foi observado, pela primeira vez, por Henri Becquerel em 1839 (Goetzberger e Hoffmann, 2005), quando observou que algumas correntes elétricas provinham de reações químicas originadas pela luz (SANTOS, 1995). O efeito fotovoltaico é um fenômeno decorrente da junção de materiais semicondutores, que transformam energia radiante diretamente em eletricidade (HECKTHEUER, 2001); “sem a produção de nenhuma forma de energia intermediária durante a ocorrência do processo” (LORENZO, 1994).

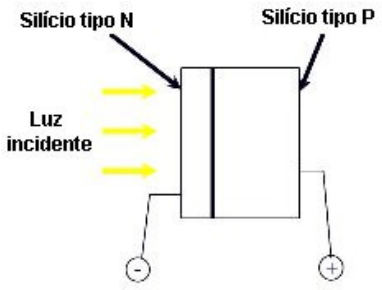


Figura 1 Efeito fotovoltaico
Fonte: Efeito Fotovoltaico. Disponível em: < http://www.fe.up.pt > Visitado em 12 jan. 2010

Para que o efeito fotovoltaico ocorra é necessário que o semicondutor absorva a radiação, através de duas regiões distintas eletricamente, uma do tipo N e outra do tipo P (Figura 1). Devido aos gradientes de concentração de cargas elétricas, ocorre a difusão de elétrons da região N para a região P e uma difusão de lacunas da região P para a região N, gerando um campo elétrico no material semicondutor, o qual origina a força elétrica que se opõe à força de difusão original. Instituído um desequilíbrio nas correntes da junção P-N origina-se uma diferença de potencial elétrico entre os dois lados da junção. Conectando terminais de ligação em cada lado da junção, através de um condutor, obtêm-se uma corrente elétrica, denominada fotocorrente (HECKTHEUER, 2001).

1.2 Sistema Fotovoltaico

No sistema fotovoltaico, a célula fotovoltaica (Figura 2) é o dispositivo mais importante para a transformação direta dos raios solares em energia elétrica (LORENZO, 1994); quando agrupadas em série ou paralelo e devidamente protegidas das hostilidades do ambiente, compõe um painel fotovoltaico, também chamado, módulo fotovoltaico (Figura 3). “O módulo fotovoltaico disponibiliza uma tensão e uma corrente, que deve ser adequada à aplicação em causa” (SANTOS, 1995), ou seja, deve ser apropriada ao programa funcional que o edifício cumpre.

Figura 2. Célula fotovoltaica
Fonte: PV Magazine. Disponível em: < http://www.pv-magazine.com> Visitado em 12 jan. 2010

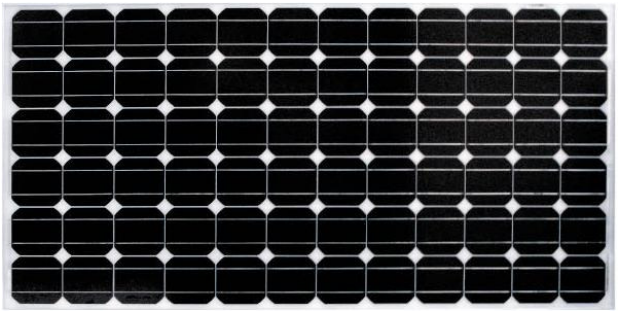


Figura 3. Módulo fotovoltaico (conjunto de células interligadas em série)
Fonte: PV Power. Disponível em: < http://www.pvpower.com> Visitado em 12 jan. 2010

É possível identificar três tipos básicos de células solares de silício cristalino: as de silício monocristalino, as de silício multicristalino e as células de “crescimento em película sustentada pela borda” (EFG – *Edge defined film-Fed Grown*). As células compostas por silício monocristalino atingem um rendimento superior as de silício multicristalino, além de ter as arestas chanfradas e aspecto mais escuro (CHIVELET e SOLLA, 2010). As propriedades elétricas das células cristalinas EFG, assemelham-se com as das células multicristalinas, porém, podem assumir outros formatos, tendo comprimento variável.

A geração de energia elétrica, obtida através de sistemas fotovoltaicos, está baseada na intensidade da luz solar incidente sobre os painéis fotovoltaicos. Desta maneira, é importante que os painéis solares permaneçam expostos diretamente à luz do Sol, o máximo de tempo; evitando sombreamentos de árvores, edifícios e outros obstáculos. Em dias nublados também é possível gerar energia elétrica, mas em níveis inferiores (FARRET, 1999).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em sistemas ligados à rede elétrica pública e em sistemas autônomos. Em instalações interligadas à rede elétrica, no momento em que o gerador solar fornece mais energia do que necessário ao consumidor, o excesso é injetado na rede elétrica. Já o sistema autônomo requer um banco de baterias para o armazenamento da mesma. Os sistemas ligados à rede elétrica pública, geralmente utilizam-se de células de silício monocristalino e policristalino, pois são as tecnologias fotovoltaicas encontradas com maior frequência no mercado atual. A eficiência inferior do silício policristalino é compensada pelas vantagens do preço final, advindas do menor custo de fabricação.

A indústria vem difundindo no mercado, módulos com tensões de circuito aberto cada vez mais elevadas (e.g. 95V) devido ao crescente interesse por instalações conectadas à rede elétrica – onde as tensões utilizadas são 110V e 220V. Segundo Hecktheuer (2001) os módulos fotovoltaicos eram, geralmente, montados para operarem com tensão nominal de 12V, dependendo do tipo de célula que os constitui e do maior ou menor número de células associadas em série. Para obter as tensões e correntes requisitadas pela potência instalada de projeto, normalmente, são utilizadas combinações série/ paralelo de vários módulos. Os módulos fotovoltaicos não devem ser muito grandes, por questões de peso e de

manipulação. Assim, para a construção de sistemas de grande potência, é necessário reunir módulos fotovoltaicos de mesma potência ligados entre si, antes da ligação ao restante do sistema de geração (DIAS, 2006). Cada tecnologia fotovoltaica oferece distintas possibilidades e, por sua vez, tem suas próprias limitações.

A eficiência do sistema fotovoltaico está diretamente relacionada à matéria-prima utilizada na sua fabricação. Dentre os diversos semicondutores utilizados para a produção de células solares fotovoltaicas (Figura 4), destacam-se: o silício cristalino (c-Si), o silício amorfo hidrogenado (a-Si), o telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseneleto de cobre (gálio) e índio (CulnSe2 ou CIS e Cu(InGa)Se2 ou CIGS) (CHIVELET e SOLLA, 2010).

As células compostas por silício cristalino fazem uso de lâminas cristalinas, que possuem diâmetro aproximado de 10 centímetros e são consideradas espessas, com 300 a 400µm, dificultando a reduções no custo de fabricação. As demais tecnologias concentram-se em películas delgadas, também chamadas de filmes finos, com espessura aproximada de 1µm (RÜTHER, 2004).

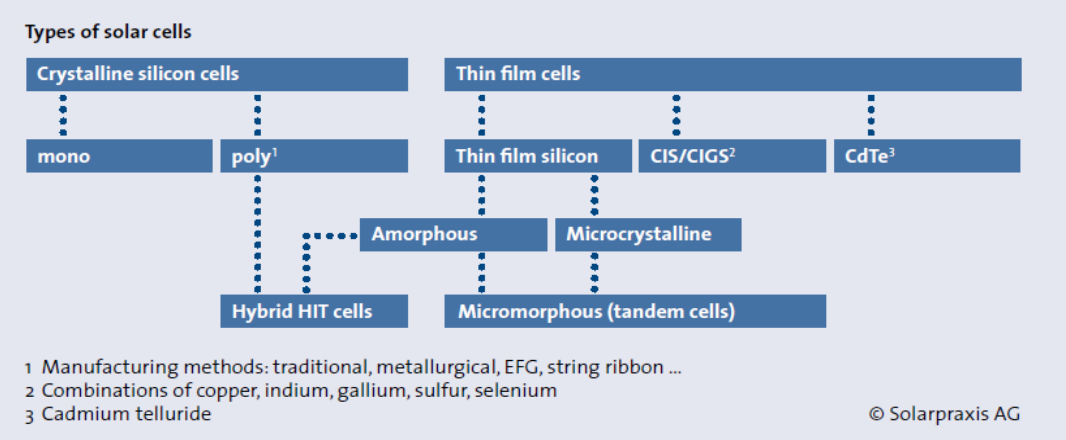


Figura 4. Tipos de células solares disponíveis no mercado.
Fonte: PV Power Plants 2010- Industry Guide. RENI – Renewables Insight. Disponível em:<http://www.pv-power-plants.com/fileadmin/user_upload/PVPP_2010_web.pdf> visitado em: 17 mai. 2010.

As células de silício são as de maior frequência na fabricação de módulos fotovoltaicos, podendo ser de silício monocristalino, silício policristalino (ou multicristalino) e silício amorfo. As células de silício monocristalino apresentam

elevada eficiência, custo elevado e podem atingir 14,5% de eficiência (HECKTHEUER, 2001). As células compostas por silício policristalino oferecem custo inferior e menor eficiência em comparação ao silício monocristalino. A configuração cristalina do silício torna a placa rígida; já os painéis desenvolvidos em silício amorfo podem ser flexíveis e de baixo custo, mas com eficiência inferior aos demais semicondutores (LORENZO, 1994). A utilização e otimização do silício amorfo, pode se dar sob iluminação artificial, sendo assim recomendado para situações que requerem baixo consumo elétrico.

Assim como os módulos de silício amorfo, o telureto de cádmio tem baixo custo, com a vantagem de ser um pouco mais eficaz. A desvantagem do uso do telureto de cádmio é sua toxidade e a baixa abundancia dos elementos envolvidos, problema também enfrentado na produção do disseneleto de cobre e índio (CHIVELET e SOLLA, 2010).

Os módulos de silício amorfo têm sido utilizados com maior frequência em aplicações de pequeno porte, como: relógios, calculadoras, lanternas entre outros. Entre os módulos comercialmente disponíveis, o sistema híbrido HCI alcança o maior nível de eficiência (RÜTHER, 2004). No manual sobre tecnologias, projeto e instalações, desenvolvido em 2004 pelo projeto Greenpro em Portugal[7], destacam-se os módulos de película fina CIS e CdTe pelo fato de terem alcançado a fase de produção em série. Os chamados semicondutores III-V, como são o Arsenieto de Gálio (GaAs) que consiste em elementos do Grupo III e do Grupo V na tabela periódica, permitem a produção de células solares de elevada eficiência, porém não competitivas no preço. Por este motivo, são utilizadas apenas em experimentações espaciais e para sistemas de concentração, normalmente combinadas com compostos adicionais III-V, tais como o GaSb ou o GaInO, em células solares sobrepostas.

As propriedades do módulo e da célula variam conforme o semicondutor empregado na confecção da célula. É possível identificar atributos relacionados à forma, tamanho, cor e propriedade do material semicondutor. A célula fotovoltaica pode ser ***rígida*** ou ***flexível***, explorando formas lineares ou curvas; ***translúcida*** ou

[7] ENERGIA FOTOVOLTAICA: *Manual sobre tecnologias, Projecto e Instalação*. Projeto GREENPRO. Portugal. Jan. 2004. Disponível em: <http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf> Visitado em: 08 jun. 2010.

opaca, fornecendo permeabilidade visual e integração entre interior e exterior quando desejado; além de disponibilizar várias ***colorações***. Conforme a disposição das células fotovoltaicas em um determinado módulos é possível estabelecer intervalos entre as células que estabeleçam faixas translúcidas, assim como, criar diferentes composições entre as células gerando módulos com formas geométricas elementares como, retângulo, quadrado, triângulo, hexágono, ou formas livres.

1.3 Plano vertical fotovoltaico

1.3.1 BIPV – Building-integrated Photovoltaic

No campo prático e teórico, a integração do sistema fotovoltaico à estrutura de edifícios vem sendo abordada pelo termo inglês, *building-integrated photovoltaic* (BIPV). Chivelet e Solla (2010) descrevem a integração fotovoltaica como um sistema construtivo, com suas regras próprias, porém com flexibilidade dimensional e ampla gama de possibilidades de acabamento, podendo assim se converter em um valioso elemento compositivo.

Segundo Chivelet e Solla (2010) o arquiteto pode adotar o sistema fotovoltaico no projeto arquitetônico, integrando ou não os painéis à edificação. Os painéis não são considerados integrados ao edifício quando: posicionados em locais não visíveis, sobrepondo os painéis sobre fachadas definidas ou pré-existentes. Porém, quando o sistema fotovoltaico agrega valor à imagem arquitetônica, o sistema determina a imagem arquitetônica ou quando a integração fotovoltaica dá lugar a novos conceitos arquitetônicos (THOMAS e FORDHAM, 2003) pode-se considerar, nestes casos, a integração com a arquitetura do sistema fotovoltaico.

A integração arquitetônica de tecnologias fotovoltaicas em fachadas pode ser enquadrada em quatro situações básicas (Figura 5) : fachadas ventiladas (1), sistemas de parede-cortina (2), sistemas de janelas (3) e brises (4).

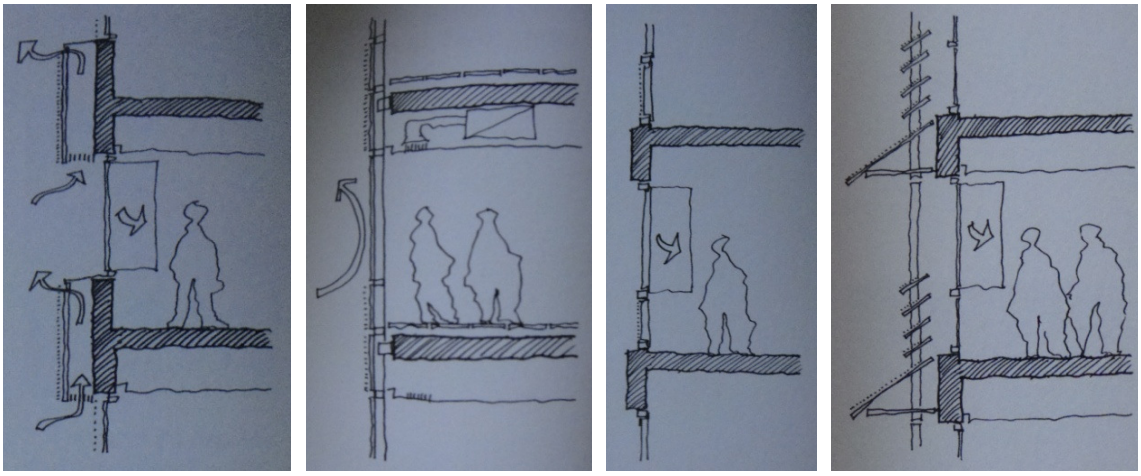


Figura 5. Fachada ventilada (1), Parede-cortina (2), Sistema janela (3) e Brise Soleil (4).
Fonte: CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Fernández; Tradução: Alexandre Salvaterra. Técnicas de vedação Fotovoltaica na Arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2010.

Algumas características do módulo fotovoltaico podem variar adequando-se a necessidade de cada fachada, como o ***tamanho e forma do módulo*** (a), ***estrutura construtiva do módulo*** (b), ***forma e tamanho das células*** (c), ***cor das células e vedação posterior*** (d), ***transparência do módulo*** (e), ***número de células e sua disposição no módulo*** – desconsiderando neste caso películas delgadas, que são homogêneas (f).

a. O tamanho e forma do módulo

A dimensão dos módulos é suscetível à escolha do arquiteto, embora o tamanho da maioria dos módulos não supere 80x160 centímetros (CHIVELET e SOLLA, 2010). Há possibilidade de construir módulos que ultrapassem dois metros e, utilizando resina como substrato, é possível fabricar módulos com até seis metros quadrados. A forma tradicional é retangular, embora sejam possíveis formas curvas – módulos flexíveis de película delgada – triangulares e outras, dependendo do material utilizado na estrutura do módulo e tecnologia (semicondutor) fotovoltaica escolhida.

b. A estrutura construtiva do módulo

Para obter diversas possibilidades de integração à arquitetura, a estrutura do módulo pode ser em vidro duplo (CHIVELET e SOLLA, 2010), na qual o módulo faz parte de um vidro laminado. O vidro também pode ser substituído por outros materiais translúcidos e flexíveis, como acrílico. Para que o módulo apresente baixa transmitância térmica, o laminado fotovoltaico é montado como um vidro duplo, deixando uma câmara estanque variando entre 12 e 16 mm. Outra opção é a instalação do laminado fotovoltaico como uma folha externa de uma fachada ventilada, sendo possível aumentar os ganhos térmicos gerados pelo efeito estufa no inverno e permitindo a saída de ar quente ascendente durante o verão, reduzindo os ganhos térmicos e a temperatura de trabalho dos módulos, melhorando assim seu rendimento.

c. A forma e tamanho das células

A forma das células varia em função da tecnologia fotovoltaica. As células de silício monocristalino são cortadas a partir de uma barra cilíndrica de silício, razão pela qual mantém a forma circular. Porém, normalmente, tende-se a cortar as células de forma que facilite a composição dos módulos, resultando em uma forma aproximadamente quadrada (em torno de 10cm de lado), com as quinas cortadas, de maneira a otimizar as características primitivas do material. As células de silício multicristalino provêm do corte de blocos de seção quadrada, resultando em células totalmente quadradas, variando o lado entre 10 e 15 cm. As células cristalinas que são fabricadas diretamente em faixas, podem ser retangulares, como é o exemplo dos módulos de silício EFG (CHIVELET e SOLLA, 2010). Os módulos de películas delgadas podem assumir formas e tamanhos diversos, uma vez que o material ativo é praticamente contínuo.

d. A cor das células e vedação posterior

A coloração das células pode variar de acordo com a espessura de seu revestimento antirreflexivo. A variação da espessura afeta a faixa de comprimento das ondas refletidas, comprometendo assim seu rendimento. As perdas (CHIVELET e SOLLA, 2010) podem variar entre 7% (verde) e 12% (cinza) em relação à cor ideal (azul padrão).

e. O número de células e a disposição das células no módulo

O número de células e sua disposição em um módulo podem variar de acordo com os condicionantes projetuais. Pode-se reduzir o número de células para obter-se maior transparência, mas diminuindo, também, a potência elétrica do módulo.

f. A transparência do módulo

Módulos fotovoltaicos transparentes abrem possibilidades de integração arquitetônica, ratificando sua condição de elementos multifuncionais na edificação. A transmitância[8] da luz pode ser contínua (como os módulos semitransparentes de silício amorfo) ou descontínua (como é o caso dos módulos semitransparentes EFG ou monocristalino) com espaçamento entre as células. Materiais opacos, translúcidos, semi-translúcidos, elementos móveis ou fixos, formas geométricas elementares ou orgânicas, evidenciam a diversidade de possibilidades compositivas que um projeto de integração fotovoltaica com a edificação pode explorar.

1.3.2 Pele fotovoltaica

> Até muito recentemente, os módulos fotovoltaicos eram projetados com um único objetivo: a geração de eletricidade a partir da energia solar. O sistema de módulos ou painéis fotovoltaicos era um novo apetrecho que não era bem-vindo e costumava terminar na cobertura do prédio, totalmente desvinculado do conceito de projeto do arquiteto. [9]

Em meados da década de 90, arquitetos e indústrias fotovoltaicas depararam-se com anseios comuns (CHIVELET e SOLLA, 2010), para integrar efetivamente os módulos fotovoltaicos aos sistemas de vedação de fachadas. Sendo assim, as fachadas que anteriormente desempenhavam exigências tectônicas e de conforto

[8] Transmitância é a fração de luz incidente em um material, com comprimento de onda específico que atravessa uma amostra de matéria. Suas propriedades ópticas variam conforme a incidência e comprimento de onda da radiação.

[9] CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Fernández; Tradução: Alexandre Salvaterra. *Técnicas de vedação Fotovoltaica na Arquitetura*. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ambiental (ventilação e iluminação) agora assumem, também, exigências de produção energética. Para responder as exigências tectônicas e energéticas simultaneamente é fundamental que o sistema fotovoltaico seja avaliado e considerado desde o início do processo projetual.

Apesar da utilização do plano vertical fotovoltaico em edificações ser uma prática recente, é possível encontrar uma diversidade de componentes de fachada adaptados ao sistema. Assim, o uso de painéis fotovoltaicos no plano vertical das edificações vem crescendo, pois além do ganho energético, o PV pode ser empregado como revestimento de fachada, viabilizando o custo elevado de instalação, incorporando sistemas de conforto, como brises, escurecimento de painéis de vidro, agregando materiais cerâmicos, como a tecnologia "*solar tiles*"[10], entre outros.

Dentre os projetos que incorporam sistemas de captação na fachada, agregando a energia solar como um elemento de projeto, destacam-se: o Manchester Collage Art na Inglaterra; o Greenpix Zero Energy Media Wall projetado por Simone Giostra e Partners e Arup; o International Centre for Design in Saint-Etienne, França (Figura 6); o Sino-Italian Energy Efficient Building (SIEEB) em Beijing; a casa tournante Heliotrope do arquiteto alemão Rolf Disch ; o edifício Schott Solar construido em 2005 em Barcelona (Figura 7); o edifício Caltrans (Departamento de Transportes da Califórnia) projetado pelo grupo Morphosis; a Solar Fabrik em Freiburg (Figura 8), entre outros exemplos mundiais de desempenho formal e técnico. Integrando proteção e captação solar, esses projetos destacam-se por compatibilizar os parâmetros energéticos e de conforto ambiental juntamente com a exploração formal do plano vertical e permeabilidade visual. Nestes projetos é possível identificar princípios geométricos e exploração dos diferentes materiais, cores e texturas, além da diversidade de linguagens geradas pela conjugação dos componentes contrutivos.

[10] **Solar Tiles** é um projeto de pesquisa que consiste no desenvolvimento de protótipos que integram produtos cerâmicos e fotovoltaicos, de elevada eficiência, para o revestimento de edifícios (coberturas e revestimentos exteriores de fachada) que incorporem filmes finos fotovoltaicos. A investigação científica visa o desenvolvimento de um produto que se caracterize por uma elevada qualidade estética e desempenho técnico. Disponível em:<http://vteixeira.com.sapo.pt/solartiles.htm> Visitado em: 21 mai. 2010.

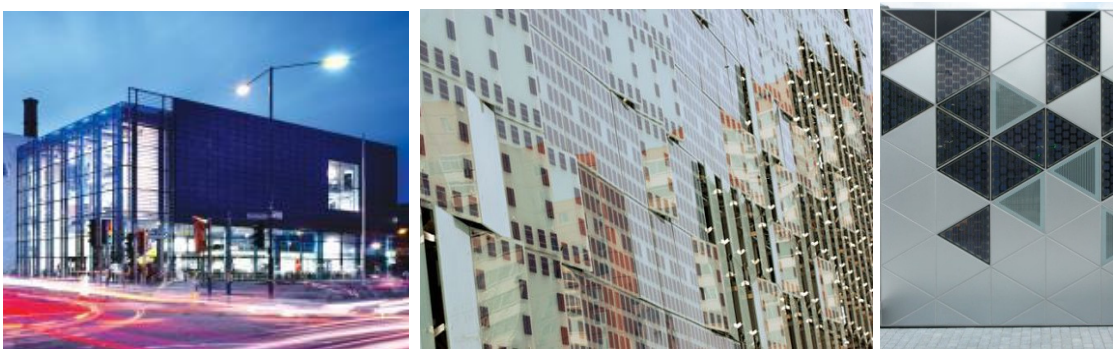


Figura 6. (1) Manchester Collage Art _ (2) Greenpix Zero Energy Media Wall _ (3) Centre for Design, França
Fonte: Disponíveis em: (1) < http://www.s-m-i-t.com/>; (2) < http://www.greenpix.org/>; (3) <http://www.lin-a.com/start-english.html>; Visitados em 18 mar. 2010.

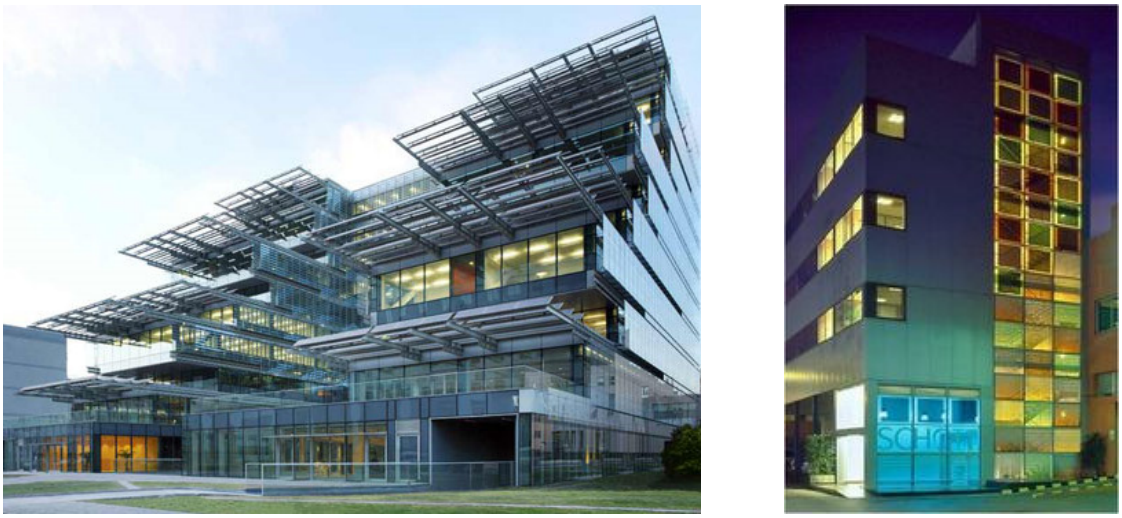


Figura 7. (1) Sino-Italian Energy Efficient Building _ (2) Schott Sollar
Fonte: Disponíveis em: (1) < http://www.mcarchitectsgate.it/>; (2)<http://www.pvdatabase.org/projects_viewbest.php>; Visitados em 20 mar. 2010.

Figura 8 (1) Caltrans District (Department of General Services) _ (2) Solar Fabrik, Freiburg
Fonte: Disponíveis em: (1) < http http://architettura.it/architetture/20050325/index.htm >; (2) < http://www.solar-fabrik.de/>; Visitados em 20 mar. 2010.

Considerando o plano fotovoltaico perante suas *coordenadas de origem*, seu *posicionamento perante o plano de fachada*, sua *mobilidade*, o *material* utilizado e suas *propriedade inerentes* é possível analisar diferentes resultados de aplicação dos sistemas fotovoltaicos no plano vertical.

De acordo com a *coordenada de origem* do PV, pode-se afirmar que o plano de captação inicia-se no nível zero ou acima do nível zero (Figura 9), absorvendo assim, possíveis zonas de sombra, seja ela causada por elementos do próprio edifício ou por edificações ou elementos (árvores, postes, equipamentos urbanos) vizinhos. Conforme a *mobilidade* do plano de captação, sendo fixo ou móvel, automatizado ou manual, variações compositivas podem ser obtidas mantendo o controle térmico do edifício e buscando sempre a melhor inclinação do plano de captação. Além da mobilidade, o plano pode variar conforme o *índice de translucidez ou opacidade* e colorações assumidas pelo tipo de material (semicondutor) utilizado, permitindo assim, a permeabilidade visual, integração do meio interno e externo, e promovendo conforto ao interior do edifício, seja por aquecimento ou resfriamento dos ambientes.

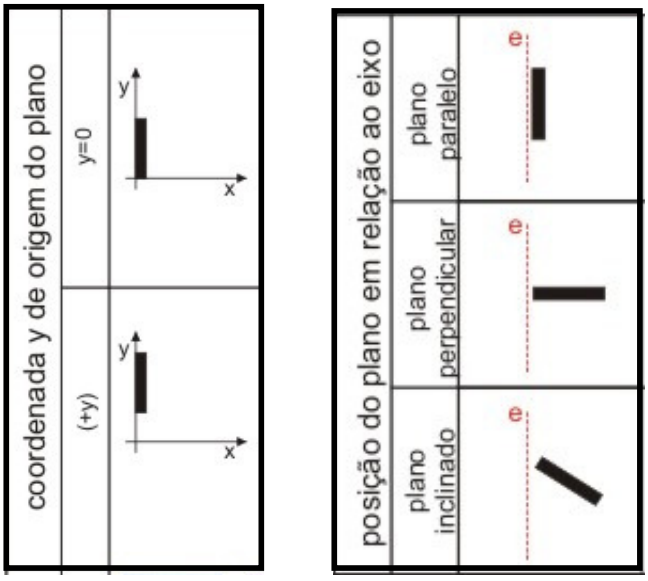


Figura 9. Coordenadas de origem do plano fotovoltaico e posicionamentos do plano fotovoltaico

Analisando-se a *posição do plano em relação ao eixo de rotação e translação* identificam-se três posições elementares do plano de captação em relação ao

alinhamento da fachada: plano paralelo, plano inclinado ou plano perpendicular ao plano de fachada (Figura 9). As relações geométricas, e características topológicas do material permitem estabelecer regras e parâmetros para diferentes localizações geográficas. Ou seja, conforme variações azimutais e de latitude o posicionamento dos painéis fotovoltaicos podem ser alterados.

As descrições sobre o sistema fotovoltaico identificam as características e restrições de sistemas de integração da tecnologia fotovoltaica (BIPV), assim como, demonstram as implicações compositivas e geométricas atreladas aos atributos fotovoltaicos. Ao caracterizar a tecnologia fotovoltaica introduz-se um paradigma que busca identificar os limites e relações entre os parâmetros tecnológicos e a forma arquitetônica.

O próximo capítulo trata da definição de processos de otimização geométrica, apresentados como métodos possíveis para a elaboração de ferramentas projetuais, que incorporam ciências computacionais, automatização de tarefas de desenho, exploração e geração de formas com base em parâmetros e restrições tecnológicas.

2. OTIMIZAÇÃO

Processos de otimização visam alcançar os melhores resultados, de uma operação determinada, enquanto satisfazem um conjunto de restrições. Os processos de otimização podem estar voltados tanto à maximização ou minimização de uma função (ANFLOR, 2007). Inicialmente, os problemas de otimização eram tratados como um problema mono-objetivo – transformando todos objetivos, exceto um, em restrições ou acrescentando todos objetivos em uma única função. O conceito de otimalidade mono-objetivo demonstrou-se inadequada para solucionar problemas complexos, surgindo assim, a noção de Pareto-ótimo. Conforme o conceito de Pareto-ótimo, problemas multiobjetivo possuem diversas soluções possíveis, correspondendo a diferentes ponderações entre os objetivos (HAFTKA e GÜRDAL, 1999). A inexistência de um ponto ótimo global, que atenda simultaneamente todos os objetivos, delimita a ideia de um conjunto de soluções eficientes. Tal conjunto pode ser determinado aplicando-se conceitos de relação de dominância e de Pareto-ótimo aos pontos que atendem as restrições.

Os algoritmos utilizados para a solução e problemas de otimização podem ser determinísticos ou probabilísticos. Algoritmos determinísticos geram soluções possíveis requerendo, na maioria das vezes, a primeira derivada da função objetivo (função de uma ou mais variáveis que se pretende otimizar) em relação às variáveis de projeto. Os algoritmos determinísticos receberam grande atenção da comunidade científica, porém, limitações em solucionar problemas de otimização com características de descontinuidade e modalidades distintas, estimularam o desenvolvimento de métodos estocásticos (probabilísticos). Os métodos baseados em algoritmos probabilísticos utilizam a função objetivo (*fitness function*), introduzindo no processo: dados e parâmetros aleatórios como, por exemplo, os algoritmos evolucionários. O potencial das técnicas de busca evolutiva e adaptativa, somente agora está se tornando aparente dentro do domínio de projetos de engenharia e arquitetura, embora os fundamentos da tecnologia tenham sido criados a cerca de trinta anos atrás (PARMEE in BENTLEY 1999).

A otimização evolucionária, ou generativa, pertence a um conjunto de métodos estocásticos (FASOULAKI, 2007) de busca – mono-objetivo ou

multiobjetivo – baseada no processo de evolução natural. Tem a capacidade de encontrar soluções ótimas globais, com alto grau de complexidade, além de na busca multiobjetivo, trabalhar com um conjunto de pontos a cada interação, permitindo várias amostras da fronteira Pareto, através de uma única execução do algoritmo.

Uma ferramenta computacional evolutiva – baseada em algoritmos genéticos – consiste na interação de uma população de indivíduos, aonde cada individuo representa uma solução do problema em questão (Alencar et al. 1997). Cada solução é avaliada, obtendo seu grau de aptidão – fitness – e posteriormente selecionam-se os indivíduos mais aptos, gerando assim uma nova população. Alguns indivíduos da nova população sofrem transformações através de operações genéticas como mutações, *crossover* e outras originando novas soluções. Após algumas gerações é possível observar a convergência em direção das "soluções ótimas". Os algoritmos genéticos, ou algoritmos evolutivos, fazem parte de um amplo grupo denominado estratégias generativas.

2.1 Estratégias Generativas

Estratégias generativos tratam de métodos de projeto que permitem a geração de famílias de objetos (FISCHER e HERR, 2001), ou seja, conjuntos de soluções potencialmente viáveis para um problema definido. Sistemas generativos diferem-se de abordagens tradicionais de projeto (Figura 10), pois o projetista, durante o processo projetual, elabora métodos para a produção de objetos (Figura 11), ao invés, de projetar diretamente o produto.

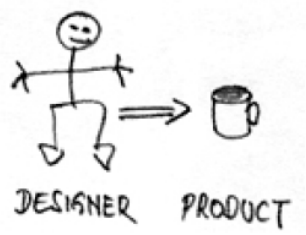


Figura 10 Abordagem tradicional de projeto
Fonte: FISCHER, T; HERR, C.M. *Teaching Generative Design*. Disponível em: <http://www.generativeart.com/on/cic/ga2001_PDF/fischer.pdf> Visitado em: 22 jun. 2010.

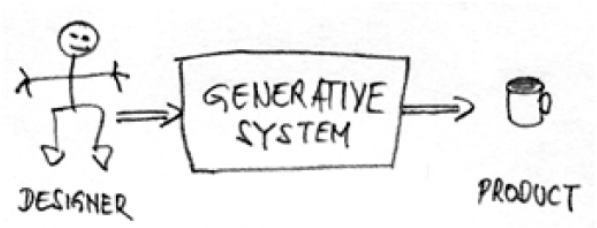


Figura 11 Abordagem de projeto por meio de um sistema generativo
Fonte: FISCHER, T; HERR, C.M. *Teaching Generative Design*. Disponível em: <http://www.generativeart.com/on/cic/ga2001_PDF/fischer.pdf> Visitado em: 22 jun. 2010.

Algorítmos genéticos operam com uma população de possíveis soluções, através de operações combinatórias, combinando dados e melhorando a gestão de projetos, sua construção e seu ciclo de vida; tornando- assim, uma ferramenta de otimização. Os edifícios contemporâneos que incorporam tais princípios de otimização dependem cada vez mais de modelos computacionais constituídos por bancos de dados, abordados como modelagem de informações de edifícios, conhecidos na língua inglesa como BIM (building information modeling).

Estratégias generativas são essenciais para a abordagem digital da forma e tecnologia. A integração entre projeto, análise e fabricação – muitas vezes complexa – firma-se com a utilização de tecnologias digitais, baseadas em um processo que implique em ciclos de realimentação do projeto, reforçando a tomada de decisão e desafiando as noções de como produzir, visualizar e analisar informações de produção e montagem.

As tecnologias digitais de modelagem geométrica constituem uma quebra no paradigma de expressão da forma, sendo na representação ou exploração da mesma. Segundo Eleftheria Fasoulaki (2007), a quantidade de informações e o nível de complexidade envolvida na maioria dos projetos contemporâneos é um dos principais problemas da arquitetura. Entre as estratégias generativas, os algoritmos genéticos oferecem uma solução eficaz para este tipo de problema, pois operam com uma população de possíveis soluções; como ferramenta de otimização ou ferramenta de geração de formulários. Como ferramenta de otimização, possibilitam a resolução de problemas construtivos bem definidos.

No âmbito computacional, algoritmo é um procedimento sistemático capaz de responder uma pergunta ou solucionar um problema, através de um número finito de

etapas. A utilização de um algoritmo para encontrar uma resposta projetual garante que o mesmo problema seja solucionado sempre da mesma maneira, disponibilizando soluções padronizadas. Através de um conjunto de elementos ou indivíduos, encontra-se aquele ou aqueles que melhor atendem as condições previamente definidas.

Os algoritmos genéticos (*Genetic Algorithms - GAs*) estão fundamentados no processo de seleção natural e reprodução genética, propostos por Charles Darwin em seu livro *A Origem das Espécies*. De acordo com a teoria darwinista, o princípio de seleção privilegia os indivíduos mais aptos (seres vivos com melhores características ou adaptabilidade), ou seja, com maior probabilidade de reprodução. Indivíduos com uma quantidade maior de descendentes têm mais chances de perpetuar seus códigos genéticos nas gerações futuras. Os códigos genéticos formam a identidade de cada individuo e estão representados nos cromossomos. Assim, as características positivas tendem a permanecer entre gerações ao longo do tempo e as características desfavoráveis tendem a ser extintas (BENTLEY, 1999). GAs empregam regras probabilísticas através de procedimentos de busca em um espaço de soluções determinado pelo arquiteto, com a finalidade de obter melhores de qualidade (FONSECA 2005).

Os algoritmos genéticos foram desenvolvidos por John Holland, na década de 70 na tentativa de explicar o processo adaptativo de sistemas naturais e assim, projetar sistemas artificiais baseados no sistema natural anterior (BENTLEY, 1999). Não é o primeiro algoritmo a utilizar os princípios da seleção natural e genética no processo de busca, no entanto é um dos algoritmos mais utilizados em problemas de otimização, podendo também ser empregado em problemas de classificação.

Os GAs constituem um método de busca e otimização para um determinado problema, através da evolução de populações, codificadas por cromossomos. O cromossoma, também chamado de genótipo, consiste na estrutura de dados que representa umas das possíveis soluções do problema. Os termos genótipo e fenótipo, introduzidos pelo geneticista Wilhelm Johannsen em 1909 fazem referência às partículas de hereditariedade de Mendel (MAYER 2003). Genótipo é a constituição genética do organismo ou conjunto de genes herdados, aonde o gene pode fazer uma contribuição máxima de aptidão através da elaboração da composição química (produto do gene) na quantidade e no momento em que se faz

necessária para o desenvolvimento (HOLLAND, 1992). Ou seja, o genótipo armazena as informações genéticas de um individuo, enquanto o fenótipo avalia e seleciona a população de acordo com sua aptidão.

Assim, os cromossomos são submetidos a um processo evolucionário, envolvendo a avaliação, seleção, recombinação e mutação. Após o cumprimento de vários ciclos evolutivos a população passa a conter indivíduos mais aptos. A busca pelas alternativas mais aptas respeita um conjunto de critérios, que são expressos pela função-objetivo, em inglês *fitness function* (FASOULAKI 2007).

Fonseca (2005) caracterizou algoritmo genético pela: representação cromossômica, iniciação da população, avaliação, seleção, reprodução e condição de parada.

A **representação cromossômica** consiste na codificação do ambiente do problema, através de uma sequência de símbolos, gerados a partir de um alfabeto finito. Cada sequência é chamada de cromossomo, ou indivíduo, e cada elemento da sequência chama-se gene.

A **iniciação da população** gera um conjunto de soluções iniciais, também chamada de população inicial. A população inicial deve cobrir a maior área possível do espaço de busca, reduzindo assim resultados indesejáveis para a solução global do problema.

Utiliza-se uma função objetivo para a **avaliação** dos indivíduos de cada geração, possibilitando que os indivíduos mais aptos tenham maior chance de sucesso na próxima etapa (seleção). A função objetivo é definida conforme o problema de otimização, levando em consideração todos os fatores determinantes para a solução do problema e fornecendo aos indivíduos da população o fator de adaptabilidade desses indivíduos ao ambiente.

A **seleção** consiste na escolha dos indivíduos da população anterior (pais) para a continuidade do processo. A seleção pode ser: elitista, estocástica e híbrida. Na seleção elitista somente indivíduos que atendem características previamente estabelecidas são selecionados. Pelo critério de seleção estocástica, progridem os indivíduos que apresentam maior adaptabilidade. E a seleção híbrida utiliza os dois processos, elitista e estocástico, para a escolha dos indivíduos.

Na fase de **reprodução** os indivíduos (pais) gerados anteriormente geram indivíduos (filho), formando assim uma nova geração que substitui os indivíduos inaptos da geração anterior. Isso se dá através dos operadores genéticos, como recombinação, mutação e clonagem.

A **condição de parada** estabelece o momento em que o algoritmo genético interrompe a execução do processo evolutivo. Ou seja, quando identificada uma condição satisfatória para a resolução do problema, o algoritmo cessa e apresenta a melhor resposta encontrada.

2.2 Otimização geométrica

A otimização geométrica, tanto do ponto de vista estético como funcional, é um problema complexo da formulação matemática e algorítmica. Adicionar requisitos funcionais torna o problema ainda mais difícil. "Qualquer ideal é apenas uma situação ótima dentro da conceituação do espaço do problema e a demarcação de condicionantes aplicados." [11] (POTTMANN et al. 2007). Kolarevic e Malkawi afirmam que a otimização aponta frequentemente para soluções mais eficientes ou estruturalmente minimizadas.

A otimização geométrica é ideal para determinados critérios e restrições (FISCHER, et al.,2006), lidando com problemas na computação de objetos geométricos. Para um problema de otimização – problema de maximização ou minimização – de função com uma ou mais variáveis, geralmente, existe um conjunto de restrições nas variáveis.

Formulado pelo matemático francês Joseph Louis Lagrange (1769) – mas nomeado somente em 1866 por Joseph Antoine Ferdinand Plateau – o *Plateau´s Problem* é um dos problemas de otimização geométrica para superfícies mais conhecidos (POTTMANN et al. 2007). *Plateau´s Problem* foi proposto inicialmente, por Lagrange, para ilustrar um método, nomeado cálculo das variações, visando o

[11] "Any optimum is only an optimum within the conceptualization of the problem space and the boundary conditions applied."

estudo de problemas de minimização de comprimento de curvas, área de superfícies, energia, entre outros. Entre 1843 e 1869, Joseph Plateau realizou experiências com películas de bolha de sabão sob a ação da tensão superficial, complementando os estudos de Lagrange. Em um dos experimentos Plateau tentou provar a existência de superfícies que minimizam áreas para um contorno, através da imersão de um contorno *C*, em água com sabão, resultando em uma superfície representada pelas bolhas de sabão (ARBIETO et al. 2003).

De uma perspectiva arquitetônica, algumas curvas, superfícies e malhas, podem ser obtidas para solucionar problemas de otimização geométrica. Sendo assim, sistemas generativos de projetos integrados a ambientes computacionais podem realizar a manipulação de superfícies, objetivando a otimização geométrica vinculada com o desempenho performático tecnológico, como é o caso da otimização fotovoltaica, objeto principal deste trabalho.

2.3 Otimização Fotovoltaica

A posição do sol em relação à Terra é fundamental para determinar o ângulo ideal para a instalação do painel fotovoltaico e para determinar eventuais sombras sobre o equipamento. O rendimento máximo de painéis fotovoltaicos é obtido através da incidência da radiação solar perpendicularmente ao plano do painel. Ou seja, o ângulo ideal para o painel é igual ao ângulo da altura solar, no entanto como a maioria dos sistemas fotovoltaicos são fixos, deve haver um equilíbrio em função da altura solar anual (Figura 12).

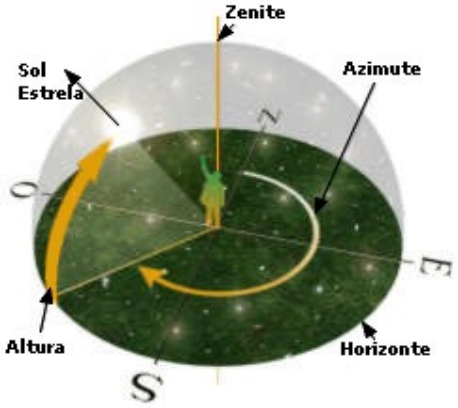


Figura 12 Posição do Sol
Fonte: Disponível em: < www.eletronica-pt.com/index.php/content/view/273/204> Visitado em 15 ago. 2011

O parâmetro mais influente na geração fotovoltaica é a irradiância, ou seja, a energia solar que o módulo recebe por unidade de tempo e superfície (CHIVELET e SOLLA 2010). A irradiância solar depende da altura do Sol e á calculada a partir de uma base horizontal. Devido à trajetória do Sol, a altura do Sol muda durante o dia e durante o ano (Figura 13).

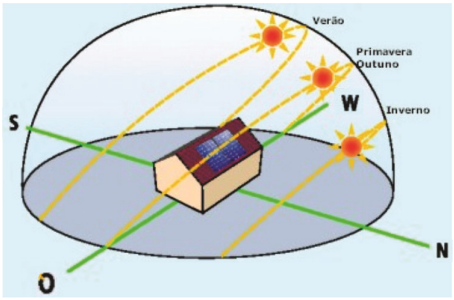


Figura 13 Trajetória Solar
Fonte: Disponível em: <www.eletronica-pt.com/index.php/content/view/273/204> Visitado em 15 ago. 2011

Analisando o movimento aparente do sol (ao longo do dia e do ano), os sistemas fotovoltaicos podem ser otimizados ao longo do dia e/ou ao longo do ano, ou otimizados perante uma média anual, mensal ou diária de incidência solar. A otimização da energia gerada por um painel fotovoltaico depende de um conjunto de fatores determinados pelas técnicas de instalação, pelas características dos

semicondutores utilizados e pela localização geográfica dos módulos. É importante destacar que a instalação de módulos fotovoltaicos podem ser fixos ou móveis, de acordo com a sua instalação, e rígidos ou flexíveis, conforme o semicondutor utilizado.

Os sistemas móveis podem ser otimizados, movimentando-se de modo a acompanhar o movimento aparente do sol durante o dia, durante o ano, ou ambos. No entanto, para promover movimentações diárias e/ou anuais, as instalações fotovoltaicas ocasionam o aumento de gastos energéticos, considerando que esses sistemas geralmente são automatizados. Sendo assim, este estudo aborda somente sistemas fixos, que também podem ser otimizados, considerando: a diminuição de gastos com movimentação e manutenção de sistemas mecânicos de articulação, e com a ponderação de médias anuais, determinando um ângulo ótimo para a exata localização geográfica.

O método de otimização é fundamental na busca pelo ponto ótimo para o problema definido (ALVAREZ, 2008). Sendo assim, o método de otimização fotovoltaica deve estar diretamente relacionado ao posicionamento dos planos fotovoltaicos (módulos) em relação à radiação solar; delimitando variáveis e restrições ao problema.

Neste estudo, os parâmetros que serão variados estão relacionados à dimensão e inclinação dos módulos fotovoltaicos, com o objetivo de otimizar as fachadas fotovoltaicas, sem perder variabilidade formal. As restrições preservam a integridade estrutural e funcional do edifício, viabilizando propriedades para a execução dos modelos propostos. O problema de otimização fotovoltaica abordado não é um problema linear, mas sim, um problema complexo, que compreende na definição de restrições e variáveis, avaliadas e representadas com o auxilio de tecnologias de modelagem digital, propostos para a cidade de Porto Alegre.

2.4 Otimização fotovoltaica – estudo de caso Porto Alegre

Considerando que o rendimento máximo de painéis fotovoltaicos é alcançado através da incidência perpendicular dos raios solares ao plano fotovoltaico, o parâmetro dominante na geração fotovoltaica é a irradiância, ou seja, a energia solar que o módulo recebe por unidade de tempo e superfície (CHIVELET e SOLLA 2010). A irradiação diária média anual sobre uma superfície horizontal em Porto Alegre é de 4457 Wh/m² (ZANESCO et al. 2004). Mediante divulgação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) a energia gerada por um módulo fotovoltaico – fixo – no hemisfério sul costuma ser máxima para uma orientação norte e uma inclinação do painel similar à latitude do local.

Considerando um edifício localizado em Porto Alegre, latitude 30° S, verifica-se uma variação de ângulos para cada fachada, com baixo índice de perdas anuais de irradiação. A fachada norte é o plano vertical mais propício para a implementação do sistema fotovoltaico, com uma inclinação de 30° ao norte, os painéis não possuem perdas anuais de irradiação. Ponderando uma variação de aproximadamente 12° a 50° na inclinação dos painéis, as perdas anuais alcançam, somente, 4% (Figura 14).

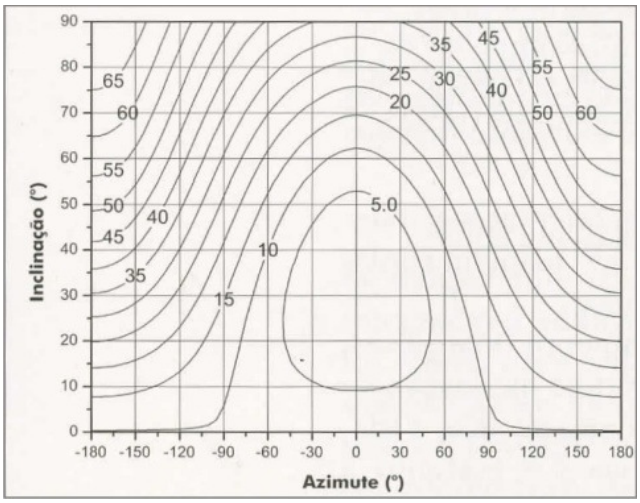


Figura 14. Diagrama de perdas anuais de irradiação de um módulo fotovoltaico, calculado para Porto Alegre, em função do ângulo azimutal (0° corresponde ao norte) e da inclinação do módulo fotovoltaico .
Fonte: CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Bookman, Fernández; Tradução: Alexandre Salvaterra. Técnicas de vedação Fotovoltaica na Arquitetura. Porto Alegre: 2010.

As fachadas leste e oeste (ângulo azimutal 90º e -90º) com inclinações variando entre 10° e 40º, compreendem a uma porcentagem de perdas anuais de irradiação entre 10 e 19%. Também é possível observar que, para inserção de elementos fotovoltaicos na fachada sul – ângulo azimutal 180 –, o painel plano, sem inclinações, atribui à menor perda anual de irradiação possível: 10% (Figura 15).

Tendo como base uma inclinação mínima de 10° de inclinação dos painéis para efeito de limpeza e seu funcionamento adequado, a fachada sul passaria a ter mais de 15% de perdas anuais de irradiância. Ponderado o custo benefício de sistemas fotovoltaicos é conveniente priorizar a implementação na fachada norte e posteriormente as fachadas leste e oeste (RÜTHER 2004). Observa-se, porém, que uma inclinação de 15º resulta em perdas máximas em torno de 20% em qualquer orientação, inclusive sul.

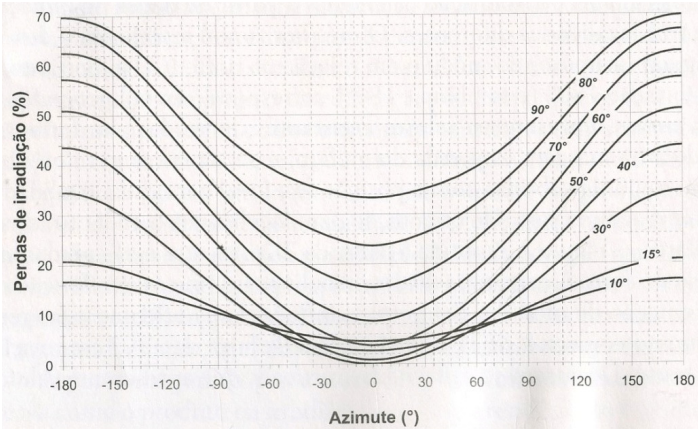


Figura 15. Curvas de perdas anuais de irradiação para diferentes inclinações, em função da orientação solar (azimute) de Porto Alegre.
Fonte: CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Bookman, Fernández; Tradução: Alexandre Salvaterra. Técnicas de vedação Fotovoltaica na Arquitetura. Porto Alegre: 2010.

O modelo vigente para a inserção de elementos fotovoltaicos tanto no plano vertical como no plano horizontal de edificações, baseiam-se em parâmetros e restrições gerais, impostos pelas médias anuais de incidência solar, que determinam uma média geral para a inclinação dos painéis solares aproximada da latitude do local (CHIVELET e SOLLA 2010). Sendo assim, para a cidade de Porto Alegre, localizada na latitude 30°, é indicado a angulação dos painéis solares em torno de

30° em qualquer situação (fachada ou cobertura), do quadrante norte. Frente à questão da otimização fotovoltaica, o próximo capítulo define e caracteriza tecnologias de modelagem digital, demonstrando como o design paramétrico e o design integrado ao conceito de desempenho pode contribuir para o método de otimização geométrica de dispositivos de fachada fotovoltaica.

3. TECNOLOGIAS DE MODELAGEM GEOMÉTRICA DIGITAL

3.1 Computational Design

> O *computational design* é uma área de pesquisa que procura desenvolver, por um lado, uma teoria computacional do processo de projeto apoiada nas ciências cognitivas, e, por outro, métodos e aplicações que permitam o desenvolvimento de projetos com o uso de meios computacionais. [12]

A partir do movimento dos métodos de projeto em 1960 e investigações sobre processos projetuais o computador passou a ser incorporado no trabalho do arquiteto de maneira eficiente e benéfica (CELANI in MITCHELL, 2008), sendo denominado *design computing*.

Design computing é uma maneira de pensar sobre o projeto de maneira lógica e matemática. A palavra em inglês *computation* refere-se ao processamento de informações, "desde a realização de operações elementares até o estudo do raciocínio humano" (CELANI, 2006). A evolução do design digital como um campo único, motivada pelo próprio corpo de fontes teóricas e apoiado pelas novas tecnologias vem desenvolvendo-se rapidamente. As produções literárias, conferências, concursos, exposições e obras da década de 1990 serviram como catalisadores para a formulação do discurso teórico do *digital design* (OXMAN, 2005).

Com os avanços tecnológicos das últimas décadas, os programas computacionais passaram a fazerem-se presentes em quase todas as etapas do processo projetual do arquiteto, determinando a dependência dos sistemas CAD – *computer-aided design, cuja tradução é projeto assistido por computador*. Contudo, a grande maioria dos profissionais utiliza métodos tradicionais e emprega o computador simplesmente como suporte e representação; dispensando o grande potencial existente em sistemas CAD para realização de tarefas repetitivas na geração de alternativas.

---

[12] CELANI, Gabriela. Em prefácio da tradução: MITCHELL, William. *A lógica da arquitetura*. Campinas: editora da Unicamp, 2008.

O uso de tecnologias de desenho assistido por computador abriram novas possibilidades de desenho que tem modificado a expressão da arquitetura e do design (SCHODEK, et al.,2005), através da modelagem geométrica digital. Além de proporcionar a modelagem de formas complexas, os recursos computacionais permitirama introdução da fabricação digital no âmbito da construção civil. Máquinas de controle numérico, utilizadas na fabricação de aviões e na indústria automobilística passaram a ser utilizados também na fabricação de componentes destinados a contrução civil.

Antes do surgimento da arquitetura digital (desenho assistido por computador), as potencialidades formais, em grande parte, eram uma extensão direta dos limites da geometria euclidiana (linhas, círculos, quadriláteros e outros). A introdução de modelos digitais na concepção arquitetônica promoveu certo afastamento da geometria euclidiana dos volumes elementares representados no sistema cartesiano e possibilitou a utilização da geometria das curvas e superfícies contínuas (KOLAREVIC 2003), representadas em mídias tridimensionais e multidimensionais, em destaque na arquitetura contemporânea (Figura 16).

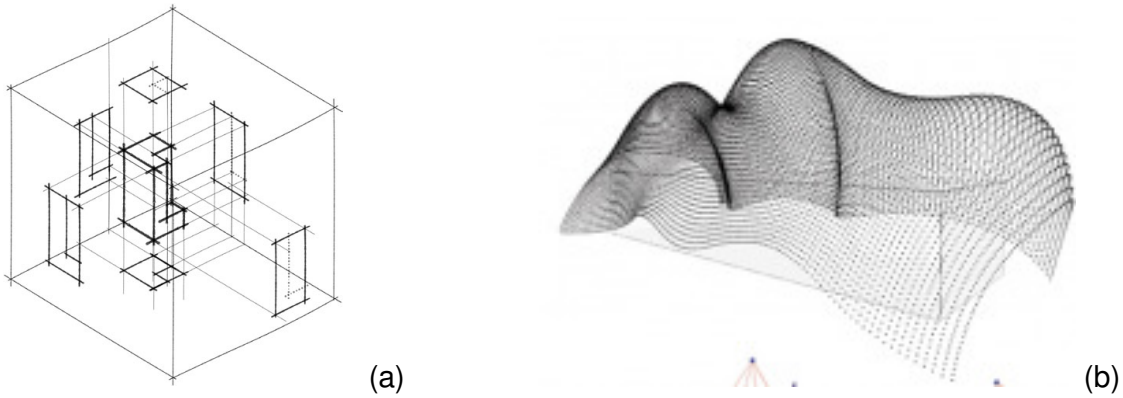


Figura 16 Representação de um volume elementar no sistema cartesiano (a) e representação de superfícies curvas em modelos digitais (b)
Fonte: (a) Disponível em <http://dedsign.wordpress.com> Visitado em: 21 jul. 2010
(b) Disponível em: <http://digitalsubstance.wordpress.com> Visitado em: 21 jul. 2010

Mitchell e McCullough (1995) classificam as entidades geométricas através da **mídia unidimensional**, caracterizada basicamente por palavras, textos e sons; **mídia bidimensional**, representada através de imagens, linhas, polígonos, planos e mapas**; mídia tridimensional**, por linhas no espaço, superfícies, rendenizações e

montagem de sólidos ou **mídia multidimensional**, caracterizada por animações, modelos de movimentação e hipermídia.

A modelagem geométrica em softwares tridimensionais pode ocorrer através de **modeladores sólidos**, **modeladores de superfície** ou **modeladores híbridos** (SOUZA e COELHO, 2003). Modeladores de sólidos permitem a geração de objetos tridimensionais sólidos, com centro de gravidade e volume, podendo realizar operações booleanas (intersecção, soma, subtração), porém não são adequados para modelamento de formas complexas. Os modeladores de superfícies utilizam operações matemáticas complexas, conhecidas como funções *Spline* – curvas definidas por dois ou mais pontos de controle, facilmente manipuláveis – gerando superfícies sem espessura e sem uso de operações booleanas. Os modeladores híbridos empregam complexos algoritmos matemáticos, combinando modeladores de sólidos e modeladores de superfícies de maneira direta e integrada.

Devido ao envolvimento deste trabalho com modeladores híbridos, descrevem-se os componentes geométricos necessários para estabelecer, de maneira integrada os processos de otimização da forma e captação de radiação solar.

3.1.1 Funções *Splines*

Operações matemáticas, conhecidas como funções *Spline*, estão usualmente, sendo utilizadas para a modelagem de superfícies em programas como *Rhinoceros* e Maya. As *Splines* tornaram-se base para a descrição em programas de modelagem gráfica, gerando linhas e superfícies a partir do posicionamento de dois ou mais pontos de controle no espaço virtual (WOODBURY, 2010).

A curva *Spline* desenhada através de qualquer conjunto de pontos resulta em uma curva suave, podendo modificar sua curvatura gradualmente, sem torções e produzindo uma relação linear entre tensão e deformação da curva (MORTENSON, 1985). Uma curva *Spline* é moldada pelo peso – chamado “ducks” – de cada ponto de controle, podendo variar sua posição e número (ROGERS e ADAMS, 1976).

3.1.2 Curva de *Bézier*

Devido ao controle da forma de curvas *Spline* ser pouco intuitivo e eficiente para o desenho de algumas curvas com maior grau de complexidade (ROGERS e ADAMS, 1976), em 1960, Pierre Bézier – integrante da empresa automobilística francesa Renault e familiarizado com o trabalho de Ferguson, Coons e técnicas de interpolação de curvas paramétricas cúbicas e superfícies bicúbicas – desenvolveu o sistema "*Unisurf*", do qual as superfícies e curvas recebem seu nome (MORTENSON, 1985).

Curva *Bézier*, caracterizada por pontos de controle, ordem e grau de um polígono de controle (Figura 17), é o tipo mais simples de forma livre curva (WOODBURY, 2010). Cada ponto em uma curva de Bézier é calculado como uma soma ponderada de todos os pontos de controle. Isto significa que a curva *Bézier* é influenciada por cada ponto de controle (ROGERS e ADAMS, 1976). O primeiro ponto de controle tem um impacto máximo no início da curva, o segundo atinge o seu máximo na primeira metade da curva e assim por diante. Cada ponto de controle influência a curva final atribuída de acordo com a função (*blending*)**.** A função define o peso do ponto de controle em cada ponto da curva. Um valor "0" indica que o ponto de controle não está afetando um ponto na curva. Se a função atinge "1", a curva, geralmente, intercepta o ponto de controle.

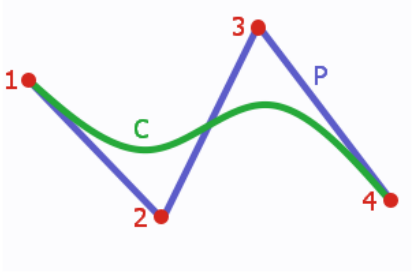


Figura 17. Curva de Bézier (C) com o polígono de controle (P) e pontos de controle (1, 2, 3, 4)
Fonte: Disponível em: <http://www.rw-designer.com/NURBS>. Visitado em: 28 ago. 2010.

Curvas *Bézier* pertencem a uma classe muito útil de curvas realizadas a partir de polinômios[13]. E tem sua ordem determinada pelo número de vértices no polígono de controle (WOODBURY, 2010), ou seja, uma curva *Bézier* de ordem 4, possui quatro pontos no polígono de controle.

3.1.3 Curvas B-Spline

Uma curva gerada utilizando-se os vértices de definição de um polígono depende de algum esquema de interpolação ou aproximação para estabelecer a relação entre curva e polígono (ROGERS e ADAMS, 1976). A maioria das técnicas de definição de curvas ("*curve-defining*") não prevê o controle local da forma, propagando as alterações locais durante toda a curva. A B-Spline evita este problema utilizando um conjunto de funções de mistura ("*blending functions*") que influência apenas o local, dependendo de alguns pontos de controle adjacentes (MORTENSON, 1985).

A *B-Spline*, assim como a curva *Bézier*, é definida por um polígono de controle (WOODBURY, 2010). A *B-Spline* é composta por vários arcos Bézier (Figura 18) e fornece um mecanismo unificador de como definir a continuidade das intersecções (MORTENSON, 1985).

Figura 18. B-Spline composta por arcos Bézier.
Fonte: Disponível em: <http://www.rw-designer.com/NURBS>. Visitado em: 28 ago. 2010

[13] Polinômio é a soma de monômios, sendo monômio o produto de constantes e variáveis elevado a exponentes inteiros e positivos.

B-Splines utiliza condições externas para colocar várias peças juntas, mantendo o conceito original de pontos de controle. As curvas adjacentes compartilham alguns pontos de controle e as condições externas são implícitas (curvas uniformes) ou explícitas dadas pelo vetor do nó. O vetor do nó define a quantidade de informações que deve ser compartilhada pelas curvas adjacentes (segmentos).

3.1.4 Curvas e Superfícies NURBS

Na vanguarda digital, as superfícies altamente curvilíneas são descritas matematicamente como NURBS, *Non-Uniform Rational B-Splines*, traduzido para a língua portuguesa como Linha de Base Racional Não-Uniforme. NURBS é um dos métodos mais populares e bem sucedidos para desenhar superfícies complexas em desenho geométrico assistido por computador (*Computer Aided Geometric Design*) e computação gráfica (Hu, et al., 2001). Com a introdução de recursos NURBS no início dos anos 1990 geraram-se novas possibilidades de expressão da forma contínua e orgânica. Os modelos digitais incorporaram a geometria topológica[14], através de curvas de terceiro grau, permitindo a geração de superfícies contínuas e suaves.

As curvas e superfícies NURBS admitem facilmente o controle da sua forma, através da manipulação dos pontos de controle, mudança dos nós ou mudança de peso (Hu, et al., 2001), também chamado de grau (Figura 19). NURBS permitem formas heterogêneas, e igualmente coerentes, devido à computação digital e sua construção é viabilizada por meio de máquinas de controle numérico (CNC) (KOLAREVIC 2003).

[14] Geometria topológica é um ramo da matemática que estuda a continuidade das formas.

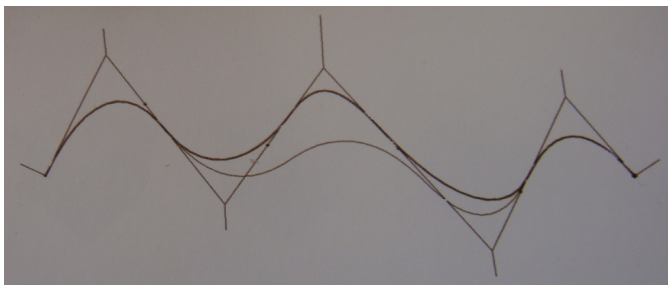


Figura 19. A forma de uma curva NURBS pode ser alterada interativamente, manipulando pontos de controle, pesos e nós.
Fonte: KOLAREVIC, Branko. Architecture in the digital age: design and manufacturing. New York: Taylor & Francis, 2003

Curvas NURBS são curvas *B-spline* com um vetor nó não uniforme (POTTMANN, et al.,2007). Se definirmos uma curva NURBS em um espaço de dimensões *d,* igualmente, pode-se dizer que é uma projeção central de uma curva *B-spline* regular localizada em um espaço de dimensões *d+1*. Uma curva NURBS pode ser definida através de três aspectos: grau, pontos de controle e nós. **Grau** refere-se a um número inteiro positivo. Linhas e polilinhas NURBS geralmente são de grau 1, círculos NURBS grau 2 e formas livres comumente são de grau 3 ou 5. Através da movimentação dos **pontos de controle e do grau** é possível mudar a forma de uma curva ou superfície NURBS (Figura 20). Os pontos de controle associam pesos, geralmente representados por números positivos. Os **nós** são uma lista de graus + N – 1. Onde N é o número de pontos de controle. Esta lista de números também pode ser chamada de vetor nó, porém, o termo vetor, neste caso, não significa direção 3D. O número de vezes que o valor de um nó é duplicado é chamado de nó de multiplicidade.

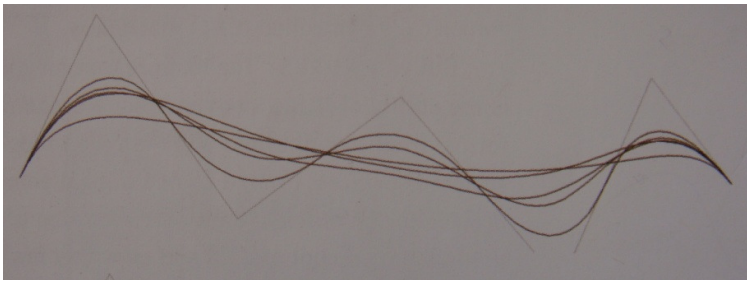


Figura 20. Variando o grau de uma superfície NURBS é possível obter diferentes formas
Fonte: KOLAREVIC, Branko. Architecture in the digital age: design and manufacturing. New York: Taylor & Francis, 2003

A definição de superfícies NURBS é a extensão direta de curvas NURBS. Uma grade de controle conecta os pontos de controle que circundam a superfície. Cada ponto de controle da superfície associa-se a um parâmetro de peso, e os nós controlam a distribuição de influência local. Ou seja, a forma de superfícies NURBS pode ser manipulada da mesma maneira que em curvas NURBS.

Segundo Kolarevic (2003) uma das propriedades de um objeto NURBS, do ponto de vista conceitual, é a sua definição dentro de um espaço paramétrico "definido" (*local parametric space*), situado em um espaço cartesiano tridimensional. O espaço paramétrico é um espaço geométrico unidimensional, embora as curvas existam em um espaço geométrico tridimensional. A unidimensionalidade das curvas é definida em um nível topológico por um único parâmetro normalmente referido como "U". As superfícies possuem duas dimensões no espaço paramétrico, frequentemente identificadas por "U" e "V". Curvas isoparamétricas ("isoparms") são utilizadas para auxiliar na visualização de superfícies NURBS através das direções "U" e "V" (Figura 21).

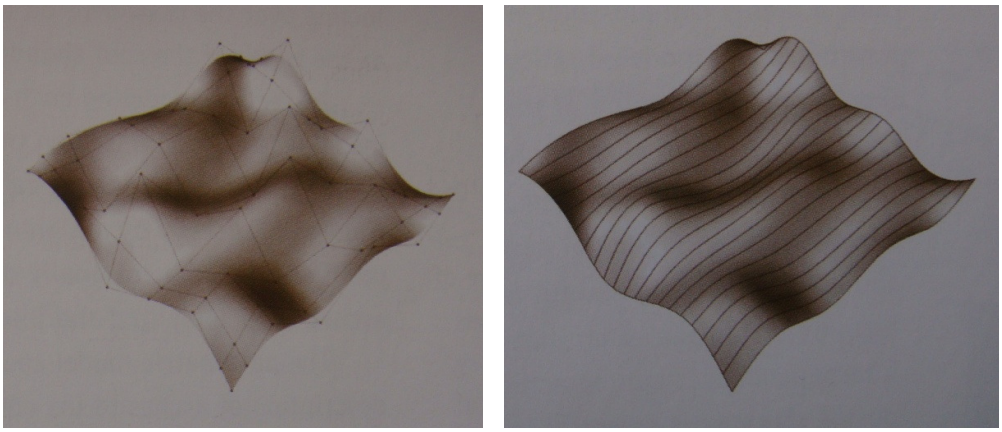


Figura 21. Malha de controle de uma superfície NURBS e Contornos isoparamétricos (direção "U") sup. NURBS
Fonte: KOLAREVIC, Branko. Architecture in the digital age: design and manufacturing. New York: Taylor & Francis, 2003

No campo computacional, NURBS prevê uma eficiente representação de dados para formas geométricas, utilizando uma quantidade mínima de dados e passos de programação. NURBS equivalem digitalmente à elaboração de *Splines*

utilizadas no desenvolvimento das curvas em fuselagens de aviões e cascos de navios (KOLAREVIC 2003).

3.1.5 Malha

Segundo Pottmann (2007), malha é um conjunto de pontos (vértices), organizados por elementos básicos (faces); sendo as faces, delimitadas por polígonos. Para Barison (2005), malha é um espaço aberto entre nós de uma rede. Sendo assim, os vértices situados em um plano, interligam-se por segmentos de reta, tornando os espaços livres entre vértices, polígonos planos. Os polígonos podem ser um triângulo, quadrilátero, hexágono, entre outros (Figura 22).

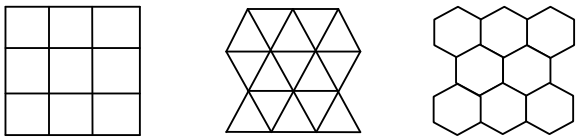


Figura 22. Malhas regulares

A malha triangular é densa, contendo um grande número de vértices em uma área finita, o que pode ser avaliado considerando-se o somatório das áreas das figuras em torno de um nó. A malha quadrada não possui grande estabilidade, podendo ser facilmente deformada em um paralelogramo. Em contraponto, a malha hexagonal apresenta facilidade de adaptação de formas curvas, sendo estas, curvas planas ou espaciais. Um hexágono isoladamente possui menor índice de estabilidade que um quadrado. Porém, quando o hexágono configura uma malha, torna-se tão rígido quanto à malha triangular.

3.1.6 Transformações geométricas

Transformações baseadas em princípios matemáticos podem alterar a geometria de uma forma. O uso de deformações pode ser vista como uma maneira conveniente de realizar mudanças em um projeto ou em parte dele. As modificações da forma podem ser promovidas através de deformações de forma livre, que expendesse para curvas e superfícies de forma livre (através do ajuste interativo dos pontos de controle), assim como por transformações bidimensionais ou ainda, transformações tridimensionais (POTTMANN, et al.,2007).

A capacidade de representar ou exibir objetos tridimensionais é fundamental para compreender a forma dos objetos (ROGERS e ADAMS, 1976). Muitas das transformações não-lineares simples baseiam-se em camadas tridimensionais. As deformações são baseadas em “cortar” um objeto com planos paralelos reorganizando as camadas de maneira a elaborar um novo objeto. As camadas obtidas através de transformações sistemáticas do novo objeto podem resultar do deslocamento e, até mesmo, do fator escala das camadas. As transformações tridimensionais não-lineares mais comuns são: *twist*, *taper*, *shear* e *bulge*.

O termo inglês *twist* é uma deformação geométrica de torção, onde se define um plano fixo e uma linha reta, também chamada de eixo de torção (Figura 23). A operação de torção é realizada através da rotação em torno do eixo, deformando, assim, o objeto (POTTMANN, et al.,2007).

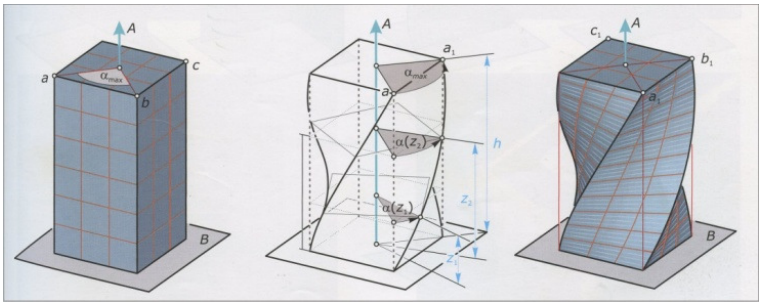


Figura 23. Twist deformation
Fonte: POTTMANN, Helmut; ASPERL Andreas; HOFER, Michael; KILIAN, Axel. Architectural Geometry. Bentley Institut Press, 2007.

Tapering é outro tipo de deformação tridimensional da forma. Define-se um plano de referência e um eixo ortogonal, dos quais todos seus pontos permanecem fixos sob *tapering* (POTTMANN, et al.,2007). O objeto é modificado realizando transformações de escala em planos paralelos ao plano fixo (Figura 24). Semelhante à torção, um aporte adicional é a possível transformação dimensional para aplicação no plano superior. Para isto, especificam-se duas direções ortogonais e seus fatores de escala correspondente. A partir disto, os fatores de escala utilizados para as camadas entre o plano fixo e o plano móvel são feitas automaticamente.

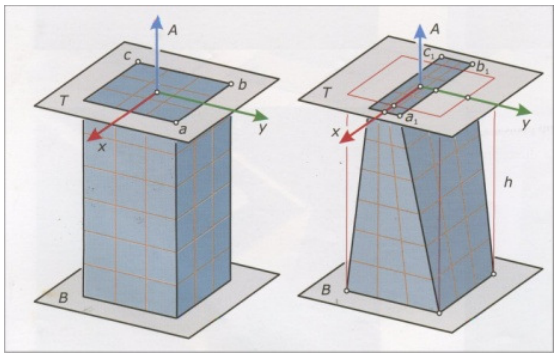


Figura 24. Tapering deformation
Fonte: POTTMANN, Helmut; ASPERL Andreas; HOFER, Michael; KILIAN, Axel. Architectural Geometry. Bentley Institut Press, 2007

*Shear deform*ation ou deformação por cisalhamento é outra técnica de transformação tridimensional, onde fatias (planos paralelos) são transformadas (POTTMANN, et al.,2007). Como já visto, o *twisting* rotaciona as fatias, o *tapering* escala as fatias, enquanto o *shear* aplica translações nas fatias (Figura 25). Ao contrário das demais deformações, o eixo das deformações por cisalhamento modifica-se, sendo determinada unicamente pela mudança do eixo.

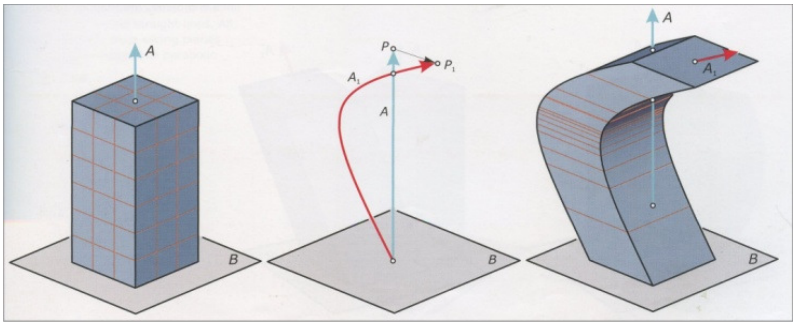


Figura 25. Shear deformation
Fonte: POTTMANN, Helmut; ASPERL Andreas; HOFER, Michael; KILIAN, Axel. Architectural Geometry. Bentley Institut Press, 2007.

A *bending deformation* ou, em português, deformação por flexão é uma operação em que a orientação das fatias é modificada (POTTMANN, et al.,2007). Neste tipo de operação, o eixo é modificado e as fatias são reajustadas em planos normais ao novo eixo (Figura 26).

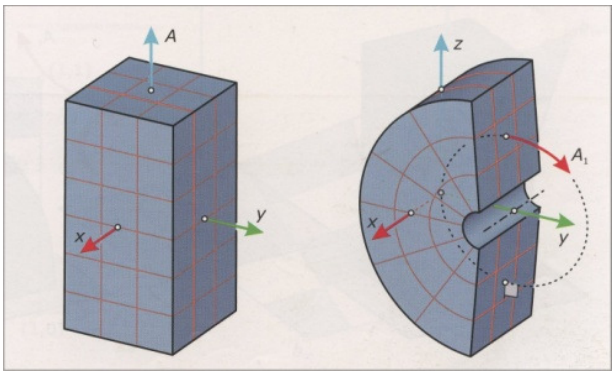


Figura 26. Bending deformation
Fonte: POTTMANN, Helmut; ASPERL Andreas; HOFER, Michael; KILIAN, Axel. Architectural Geometry. Bentley Institut Press, 2007.

A definição dos princípios geométricos e modelagem geométrica digital permitem compreender o funcionamento de métodos de projeto paramétrico, que utilizam parâmetros e valores para definir uma forma e as relações entre os elementos da mesma. O design paramétrico e o performativo – descritos na próxima seção – sugerem o monitoramento e aferição das relações e interações entre objetos e o meio, durante e após o projeto, permitindo a estruturação de procedimentos de otimização.

3.2 Design Paramétrico

> "(...) na natureza, parâmetros são utilizados na geração de formas diferentes, porém com as mesmas características fundamentais. Isso permite a geração de uma grande quantidade de indivíduos com características próprias, porém definidos por uma mesma 'fórmula'." [15]

Equações expressas através de parâmetros, cujos valores são atribuídos a uma determinada variável, admitem o cálculo de diversas soluções para um problema (CELANI, 2003). O design paramétrico envolve elementos cuja variação de valor modifica a solução de um problema, sem modificar sua natureza (NATIVIDADE, 2010). Variável é o "recipiente" que armazena os dados (WOODBURY, 2010) permitindo que um projeto seja expresso por uma coleção de valores. Quando atribuído valores específicos para os parâmetros, eventos particulares são criados a partir de uma gama infinita de possibilidades (KOLAREVIC, 2003).

O uso de parâmetros para definir uma forma e as relações subjacentes entre os elementos da mesma caracterizam o design paramétrico (WOODBURY, 2010). Um conjunto de equações estabelece relações entre objetos mantidos, enquanto elementos podem ser modificados independentemente. Quando à interdependência entre objetos é estabelecida, o comportamento dos objetos sob transformação é definido eficientemente (PROUSALIDOU, 2006). Em procedimentos paramétricos as relações e interações entre objetos podem ser revistas e monitoradas durante e após o processo projetual, permitindo assim, a otimização do processo projetual e/ou de seus componentes.

O projeto paramétrico é ajustado quando um ou mais elementos tem seus valores modificados (LEE e BEAURECUEILI, 2009). Softwares que permitem esse tipo de desenho proporcionam a ampliação de alternativas de projeto e potencializam a rapidez de visualização do modelo. O desenho paramétrico permite a exploração e visualização de múltiplas soluções, auxiliando a tomada de decisões.

---

[15] CELANI, Gabriela. *Cad criativo*. Rio de Janeiro: editora campus, 2003.

Para Woodbury (2010), a modelagem paramétrica, ou modelagem de restrições, introduz uma mudança fundamental no processo projetual, relacionando e alterando informações de projeto, de maneira coordenada. Existem diferentes tipos de sistema paramétrico, onde cada um possui suas próprias características e implicações, definidas por uma abordagem de resolução de restrição do projeto – expressa anteriormente a sua solução (WOODBURY, 2010). Alguns exemplos de sistemas paramétricos são: gráficos baseados na representação de objetos (a); tentativas de resolver um gráfico determinado, subdividindo o problema em partes facilmente solucionáveis (b); lógica baseada na descrição de problemas como axiomas, sobre os quais a busca por soluções ocorre através da aplicação de regras de interferência (c); abordagem algébrica traduzindo um conjunto de restrições em um sistema não-linear de equações (d).

O uso de padrões – entende-se por padrão, uma solução genérica para um determinado problema – é uma “ótima ferramenta para utilizar a modelagem paramétrica” (Woodbury, 2010), pois é um dispositivo eficiente na sistematização e explicação de projetos. O emprego de padrões para pensar e trabalhar pode ajudar arquitetos e designers a dominar novos níveis de complexidade impostos pela modelagem paramétrica, devido às estruturas simbólicas semelhantes que os padrões possuem.

A descrição paramétrica é suficientemente flexível para representar curvas e superfícies complexas, assegurando resultados otimizados e até dez vezes mais rapidez, do que proporcionado por método empírico, ou seja, processos de tentativa e erro. Burry (2003) exemplifica a flexibilidade e eficiência da geometria associativa, aplicando técnicas paramétricas na análise das superfícies utilizadas por Antonio Gaudi na Igreja da Sagrada Família.

O estabelecimento dos princípios paramétricos e a criação de um modelo, que inclui os elementos geométricos definidos por suas variáveis mutáveis, são exigências fundamentais para projetar com parâmetros. Os parâmetros são aspectos projetuais traduzidos em números, que por sua vez são conectados às entidades geométricas do modelo digital. As entidades podem ser conectadas entre si, estabelecendo relações geométricas entre objetos (NATIVIDADE 2010).

Através de sistemas paramétricos e generativos, é possível gerar diversas soluções com potencial para aferição. Pesquisas baseadas em design paramétrico

e algoritmos genéticos vêm sendo desenvolvidas na aplicação de técnicas de otimização computadorizada para o desenho de edifícios com baixo consumo energético, como uma ferramenta de projeto para arquitetos e engenheiros. Ferramentas desta competência estão sendo utilizadas por Rémi Charron e Andreas Athienitis no *Natural Resources Canada*, chamada de *"Use of Genetic Algorithms for a Net-zero Energy Solar Home Design Optimisation Tool".* Projetos conduzidos por parâmetros lumínicos vêm sofrendo experimentações no campo projetual da modelagem paramétrica. Um exemplo disto é a torre proposta pelo *Studio Hadid* [16]; uma configuração urbana para Dubai, projetada por Maren Klasing, Martin Krcha, Manuel Froeschl e Konrad Hofmann, levando em consideração princípios da Gestalt. O edifício relaciona campo-figura sobrepondo variáveis ambientais e expressões da superfície proposta. O modelo paramétrico criado pelo *Studio Hadid* é conduzido por seis parâmetros principais; respeitando a geometria aplicada, condições de iluminação, assim como, parâmetros de permeabilidade visual que provocam a conformação de cortes e continuidades entre os elementos da fachada (Figura 27).

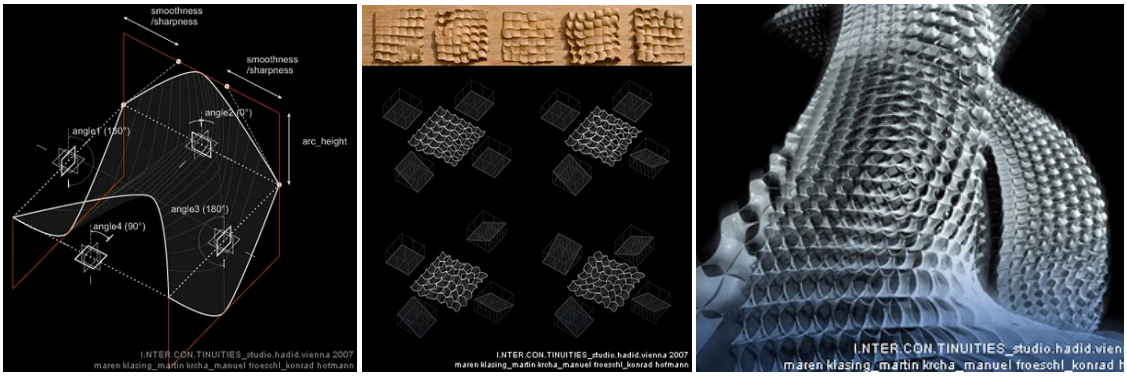


Figura 27. INTER.CON.TINUITIES. Modelo paramétrico desenvolvido pelo Studio Hadid
Fonte: Disponível em: <http://www.futurearchitecture.eu/2007/12/intercontinuities.html> Visitado em: 18 set. 2010

A *Parametric Skin*[17] ou Pele Paramétrica é outro exemplo de sistema paramétrica: projetada por Oliver Dibrova, a instalação experimental, *Parametric Skin*, é uma pele proposta para um edifício comercial existente localizado em

[16] Simultanety e Latency, Studio Hadid. Disponível em: <http://www.futurearchitecture.eu/2007/12/intercontinuities.html> Visitado em: 18 set. 2010.
[17] Parametric Skin. Oliver Dibrova. Disponível em <http://www.oliverdibrova.com/blg/?p=423> Visitado em 12 out. 2010.

Stuttgart, elaborado no software de modelagem paramétrica desenvolvido pela Bentley, *Generative Components.* A forma final dos elementos de fachada é controlada por parâmetros externos, como a incidência de raios solares e áreas sombreadas, e parâmetros internos como a função (programa) e requisitos de transparência necessários (Figura 28). Experimentações acadêmicas de fachadas paramétricas vinculando parâmetros de conforto térmico e lumínico, também vêm sendo conduzidas por estudantes de mestrado em arquitetura da Universidade de ETH em Zürich, como é o exemplo do trabalho desenvolvido por Shih-Yuan Wang, através do modelador paramétrico Digital Project/Catia – Gehry Technologies (Figura 29).

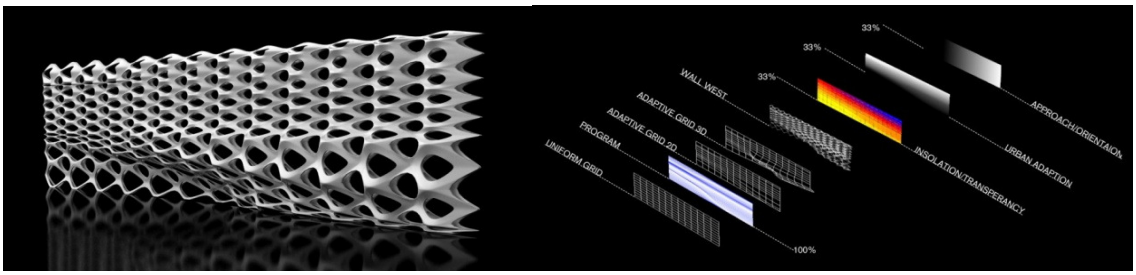


Figura 28. Parametric Skin
Fonte: Disponível em <http://www.oliverdibrova.com/blg/?p=423> Visitado em 12 out. 2010.

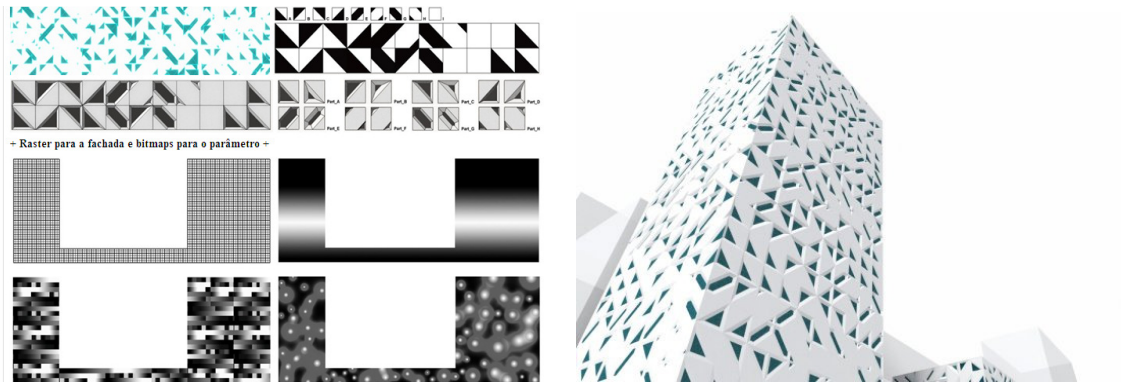


Figura 29. Parametric facades
Fonte: Disponível em:
<http://www.caad.arch.ethz.ch/uploads/MAS0708Students/SW_2008Portfolios.pdf > Visitado em 05 set. 2010.

Processos que utilizam o design paramétrico e performativo estão cada vez mais viáveis devido à eficácia, rapidez e flexibilidade das ferramentas para simulação, análise e modelagem de edifícios. O termo *Performative Design*

relaciona-se ao desempenho do edifício (LEATHEARBARROW in KOLAREVIC e MALKAWI 2005), a partir de parâmetros e atributos pré-definidos para o comportamento térmico, acústico, lumínico, estrutural entre outros.

O projetista que utiliza o conceito de *performative design* considera, necessariamente, a integração do desempenho do edifício com todos os outros aspectos de desenho da forma. Não se trata, portanto da simples adequação dos critérios de desempenho através da manipulação da forma, e sim considerando a aferição e avaliação do modelo desde o início do desenvolvimento de projeto.

Avaliações simulando aspectos quantitativos e qualitativos, como, fatores sociais, culturais, geográficos, tecnológicos (LEATHEARBARROW in KOLAREVIC e MALKAWI 2005) fazem parte das decisões projetuais. Portanto deve haver um diálogo, simultâneo e interativo, entre o comportamento da forma e sua manipulação, ao longo de todo o processo projetual, estabelecendo processos de otimização da forma e dos parâmetros tecnológicos – como os dispositivos solares de fachada.

Frente às questões abordadas nas três seções inciais – tecnologias fotovoltaicas, otimização e modelagem geométrica digital – estrutura-se, no próximo capítulo, procedimentos para a otimização de planos de fachada para a instalação de dispositivos solares .

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento desenvolvido nesta pesquisa tem como objetivo aplicar uma metodologia de projeto para a geração de superfícies de fachada fotovoltaica, visando à otimização geométrica através de um procedimento de integração de softwares de modelagem geométrica, simulação de radiação solar e rendimento fotovoltaico.

Associando ambientes computacionais de modelagem geométrica e ambientes computacionais de aferição performática, é possível pensar o projeto de maneira lógica e matemática (CELANI, 2006), automatizando as tarefas de desenho e explorando a otimização da forma, através de parâmetros ambientas, estruturais, entre outros.

A integração de softwares de modelagem geométrica, como Rhinoceros, e de simulação e aferição performática, como o Ecotect, permitem a exploração de diferentes resultados geométricos e tecnológicos – lumínico, energético, estrutural, entre outros. Este estudo integra os ambientes computacionais na busca da otimização geométrica e de uma abordagem generativa do processo projetual, utilizando estratégias de design paramétrico. Sendo assim, através do projeto digital interativo e análise ambiental (SCHODEK, et al., 2005) este trabalho sugere o desenvolvimento e manipulação de modelos geométricos digitais, ampliando as alternativas de projeto e potencializando a interação e rapidez na visualização desses modelos, através da integração dos ambientes computacionais: *Rhinoceros*, *Grasshopper* e *Ecotect Analysis*.

O *Rhinoceros,* conhecido como *Rhino* e desenvolvido por Robert McNeel & Associates, é uma ferramenta de modelagem tridimensional ou também referido como modelador híbrido[18], disponibilizando edição, análise, criação, documentação e animação para curvas, superfícies e sólidos NURBS, sem limites de complexidade, grau e tamanho. A adoção de NURBS neste estudo deve-se a sua capacidade na construção de uma ampla variedade de formas geométricas, a partir de linhas retas e sólidos platônicos complexos, esculpindo superfícies.

[18] Empregam algoritmos matemáticos complexos, combinando, integradamente, modeladores de sólidos e modeladores de superfícies.

Executado dentro do *Rhino*, o editor de algoritmos gráfico *Grasshopper* – desenvolvido por David Rutten e Robert McNeel & Associates – trabalha com uma linguagem de programação visual, que emprega o conceito de algoritmos para explorar a geração de formas. O *Ecotect Analysis* é uma ferramenta de análise ambiental desenvolvida por Andrew Marsh e atualmente adquirida pela empresa Autodesk, permite a simulação e visualização do desempenho de edifícios no contexto de seu ambiente, de maneira rápida e intuitiva. Entre as ferramentas do software *Ecotect* encontra-se a possibilidade de calcular a quantidade de radiação solar incidente, absorvida e transmitida por um edifício, superfície ou objeto, assim como, expressar o sombreamento entre os objetos modelados. O *Ecotect* calcula a radiação solar incidente sobre o coletor solar e estima a produção de energia ao longo do ano. Através da "*solar access analysis*" o *Ecotect* pode analisar a incidência solar acumulativa de uma superfície, visualizando a distribuição e disponibilidade de radiação solar em um edifício e, até mesmo, em área urbanas. Combinando informações de radiação solar fornecidas pelo *Ecotect*, e design paramétrico é possível auxiliar, arquitetos, designers e engenheiros, a determinar a melhor localização e orientação para os painéis solares.

Para a utilização integrada das ferramentas computacionais – *Rhinoceros Grasshopper*, e *Ecotect Analysis* – Ursula Frick e Thomas Grabner desenvolveram um componente chamado *Geco*[19]. *Geco* estabelece a interface entre os três programas, importando, exportando, avaliando e aferindo os modelos gerados. Permite exportar, rapidamente, geometrias complexas para o *Ecotect*, aferindo seu desempenho (energético, térmico, acústico, lumínico, entre outros) e posteriormente, importando os resultados como *feedback* ao *Grasshopper*.

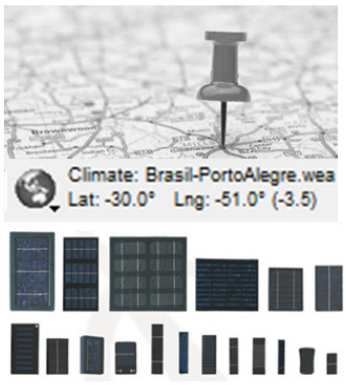
Sendo assim, integrando os ambientes computacionais – *Rhinoceros*, *Grasshopper*, e *Ecotect Analysis* – buscou-se a otimização geométrica de fachadas fotovoltaicas em quatro etapas (Figura 30). A primeira etapa consiste na definição da tecnologia fotovoltaica e localização geográfica (1); a segunda etapa trata da modelagem volumétrica tridimensional (2) definindo a forma inicial; a terceira etapa aborda a geração de formas (3), associando deformações geométricas e incidência solar; e por fim, na última etapa é realizada a manipulação dos pontos de controle da superfície NURBS (4), buscando a otimização de zonas com baixa incidência solar.

[19] *Geco:* Disponível em <http://utos.blogspot.com/> Visitado em: 04 mai. 2011.

Etapa (1)

Definição da localização geográfica e tecnologia fotovoltaica

- Definição da localização geográfica (latitude e longitude) e posicionamento do edifício em função da orientação solar (azimute)
- Definição do semicondutor mais propício, considerando fator sombra, eficiência do módulo, necessidades do edifício, assim como, dimensões, forma e cor da célula.

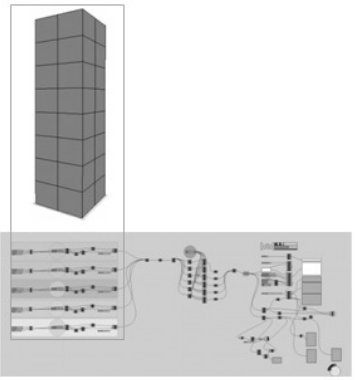


Etapa (2)

Modelagem volumétrica tridimensional

Ferramenta de apoio: *Rhinoceros* e *Grasshopper*

- Modelagem de volume elementar, considerando restrições impostas pelas características urbanísticas e funcionalidade da edificação.

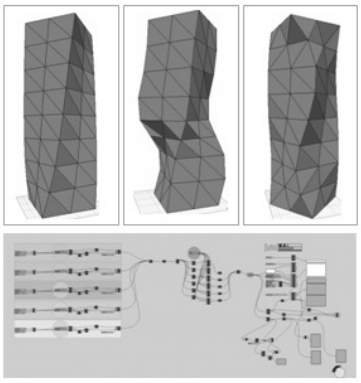


Etapa (3)

Geração de formas, associando transformações geométricas e incidência solar

Ferramenta de apoio: *Rhinoceros, Grasshopper* e *Ecotect*

- Aplicação de deformações geométricas tridimensionais – *twisting, tapering* e *shear deformation* – explorando possibilidades volumétricas com potencial para captação solar, ou seja, aplica regras de transformações geométricas vinculadas aos parâmetros de incidência solar, de maneira que formas potencialmente otimizadas sejam geradas, a partir do vocabulário proposto na fase 2.



Etapa (4)

Manipulação de superfícies –pontos de controle

Ferramenta de apoio: *Rhinoceros* e *Grasshopper*

- Identificação de formas, eficientes energeticamente e versáteis formalmente.
- Manipulação dos pontos de controle da superfície nurbs de maneira a otimizar as formas selecionadas.

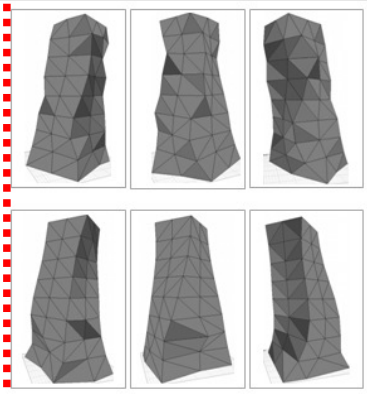


Figura 30 Etapas da metodologia

4.1 Etapas

4.1.1 Definição da tecnologia fotovoltaica e localização geográfica

A latitude e longitude definem a localização geográfica dos objetos selecionados, como também, da natureza dos dados climáticos que serão analisados através do *Ecotect*. A definição da tecnologia fotovoltaica vai influenciar na escolha dos parâmetros geométricos do edifício – determinando rigidez ou flexibilidade às superfícies – e no rendimento elétrico do sistema. A produção elétrica[20] do sistema fotovoltaico, por sua vez, está diretamente relacionada à forma e inclinação das superfícies (painéis fotovoltaicos), e a radiação solar incidente nas superfícies.

4.1.2 Modelagem volumétrica tridimensional

A modelagem volumétrica tridimensional relaciona parâmetros geométricos a tecnologia fotovoltaica. Foram definidos cinco perfis – denominados neste caso, curva1, curva2, curva3, curva4 e curva5 (Figura 31) – distanciados entre si igualmente. A determinação das cinco curvas deve-se ao modelo geométrico assumir 52 metros de altura; apresentando intervalo de 13 metros, portanto, quatro pavimentos entre curvas; desta maneira as arestas das curvas (apontadas por La e Lb) podem variar de dimensão, ângulo de rotação, assim como, o posicionamento do eixo primitivo, sem inibir as características funcionais e estruturais do edifício.

[20] A produção elétrica anual de um sistema é obtida através da multiplicação da radiação solar incidente aual (Wh/m²) pela área de superfície fotovoltaica (m²) e pela porcentagem de eficiência do painel fotovoltaico.

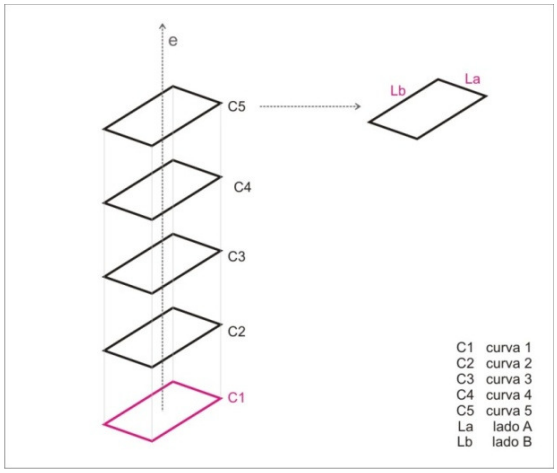


Figura 31. Esquema gráfico das variáveis e restrições – estudo de caso Porto Alegre

A descrição expressa no software *Grasshopper* (Figura 32) inicia com a parametrização de cada curva, separadamente; atribuindo valores numéricos para cada transformação geométrica – *shear*, *taper*, *twist*[21] – (Figura 33), definido limites máximos e mínimos (estabelecidos no capítulo seguinte) para cada uma delas, através de *sliders*[22]. Após a definição de parâmetros, restrições, transformações geométricas (regras) e a quantidade de curvas e seus respectivos intervalos, realiza-se um *loft*, unindo os planos gerados, e em seguida, divide-se a superfícies gerando uma malha (*mesh*) [23]. Por fim, implementa-se o componente *join mesh,* unindo a mesh e conectando ao plug-in Geco, para que a otimização geométrica seja iniciada.

[21] As transformações geométricas, shear, taper e twist são referidas neste trabalho, respectivamente, como translação, escala e rotação.
[22] *Slider* é uma ferramenta utilizada em softwares de fácil interface gráfica com o usuário, permitindo que o usuário possa controlar e ajustar a forma numéricamente.
[23] A mesh gerada prioriza o povoamento da superfície em quadriláteros, porém, quando os quadriláteros conformam superfícies curvas, ocorre a planificação dos planos, através da triangularização. Sendo assim, quando o edifício adotar superfícies não desenvolvíveis, ou seja, não planificáveis, a mesh converte os quadriláteros que não são planos em triângulos.

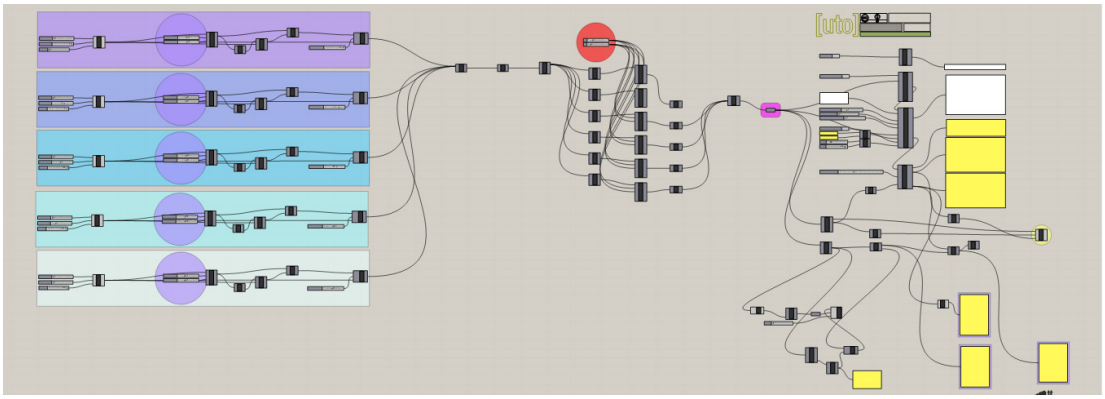


Figura 32. Esquema gráfico da *description* elaborada no *Grasshopper* para a realização do experimento.

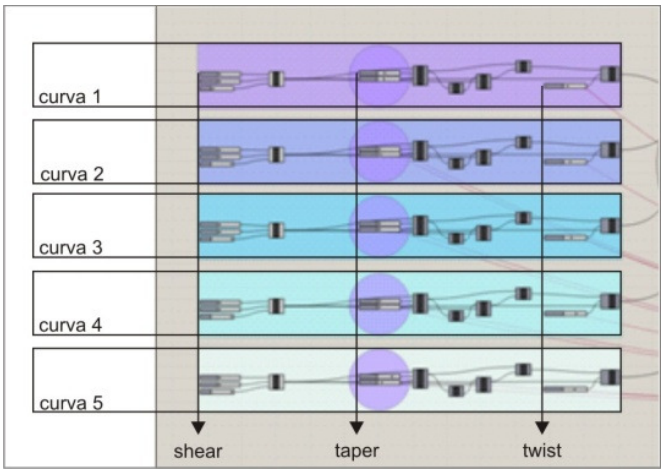


Figura 33. Esquema gráfico parcial da *description* ilustrando os parâmetros estabelecidos nas transformações geométricas tridimensionais – *shear, tapering e twisting* – de cada curva.

4.1.3 Geração de formas

O modelo volumétrico desenvolvido através de superfícies NURBS (geradas no *Grasshopper*) constitui o passo inicial para o processo generativo da forma. Com os parâmetros, restrições dimensionais e forma inicial, definidos, são aplicadas regras em diferentes etapas, visando a geração de formas, que maximizem a radiação solar incidente nos planos de fachada. A geração de formas ocorre através de uma sequência de procedimentos realizados nos softwares Ecotect e Rhinoceros – Grasshopper – (Figura 34), com a modificação numérica dos parâmetros geométricos, definidos por *sliders* de deformações das curvas.

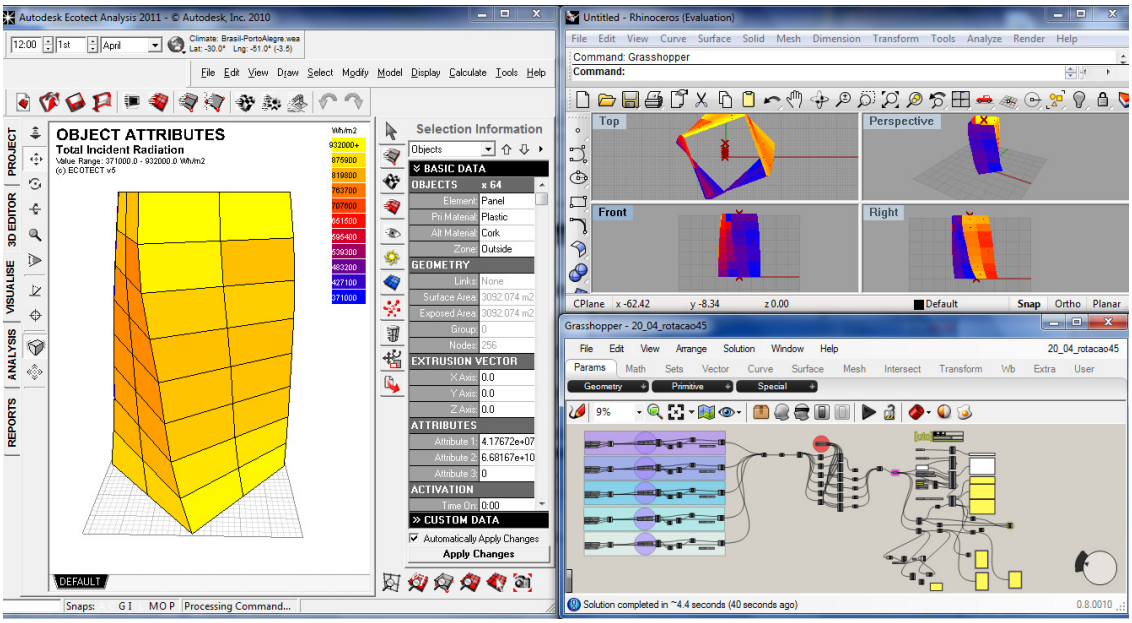


Figura 34. Esquema gráfico de integração dos softwares *Ecotect Analysis* e *Rhinoceros (Grasshopper)*

Depois da modelagem elementar, ou seja, da modelagem geométrica da forma inicial, foram aplicadas regras de rotação, translação e escala nas curvas (perfis) que conformam a superfície NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*) no *Rhinoceros/ Grasshopper* (Figura 35). Em seguida, a superfície NURBS foi transformada em *mesh*, possibilitando, dessa maneira, a redução no número de faces, e consequentemente obtendo ganho em velocidade de processamento para a análise da incidência solar no software *Ecotect Analysis.*

Para realizar a ligação entre o *Rhino*ceros e *Grasshopper* com o *Ecotect* foi utilizado o plug-in *Geco*, que exporta o modelo gerado pelo *Grasshopper* diretamente para o *Ecotect* e permitindo a obtenção de análises e resultados dos planos de fachada, como a incidência solar mensal, horária e diária, rendimento elétrico de um sistema fotovoltaico, entre outros.

O modelo obtido através da manipulação dos perfis iniciais teve incidência solar calculada e analisada pelo programa *Ecotect Analysis*, definindo a quantidade média de radiação solar incidente anual em cada superfície fotovoltaica. Cada quadrilátero ou triângulo da *mesh* é analisado e adquire valor individualizado de absorção. Após aferir a quantidade anual de radiação incidente, através do *Ecotect* – com dados numéricos e gráficos – e do *Grasshopper* – com dados visuais, ou seja,

tonalidade dos planos de fachada, de acordo com uma legenda – foi realizada novamente a manipulação dos parâmetros, através das regras: escala, rotação e translação. E assim, reiniciou-se o processo gerando um conjunto de formas (Figura 35), conforme o diagrama abaixo demonstra.

Figura 35 Diagrama da etapa três: geração de formas

4.1.4 Manipulação de superfícies NURBS

A última etapa do método teve como objetivo a seleção das formas geradas na etapa três e a manipulação de seus pontos de controle, visando à otimização da superfície NURBS. Primeiro realizou-se a seleção das formas que ofereciam maior potencial fotovoltaico a partir da complexidade geométrica e eficiência energética; observadas através das médias anuais de incidência solar e das regras de geração aplicadas em cada etapa do experimento.

Após a seleção da forma identificam-se as zonas com menor incidência solar, no Ecotect, e manipulam-se os pontos de controle da NURBS, no software Rhinoceros, visando à otimização da radiação solar (Figura 36). A manipulação dos pontos de controle prossegue com a integração entre modelagem computacional e simulação solar. A interatividade entre softwares, em tempo real, e a manipulação dos pontos de controle permitem a otimização, potencializando ainda mais a forma selecionada. Após desvincular as transformações geométricas da *mesh* no *Grasshopper*, a manipulação dos pontos é realizada no software *Rhinoceros*. O *Ecotect*, então, simula o objeto e envia os resultados gráficos (cromáticos) para o

Rhino, permitindo novas manipulações (Figura 37). As cores, diferentemente estabelecidas em cada modelo, expressam médias de incidências solares anuais distintas, possibilitando assim, visualização e seleção das áreas com maior potencial de utilização por painéis fotovoltaicos.

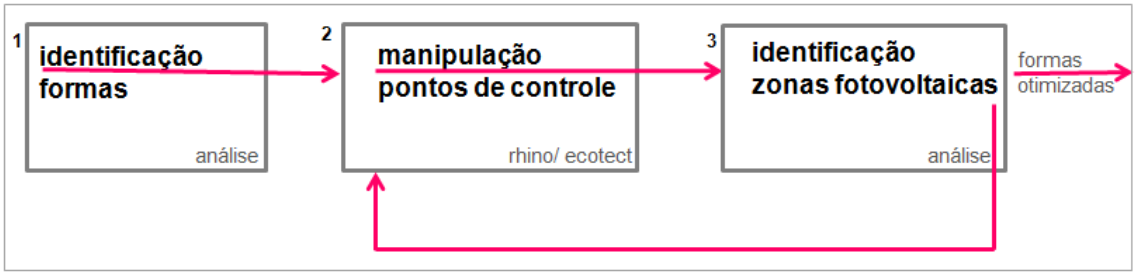


Figura 36 Diagrama da etapa 4: otimização de superfícies

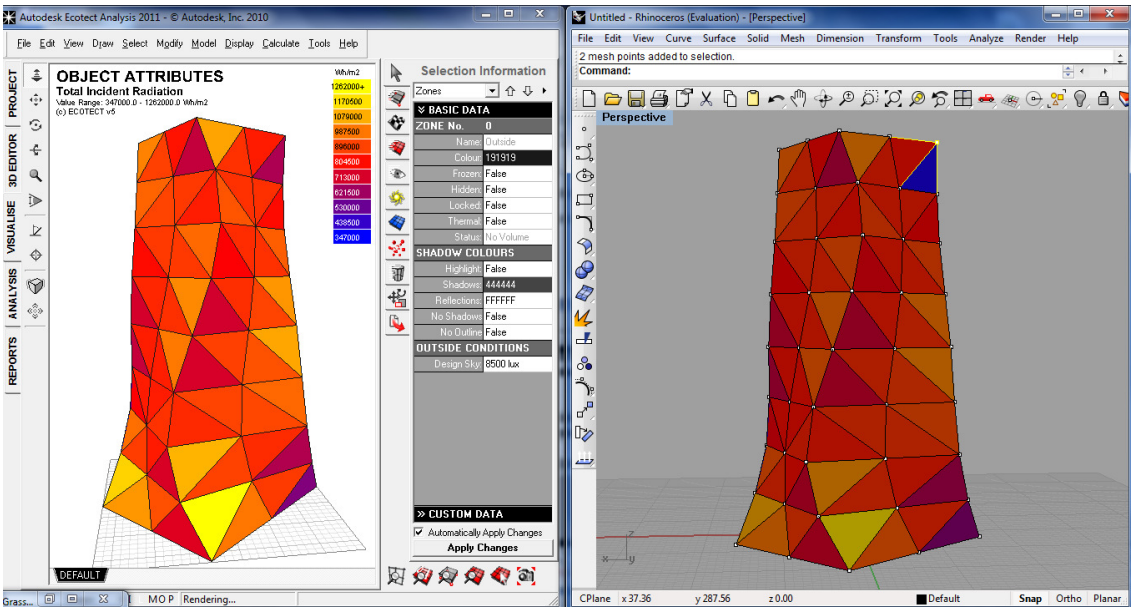


Figura 37 Integração de softwares Ecotect Analysis e Rhinoceros para a manipulação dos pontos de controle.

Portanto, este estudo visa à otimização da forma do edifício para que parte significativa da fachada receba, por maior tempo, maior quantidade de radiação solar (situação ideal para os painéis fotovoltaicos). Assim outras áreas de fachada, com menos incidência solar poderão ser exploradas para a iluminação e ventilação natural em estudos futuros, incorporando outras variáveis ao método proposto. Portanto, a otimização geométrica do edifício para o posicionamento de dispositivos

fotovoltaicos não pretende gerar edifícios cobertos por painéis fotovoltaicos, mas oferecer uma descrição geral das melhores posições para a localização desses painéis.

5. **ANÁLISE** – ESTUDO DE CASO: PORTO ALEGRE

O estudo de caso estrutura-se conforme os quatro procedimentos de otimização (Figura 38) definidos nos materiais e métodos:

(1) Definição da localização geográfica e tecnologia fotovoltaica

- Porto Alegre
- Painéis de silício monocristalino

(2) Modelagem geométrica tridimensional

- Volume prismático 15x15x52
- Volume prismático 15x30x52

(3) Geração de formas

- Estrutura-se em duas fases; cada uma delas subdividida em sete etapas (diferenciadas entre si, pelas restrições e variáveis geométricas, *shear*, *taper* e *twist*). Cada etapa gera cinco formas, representando um total de 35 formas em cada fase; e 70 no total do experimento.

(4) Manipulação de superfícies

- Selecionaram-se duas formas (geradas na etapa anterior) que exploram a geometria complexa e com potencial fotovoltaico. Em seguida realizou-se a manipulação dos pontos de controle, em três momentos.

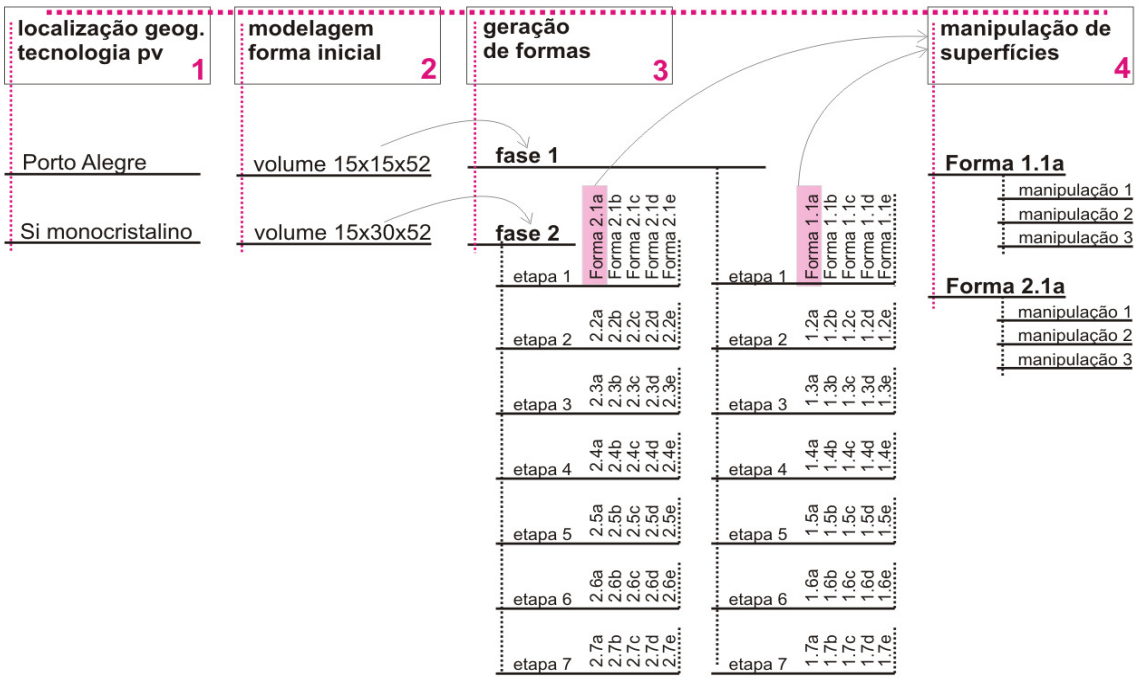


Figura 38 Diagrama dos procedimentos do estudo de caso

Os procedimentos deste experimento iniciaram com a definição da localização geográfica e tecnologia fotovoltaica (1); seguida pela modelagem geométrica de dois volumes prismáticos (2); processo generativo (3) e conclui o processo através da manipulação das superfícies de algumas formas predefinidas (4).

O processo generativo (3) foi elaborado em duas fases. A primeira fase (Figura 39) está subdividida em sete etapas, diferenciadas entre si, pelas restrições e variáveis geométricas, *shear*, *taper* e *twist*. A segunda fase (Figura 40) também é subdividida pelo mesmo critério da primeira, porém, diferencia-se pela forma inicial, que na primeira fase é um volume prismático com 15x15x52m e na segunda fase é 15x30x52m. A diferenciação da forma inicial nas duas fases foi proposta com a intenção de simular diferentes propostas para lote urbano.

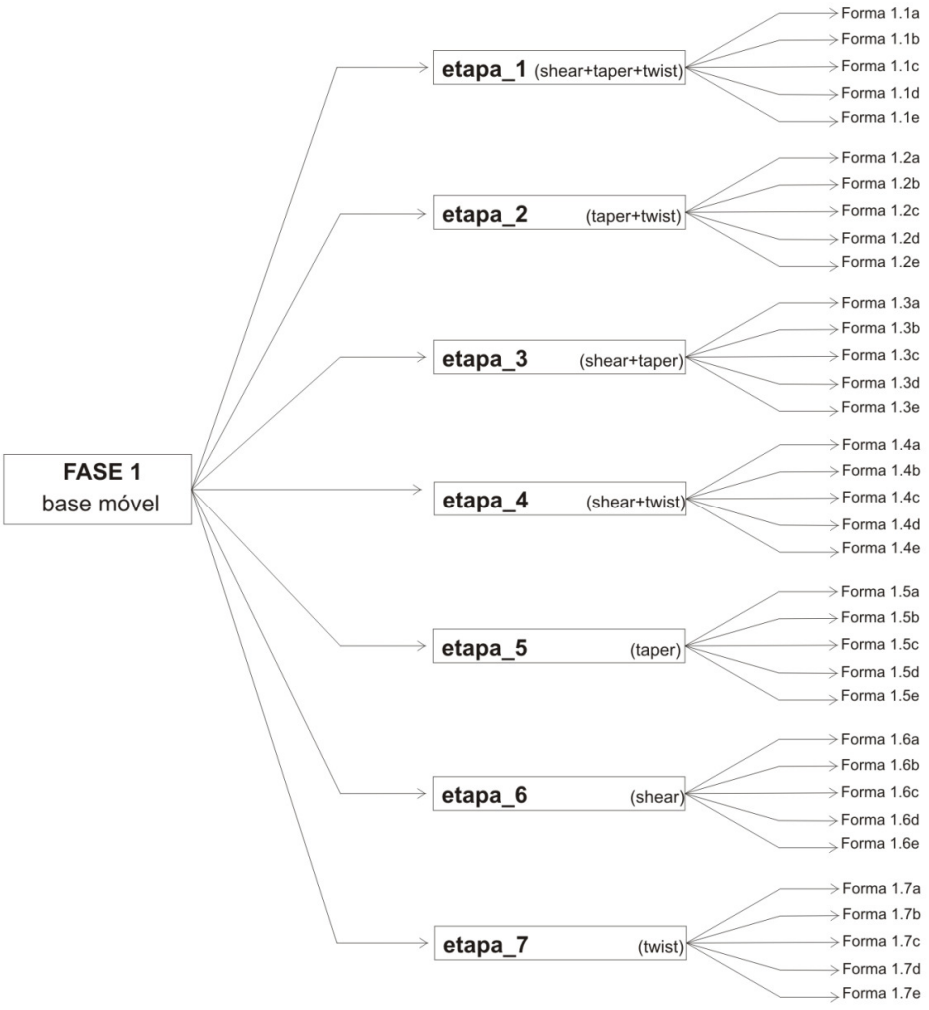


Figura 39. Esquema gráfico das etapas percorridas pela primeira fase do experimento.

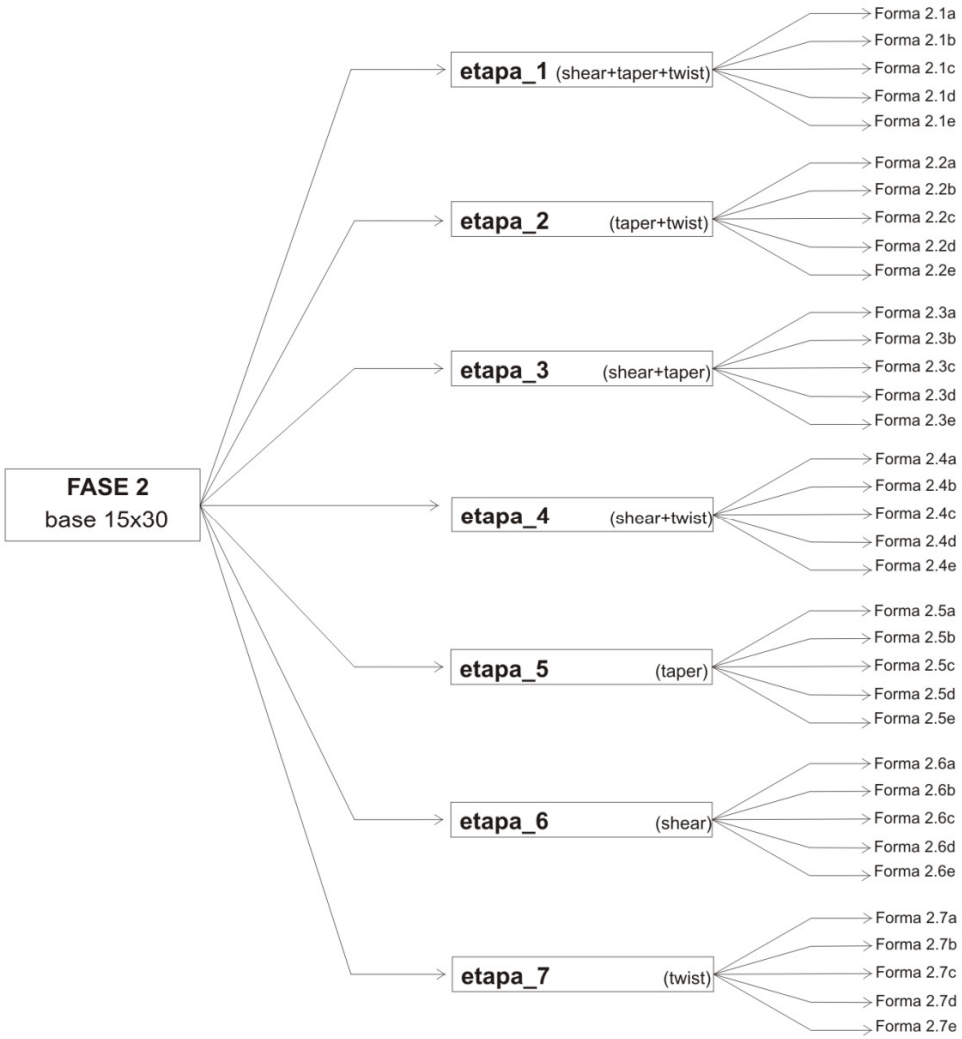


Figura 40. Esquema gráfico das etapas percorridas pela segunda fase do experimento

Em ambas as fases: a primeira etapa implementa as deformações geométricas tridimensionais: *twist, taper* e *shear* (1). Na segunda etapa, diminuiu-se o número de variáveis, considerando as transformações: *twist* e *taper* (2). A terceira etapa consiste na combinação das deformações *taper* e *shear* (3). Na etapa quatro, aplicaram-se duas transformações geométricas tridimensionais: shear e twist (4). Na quinta etapa, utilizou-se somente o fator escala – *taper* – para gerar as possibilidades geracionais (5). Na etapa seis, aplicou-se *shear deformation*, considerando as possibilidades de translação (6). E por fim, na última etapa, aplicou-se torção, *twist* (7) (Figura 41).

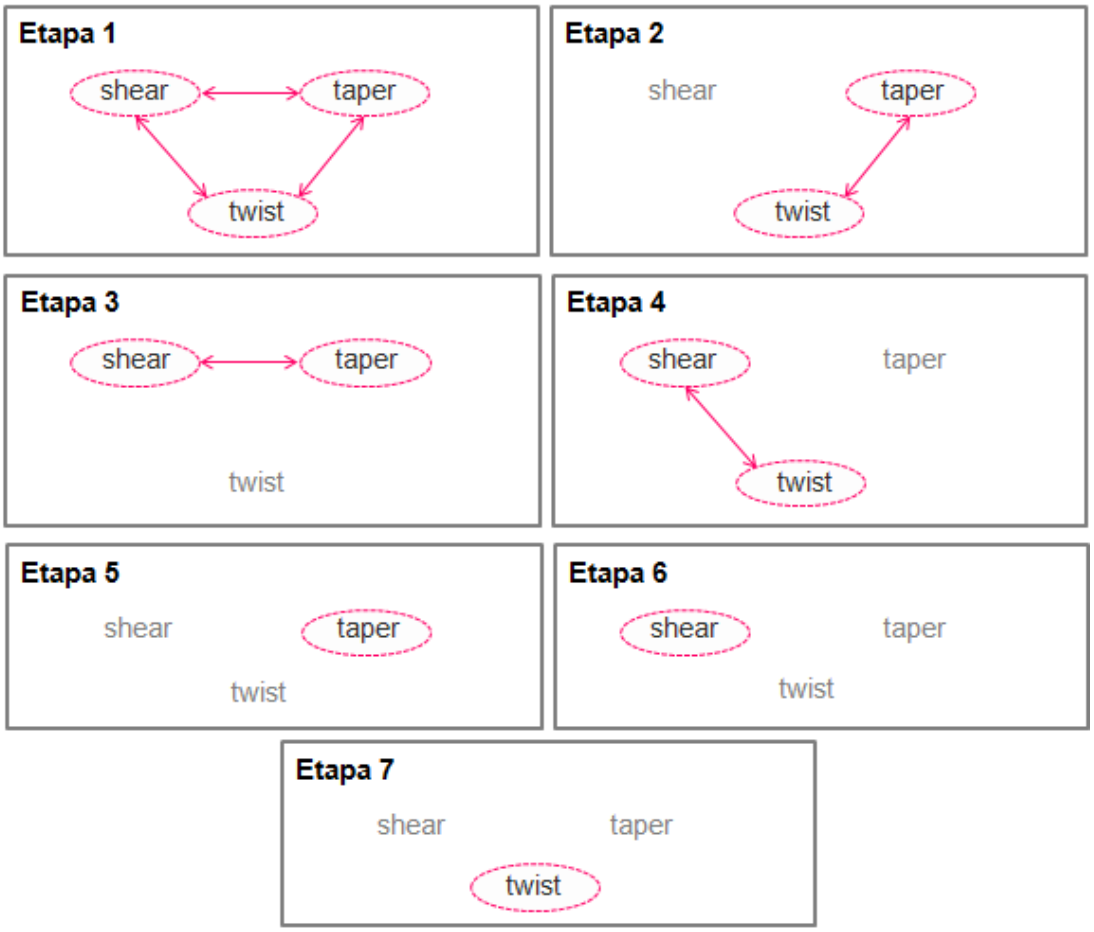


Figura 41 Diagrama com a combinação das transformações geométricas em cada etapa do experimento

Enfim, cada etapa da fase 1 e da fase 2 contém definições tecnológicas e localização geográfica iguais, e modelagem da forma inicial semelhante, permitindo a repetição das duas primeiras etapas metodológicas ao longo do estudo de caso. No processo generativo, correlacionaram-se deformações geométricas diferentes, porém, sempre seguindo a sequência metodológica, resultando em diferentes indivíduos (formas). Na manipulação das superfícies, a identificação das zonas com maior potencial fotovoltaico e o ajuste dos pontos de controle, foi realizado em duas formas, pré-selecionadas pelo processo generativo. Desta maneira, este capítulo estrutura-se através das etapas recorrentes da metodologia: definição da localização geográfica e tecnologia fotovoltaica (5.1), modelagem volumétrica tridimensional (5.2), geração de formas (5.3) e manipulação das superfícies (5.4).

5.1 Definição da localização geográfica e tecnologia fotovoltaica

Na metodologia aplicada ao estudo de caso de Porto Alegre[24] – latitude 30°S e longitude 51°W – considera-se para análise o silício monocristalino, devido à eficiência de suas células (Tabela 1) e potencial plástico, elementos fundamentais para a integração arquitetônica. Apesar da rigidez imposta pelos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino é possível gerar superfícies curvas, através do mapeamento e subdivisão de superfícies – um exemplo é a triangularização. Segundo Bechthold (2008) algumas superfícies curvas de primeiro grau – onde se enquadra este experimento – podem ser equipadas por células fotovoltaicas rígidas baseadas em silício cristalino, possibilitando assim, a substituição do uso generalizado do silício amorfo para superfícies curvas.

Dados: Fraunhofer ISE, Universidade de Stuttgart, 26th IEEE PVSC, NREL, UNSW, folhas de cálculo de vários fabricantes

Material da célula solar	Eficiência da Célula η_z (Laboratório)	Eficiência da Célula η_z (Produção)	Eficiência da Célula η_M (Produção em Série)
Silício Monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Células de silício policristalino EFG	19,7%	14%	13%
Silício cristalino de película fina	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo*	13%	10,5%	7,5%
Silício micromorfo*	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida HCI	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telurieto de Cádmio	16,4%	10%	9%
Semicondutor III-V	35,8% **	27,4%	27%
Célula sensitivizadas com colorante	12,0%	7%	5% ***

* no estado estável.
** medida com um fluxo concentrado de radiação.
*** séries de produção limitada.

Tabela 1. Eficiência de células fotovoltaicas em laboratório, produção e produção em série
Fonte: Energia fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação

[24] A cidade de Porto Alegre foi selecionada para objeto das simulações, no entanto, o local pode ser facilmente manipulado no software *Ecotect Analysis*.

5.2 Modelagem volumétrica tridimensional

A modelagem volumétrica tridimensional difere-se nas duas fases do estudo de caso. Na primeira fase, a forma inicial é modelada com 15x15m de base e 52m de altura (Figura 42a); enquanto na segunda fase, a forma inicial assume 15x30x52m (Figura 42b). Outra diferença existente é que na primeira fase do experimento ocorre a variação das dimensões da base volumétrica, (através das regras aplicadas na curva 1) visando à simulação do edifício em diferentes tipos de lote. Na segunda fase considera-se a base fixa, com dimensões 15x30m, simulando um lote. A altura do modelo, um edifício de 17 andares com 52m, foi determinado neste experimento, pois é um caso frequente em Porto Alegre.

Para a modelagem volumétrica tridimensional mapeou-se a forma inicial com quadriláteros, de acordo com as coordenadas – U e V – que definem o espaço paramétrico. Em ambas as fases, a forma inicial foi mapeada através de oito unidades perante coordenada U e duas unidades diante da coordenada V. Ou seja, construiu-se uma malha regular com 16 polígonos em cada face do volume (Figura 42). Assim, as superfícies permitem diferentes possibilidades de inclinação e posição dos painéis fotovoltaicos em um curto espaço de tempo de simulação. Considerando-se um aumento excessivo de polígonos na malha, o processo de simulação tornaria-se muito lento, por isso, restringiu-se a malha ao total de 64 polígonos.

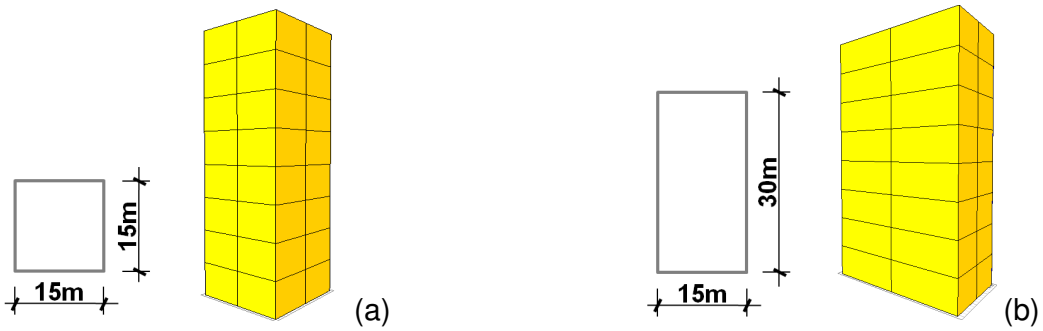


Figura 42 Forma inicial da 1° fase: 15x15x52 (a) e forma inicial da 2° fase: 15x30x52 (b)

5.3 Geração de formas

Após a modelagem volumétrica foi realizada a associação entre transformações geométricas e incidência solar. Para isso, estabeleceram-se restrições e variáveis geométricas, de modo a gerar um conjunto de formas.

As variações geométricas são aplicadas nos cinco perfis – curva1, curva2, curva3, curva4 e curva5, visando à otimização da incidência solar nos planos de fachada. As variáveis são expressas através das transformações geométricas tridimensionais não lineares: *twist, taper, shear*, com exceção da deformação *bulge*, não utilizada neste experimento devido à operação modificar a orientação das seções, causando incongruências estruturais e funcionais, como balanços excessivos e angulação e fragmentação da planta baixa.

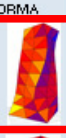
Sendo assim, as curvas podem variar de dimensão (taper), ângulo de inclinação (twist) e posicionamento do eixo primitivo (shear), da seguinte maneira:

Taper	15m ≤ **La** ≤ 40m e 15m ≤ **Lb** ≤ 40m
Twist	0° ≤ **a** ≤ 45°
Shear	0m ≤ **e** ≤ 5m

Em cada fase do experimento o processo generativo parte da forma inicial – 15x15x52 na fase 1 e 30x15x52 na fase 2. Aplicando as regras taper, shear, twist, simultaneamente, com a simulação da incidência solar dos planos é gerado um conjunto de formas. Cada etapa gerou cinco modelos geométricos; em sete etapas foram geradas 35 alternativas, e um total de 70 formas ao longo do experimento.

As tabelas abaixo demonstram a radiação solar incidente, a produção de eletricidade anual, e a área total de superfície (fachadas) de cada forma gerada, em suas respectivas etapas, assim como, as formas com maior potencial fotovoltaico dentro de cada etapa (representadas pelas seleções em vermelho).

FASE 1 FASE 2

ETAPA 1 (twist+taper+shear)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
1.1a		3707.6	**694,7**	360,6
1.1b		3125.2	**692,9**	359,2
1.1c		3196.3	**654,3**	292,5
1.1d		3612.9	**640,6**	324,0
1.1e		3143.2	**648,0**	286,0
Fi15x15		3120.0	**639, 4**	279,3

ETAPA 1 (twist+taper+shear)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
2.1a		3804.0	**690,9**	367,9
2.1b		4213.6	**674,5**	398,5
2.1c		5441.2	**655,8**	499,6
2.1d		4512.3	**669,3**	422,8
2.1e		3615.1	**676,0**	342,1
Fi 30x15		4680.0	**639,4**	407,3

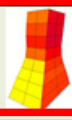
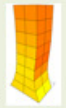
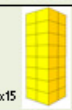
Tabela 2. Geração de formas através da correlaçao entre as transformações geométricas shear, taper e twist, nas duas fases do experimento.

ETAPA 2 (taper+twist)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
1.2a		3316.6	**669,2**	366,9
1.2b		5040.1	**646,6**	546,3
1.2c		3471.5	**662,4**	321,9
1.2d		4370.3	**679,7**	515,9
1.2e		3323.1	**514,1**	282,8
Fi 15x15		3120.0	**639, 4**	279,3

ETAPA 2 (taper+twist)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
2.2a		4032.6	**682,2**	385,1
2.2b		4632.2	**678,4**	445,6
2.2c		4155.1	**690,0**	401,4
2.2d		4428.8	**662,3**	410,6
2.2e		3854.1	**664,8**	358,7
Fi 30x15		4680.0	**639,4**	407,3

Tabela 3. Geração de formas através da correlação entre as transformações geométricas taper e twist, nas duas fases do experimento.

FASE 1

ETAPA 3 (shear+taper)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
1.3a		4558.8	**702,3**	448,2
1.3b		3497,6	**673,2**	329,6
1.3c		4456.5	**649,1**	405,5
1.3d		4509.1	**747,1**	471,6
1.3e		3266.0	**514,3**	235,2
Fi 15x15		3120.0	**639, 4**	279,3

FASE 2

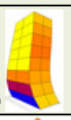
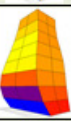
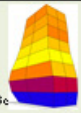
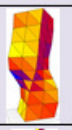
ETAPA 3 (shear+taper)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
2.3a		4190.7	**673,6**	395,2
2.3b		4509.0	**691,7**	436,6
2.3		4639.5	**676,5**	445,1
2.3c		6130.4	**693,0**	594,8
2.3c		4300.6	**673,5**	462,1
Fi 30x15		4680.0	**639,4**	407,3

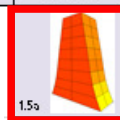
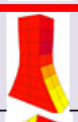
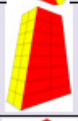
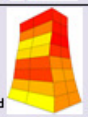
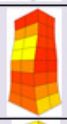
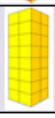
Tabela 4. Geração de formas através da correlação entre as transformações geométricas shear e taper, nas duas fases do experimento.

ETAPA 4 (shear+twist)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
1.4a		3172.2	**636,4**	282,6
1.4b		3137.5	**650,0**	285,5
1.4c		3252.4	**639,4**	291,2
1.4d		3168.1	**642,7**	285,1
1.4e		3152.8	**651,8**	287,7
Fi 15x15		3120.0	**639, 4**	279,3

ETAPA 4 (shear+twist)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
2.4a		4845.4	**637,7**	432,6
2.4l		5004.0	**627,5**	439,6
2.4c		4844.8	**636,1**	431,4
2.4d		4951.7	**628.9**	436
2.4e		4923,3	**628,7**	433,9
Fi 30x15		4680.0	**639,4**	407,3

Tabela 5. Geração de formas através da correlação entre as transformações geométricas shear e twist, nas duas fases do experimento.

FASE 1

ETAPA 5 (taper)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
1.5a		4262,1	717,1	427,9
1.5b		3765.8	712,8	375,8
1.5c		4708.6	703,7	463,9
1.5d		5361.8	699,6	525,2
1.5e		4034.3	669,0	377,9
Fi 15x15		3120.0	639, 4	279,3

FASE 2

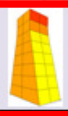
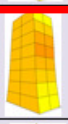
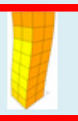
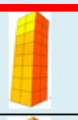
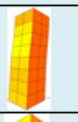
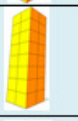
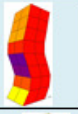
ETAPA 5 (taper)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
2.5a		3408.6	683,5	326,2
2.5b		3715.1	685,5	356,5
2.5c		4115.2	670,2	386,1
2.5d		4490.2	665,1	418,1
2.5e		4802.4	617,7	415,3
Fi 30x15		4680.0	639,4	407,3

Tabela 6. Geração de formas através da transformação geométrica taper, nas duas fases do experimento.

ETAPA 6 (shear)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
1.6a		3130.9	652,7	286,1
1.6b		3128.2	652,1	285,6
1.6c		3128.2	651,6	285,4
1.6d		3124.6	649.9	284,3
1.6e		3201.1	650,7	291,6
Fi 15x15		3120.0	639, 4	279,3

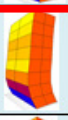
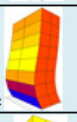
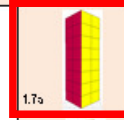
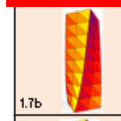
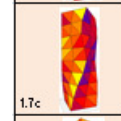
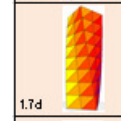
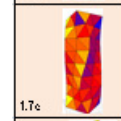
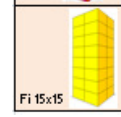
ETAPA 6 (shear)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
2.6a		4764.0	642,2	428,3
2.6b		4757.7	639,6	426,0
2.6c		4766.6	641,6	428,2
2.6d		4636.3	627,5	412,6
2.6e		4845.9	636,5	246,6
Fi 30x15		4680.0	639,4	407,3

Tabela 7. Geração de formas através da transformação geométrica shear, nas duas fases do experimento.

FASE 1

ETAPA 7 (twist)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
1.7a		3120.0	**822,7**	359,4
1.7b		3128.0	**644,6**	282,3
1.7c		3133.1	**644,6**	282,2
1.7d		3128.3	**642,9**	281,6
1.7e		3132.3	**642,3**	281,7
Fi 15x15		4160.0	**639,4**	372,4

FASE 2

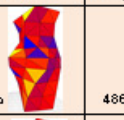
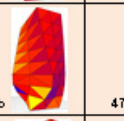
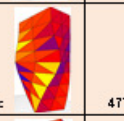
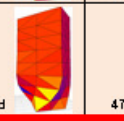
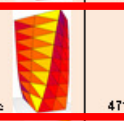
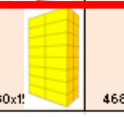
ETAPA 7 (twist)	FORMA	Área (m²)	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)	Produção anual de eletricidade para efic. 14% (MWh)
2.7a		4863.4	**628,8**	428,7
2.7b		4781.1	**638,5**	427,4
2.7c		4777.3	**640,7**	428,5
2.7d		4771.5	**640,2**	427,7
2.7e		4718.0	**643,0**	424,7
Fi 30x1!		4680.0	**639,4**	407,3

Tabela 8. Geração de formas através da transformação geométrica twist, nas duas fases do experimento.

As superfícies cromáticas (cores) das imagens (Tabela 2 a Tabela 8) representam médias anuais e não resultados diários ou mensais de exposição. As cores representadas individualmente em cada forma somente ilustram a diferenciação que cada superfície exerce no seu modelo. Ou seja, a legenda de cores é individual, sendo que a radiação solar de uma superfície amarela em uma forma não é a mesma de uma superfície amarela em outra forma.

Após a análise das formas geradas pelo processo generativo, das fases 1 e 2, aferiram-se os resultados, conforme o **potencial fotovoltaico**, através da quantidade de incidência solar e a **variabilidade formal**, através das regras. Os resultados da fase 1 estão sintetizados na Tabela 9 e os resultados da fase 2 na Tabela 10. As tabelas apresentam as regras – *taper, shear, twist* – implementadas em cada curva – C1, C2, C3, C4, C5 – da forma resultante; assim como, a radiação solar anual incidente de cada forma. As cores representam o potencial fotovoltaico de cada forma, sendo as formas com maior potencial, representadas pelos tons mais escuros.

		REGRAS														
		SHEAR					TAPER					TWIST				
		C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)
FORMAS - 1°FASE	1.1a																**694,7**
	1.1b																692,9
	1.1c																654,3
	1.1d																640,6
	1.1e																648,0
	1.2a																669,2
	1.2b																646,6
	1.2c																662,4
	1.2d																**679,7**
	1.2e																514,1
	1.3a																702,3
	1.3b																673,2
	1.3c																649,1
	1.3d																**747,1**
	1.3e																514,3
	1.4a																636,4
	1.4b																650,0
	1.4c																639,4
	1.4d																642,7
	1.4e																**651,8**
	1.5a																**717,1**
	1.5b																712,8
	1.5c																703,7
	1.5d																699,6
	1.5e																669,0
	1.6a																**652,7**
	1.6b																652,1
	1.6c																651,6
	1.6d																649,9
	1.6e																650,7
	1.7a																**822,7**
	1.7b																644,6
	1.7c																644,6
	1.7d																642,9
	1.7e																642,3

Tabela 9 Tabela das formas geradas na primeira fase, correlacionando regras e eficiência fotovoltaica (radiação solar incidente). A legenda de cores é ilustrativa, representando as formas com maior incidência solar com cores mais fortes e as formas com menor incidência solar com cores mais fracas.

FORMAS - 2°FASE	REGRAS															
	SHEAR					TAPER					TWIST					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5	Radiação solar anual incidente (kWh/m²)
2.1a																**690,9**
2.1b																674,5
2.1c																655,8
2.1d																669,3
2.1e																676,0
2.2a																682,2
2.2b																678,4
2.2c																**690,0**
2.2d																662,3
2.2e																664,8
2.3a																673,6
2.3b																691,7
2.3c																676,5
2.3d																**693,0**
2.3e																673,5
2.4a																**637,7**
2.4b																627,5
2.4c																636,1
2.4d																628,9
2.4e																628,7
2.5a																683,5
2.5b																**685,5**
2.5c																670,2
2.5d																665,1
2.5e																617,7
2.6a																**642,2**
2.6b																639,6
2.6c																641,6
2.6d																627,5
2.6e																636,5
2.7a																628,8
2.7b																638,5
2.7c																640,7
2.7d																640,2
2.7e																**643,0**

Tabela 10 Tabela das formas geradas na segunda fase, correlacionando regras e eficiência fotovoltaica (radiação solar incidente). A legenda de cores é ilustrativa, representando as formas com maior incidência solar com cores mais fortes e as formas com menor incidência solar com cores mais fracas.

.

Após a análise sintética, analisaram-se individualmente as etapas da fase 1 e as etapas da fase 2, aferindo as relações específicas entre regras de geração e potencial fotovoltaico.

5.3.1 Modelos gerados na 1° FASE – base móvel

Etapa 1 (*shear* + *taper* + *twist*)

A etapa 1 consiste na parametrização das três transformações geométricas *taper, twist* e *shear*: O processo de geração de formas inicia com um volume de 15x15m e 52m de altura, verificando-se assim, 639kWh/m² radiação solar incidente anual. O maior índice de radiação solar incidente ocorre na fachada norte, seguida respectivamente, pelas fachadas oeste, leste e sul.

A interação entre as três regras de geração, *shear, taper* e *twist*, resultam em um ganho de 1,3% de insolação na primeira forma e 8,6% em relação à forma com maior potencial, dentre todas as opções geradas. A forma inicial comporta 639,4kWh/m² de radiação solar incidente, as demais formas geradas recebem, respectivamente, 648, 641, 654, 693 e 695kWh/m². Todas as formas geradas apresentaram regras quanto à rotação, translação e escala, resultando em um conjunto de formas complexas, todas com variabilidade formal.

A quinta geração (forma 1.1a) apresentou maior potencial fotovoltaico, 3707m² de área total de superfícies de fachada, 695 kWh/m² de radiação solar incidente anual e produção anual de eletricidade estimada em 361MWh. As regras – rotação, translação e escala – aplicadas em todas as curvas da forma 1.1, demonstram eficiência energética e versatilidade volumétrica (Figura 43).

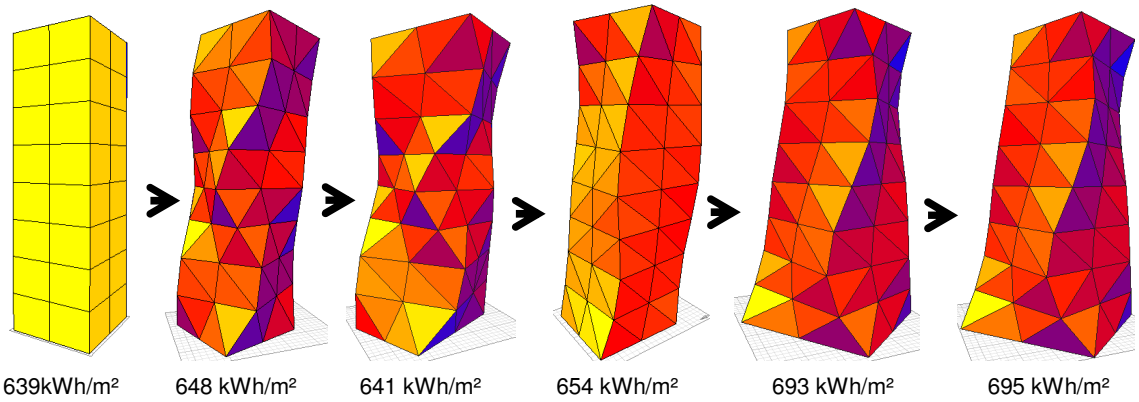


Figura 43. Forma inicial, Forma 1.1e, Forma 1.1d, Forma 1.1c, Forma 1.1b e Forma 1.1a

Etapa 2 (*taper* + *twist*)

A segunda etapa consiste na parametrização de duas transformações geométrica: *taper* e *twist*. Após analise da forma inicial, aplicam-se regras quanto à rotação e escala do volume, gerando cinco formas. As cinco formas diferenciam-se umas das outras pelas regras geracionais atribuídas a cada uma delas. A primeira forma gerada apresenta 514,1kWh/m² de insolação, sucedida por 680kWh/m² da segunda, 662kWh/m², 647kWh/m² e 669kWh/m², respectivamente.

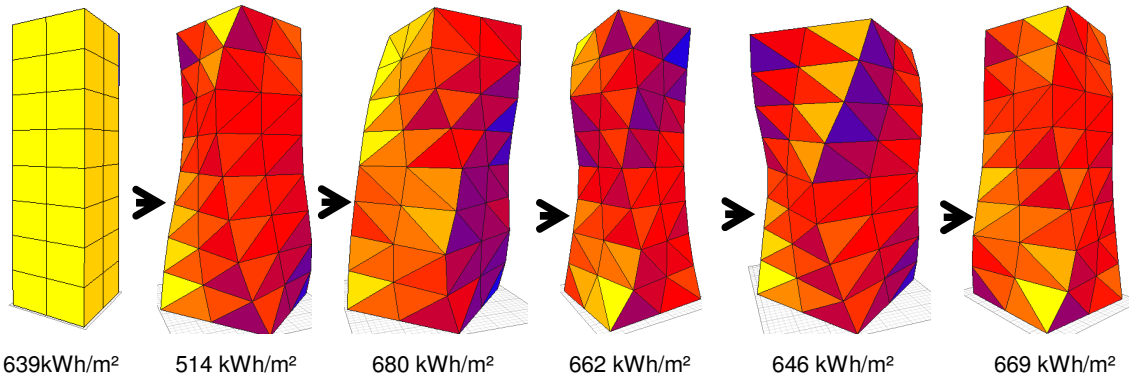


Figura 44. Forma inicial, Forma 1.2e, Forma 1.2d, Forma 1.2c, Forma 1.2b e Forma 1.2a

A amostra 1.2d, destaca-se com 680kWh/m² de insolação, maior potencial fotovoltaico, 4370m² de área de fachada e 516MWh de geração elétrica ao longo do ano. A aplicação de regras de rotação e escala em todas as curvas do modelo

resultou em performance energética e volumétrica, gerando complexidade e otimizando os planos de captação (Figura 44).

Etapa 3 (*shear* + *taper*)

A etapa 3 parametriza as transformações geométrica: *taper* e *shear*. A forma inicial é um volume com dimensões, 15x15m e 52m de altura, assim como nas duas etapas anteriores. O resultado de incidência solar detectado no primeiro edifício gerado (forma 1.3a) representa 514kWh/m², diminuindo assim, a eficiência da forma em relação à forma inicial. As demais formas geradas ampliam a quantidade de radiação incidente. As duas formas com maior potencial são 1.3d e 1.3a, com 747 e 702kWh/m² de insolação.

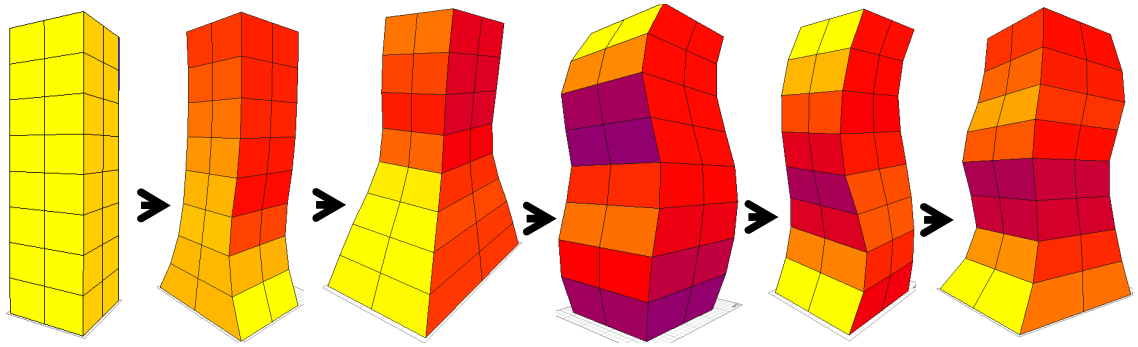


Figura 45. Forma inicial, Forma 1.3e, Forma 1.3d, Forma 1.3c, Forma 1.3b e Forma 1.3a

As cinco formas geradas, nesta etapa, demonstram que as regras de translação e rotação aplicadas promovem eficiência energética, porém, não correspondem as expectativas quanto à variabilidade formal (Figura 45).

Etapa 4 (*shear* + *twist*)

A etapa 4 correlaciona às transformações geométricas: *shear* e *twist*. O processo de geração de formas inicia com volume elementar (15x15m e h=52m) e percorre cinco fases, modificando as regras de geração (*shear* e *twist*) e assim gerando cinco possibilidades formais diferentes.

A forma 1.4e, gerada na primeira tentativa, representa maior grau de insolação perante as demais formas, 652kWh/m². Porém, não há discrepância entre as outras possibilidades geradas, que apresentam 643, 639, 650 e 636kWh/m² de radiação solar incidente nos planos gerados (Figura 46).

A análise das regras associadas aos resultados geométricos desta etapa demonstra que a rotação e a translação, proporcionam variação das formas geométricas, ao contrário de quando se aplicou somente regras de escala e translação (etapa 3).

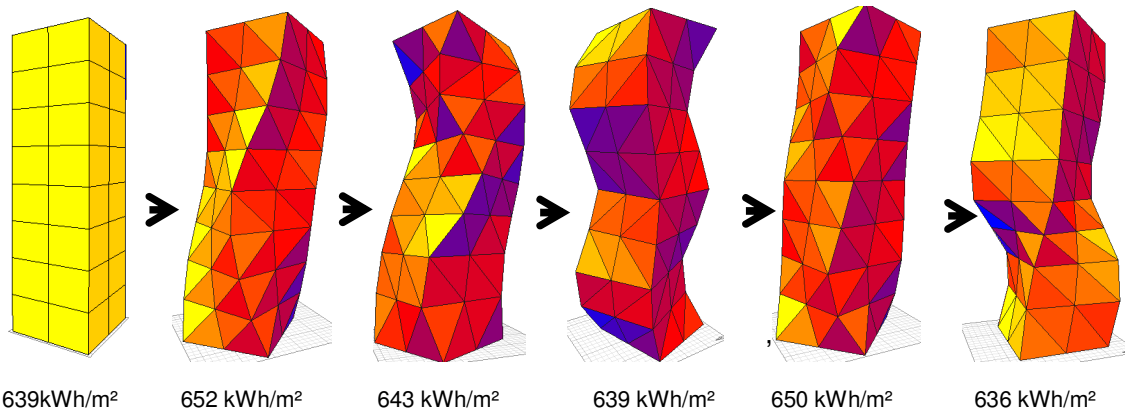


Figura 46. Forma inicial, Forma 1.4e, Forma 1.4d, Forma 1.4c, Forma 1.4b e Forma 1.4a

Etapa 5 (*taper*)

A quinta etapa emprega somente transformações de escala, modificando as dimensões das curvas no plano cartesiano x,y, e mantendo a altura do edifício em 52m. A forma inicial possuem 15 metros em ambos os lados, com todos os planos de fachada perpendiculares ao plano cartesiano, totalizando 639kWh/m². As cinco formas geradas resultaram, respectivamente em: 669, 700, 704, 713 e 717kWh/m² de insolação.

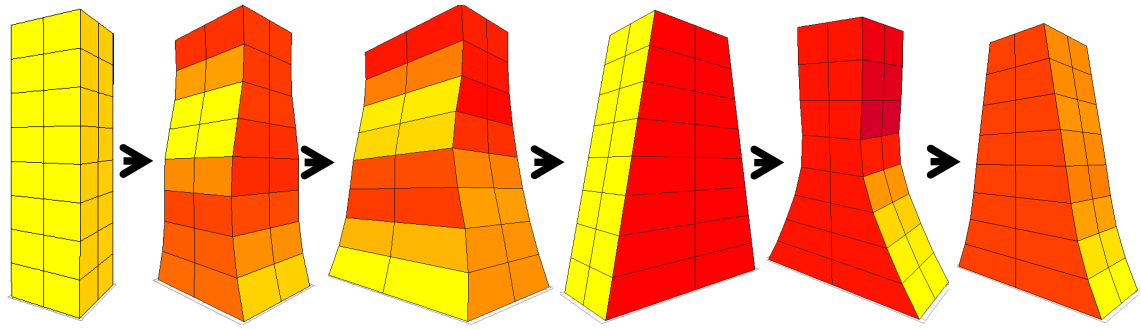


Figura 47. Forma inicial, Forma 1.4e, Forma 1.4d, Forma 1.5c, Forma 1.5b e Forma 1.5a

A quinta geração (forma 1.5a) proporcionou maior potencial fotovoltaico, 4262m² de área total de superfícies de fachada, 717kWh/m² de radiação solar incidente anual e produção anual de eletricidade estimada em 428MWh. O padrão resultante em todas as formas geradas deve-se a aplicação específica da regra escala, ou seja, a manipulação da regra escala proporciona desempenho energético, porém não contempla a variação formal da mesma maneira que as demais etapas (Figura 47).

Etapa 6 (*shear*)

O emprego da *shear deformation* na sexta etapa, resultou em eficiência energética semelhante entre os indivíduos, correspondendo a uma radiação incidente anual média de 652kWh/m².

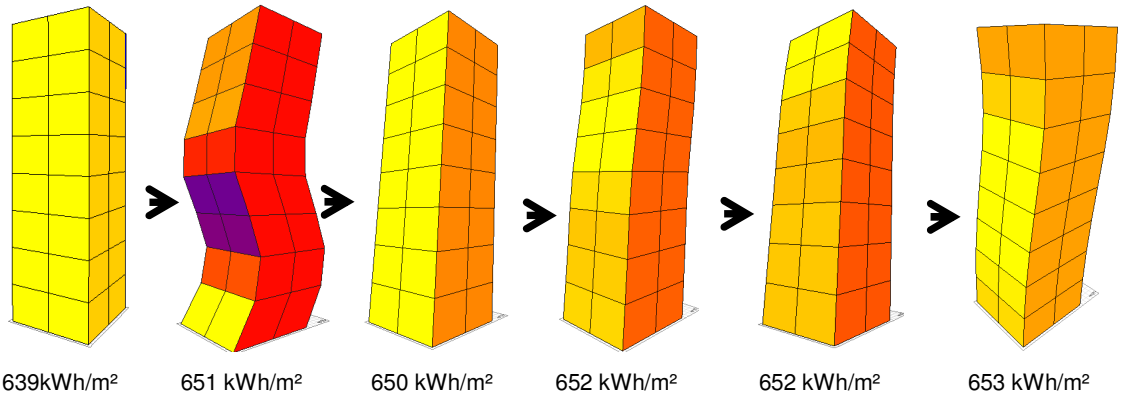


Figura 48. Forma inicial, Forma 1.6e, Forma 1.6d, Forma 1.6c, Forma 1.6b e Forma 1.6a

A forma 1.6a expõe maior quantidade de radiação solar por metro quadrado, em média anual, recebendo 653kWh/m² e produzindo um total anual de 286MWh de

eletricidade. Constata-se assim, que o número restrito de regras não permite maior variabilidade de formas, observado em gerações que exploram maior número de regras (Figura 48).

Etapa 7 (*twist*)

A sétima etapa parametriza, somente, regras de rotações. As soluções geradas sofreram torções, aumentando a radiação solar incidente em relação à forma inicial e resultando em uma média de 638kWh/m².

As torções exercidas em ambos os modelos demonstram no fim das quatro amostras, quão eficiente é a orientação de planos perpendiculares ao plano cartesiano x,y e rotacionados 45° em relação ao norte. A forma 1.7a recebe 823kWh/m² de radiação solar incidente, unindo as quatro fachadas em dois planos. Ou seja, propicia maior quantidade de insolação, no entanto, restringe-se a aplicação do mesmo ângulo de rotação em todas as curvas, resultando em um volume prismático retangular (Figura 49).

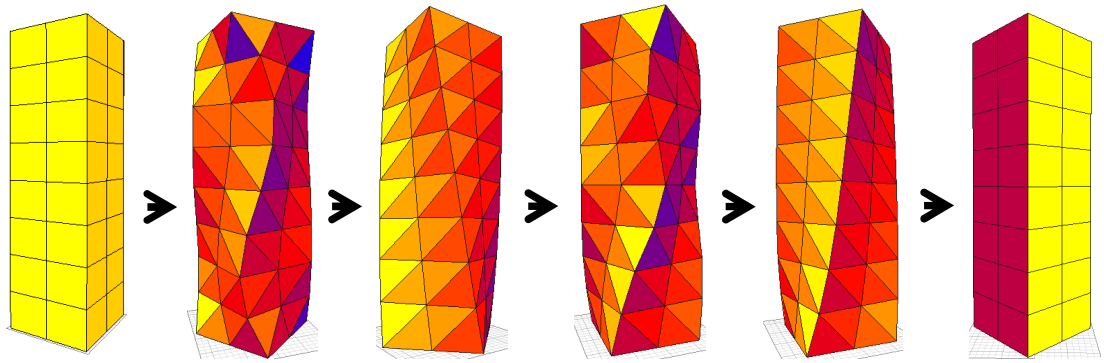


Figura 49. Forma inicial, Forma 1.7e , Forma 1.7d, Forma 1.7c, Forma 1.7b e Forma 1.7a

5.3.2 Modelos gerados na 2° FASE – base fixa (30x15m)

Etapa 1 (*shear* + *taper* + *twist*)

A primeira etapa, da segunda fase experimental, consiste na parametrização das três transformações geométricas *taper, twist* e *shear*: O processo de geração de

formas inicia com um volume de 30x15m, 52m de altura – 639kWh/m² de radiação solar incidente.

A forma inicial sofre alterações geométricas, de acordo com as regras – *shear, taper* e *twist* – resultando em um ganho de 5,7% de insolação na primeira forma e 8,1%. A forma inicial comporta 639kWh/m² de radiação solar incidente, as demais formas geradas recebem, respectivamente, 676, 669, 656, 674 e 691kWh/m². Todas as formas geradas apresentaram regras quanto à rotação, translação e escala, resultando em um conjunto de formas complexas, sob o ponto de vista geométrico, sem abdicar ganhos de radiação solar.

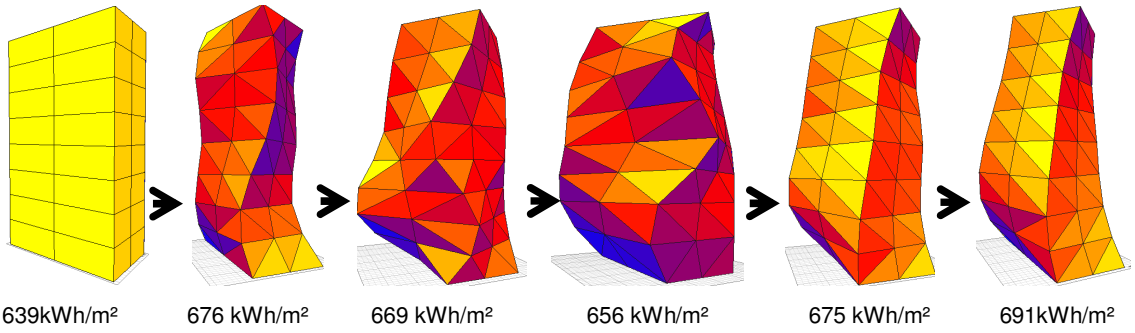


Figura 50. Forma inicial, Forma 2.1e, Forma 2.1d, Forma 2.1c, Forma 2.1b e Forma 2.1a

A quinta geração (forma 2.1a) apresentou maior potencial fotovoltaico, 3804m² de superfícies de fachada, 691kWh/m² de radiação solar incidente anual e produção anual de eletricidade estimada em 368MWh. As regras – rotação, translação e escala – aplicadas em quatro curvas da forma 2.1, demonstram eficiência energética e versatilidade volumétrica perante os resultados desta etapa (Figura 50).

Etapa 2 (*taper* + *twist*)

A segunda etapa correlaciona duas transformações geométricas: *taper* e *twist*. As cinco formas geradas pela a aplicação das transformações recebem em média 676kWh/m² de radiação solar incidindo sobre os planos de fachada. A forma 2.2c possui maior incidência, com 690 kWh/m² e a forma 2.2d recebe 662kWh/m²,

sendo o edifício com menor potencial de captação solar, dentre os indivíduos gerados.

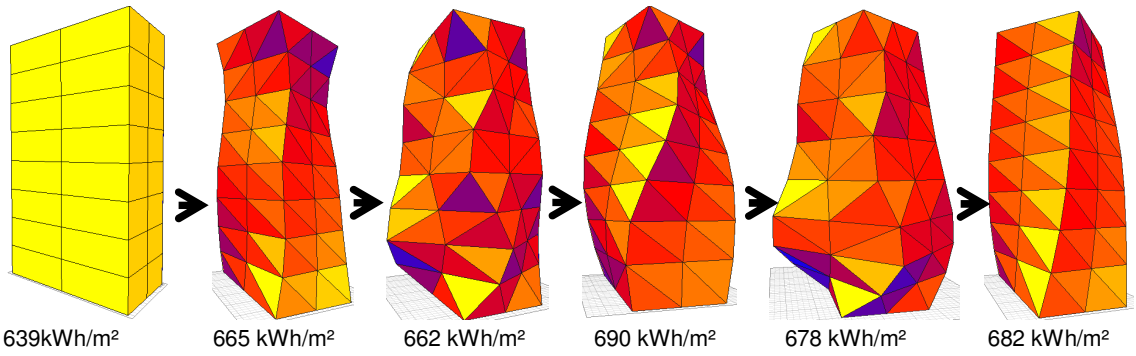


Figura 51. Forma inicial, Forma 2.2e, Forma 2.2d, Forma 2.2c, Forma 2.2b e Forma 2.2a

A terceira e mais otimizada geração (forma 2.2c) expõe 4155m² de superfícies de fachada, 690kWh/m² de radiação solar incidem anualmente nas quatro fachadas e resultam em 401MWh de eletricidade produzida em um ano. A rotação é aplicada nas curvas 2, 3, 4 e 5, enquanto as variações dimensionais – escala – são alteradas em todas as curvas. As regras de escala e rotação aplicadas em todas as formas desta sessão resultam em ganho energético e variabilidade geométrica (Figura 51).

Etapa 3 (*shear* + *taper*)

A terceira etapa aplica regras quanto à escala das faces e translação do eixo volumétrico. Os cinco edifícios gerados recebem, respectivamente, 674, 693, 676, 692 e 674kWh/m² de radiação solar incidente anualmente.

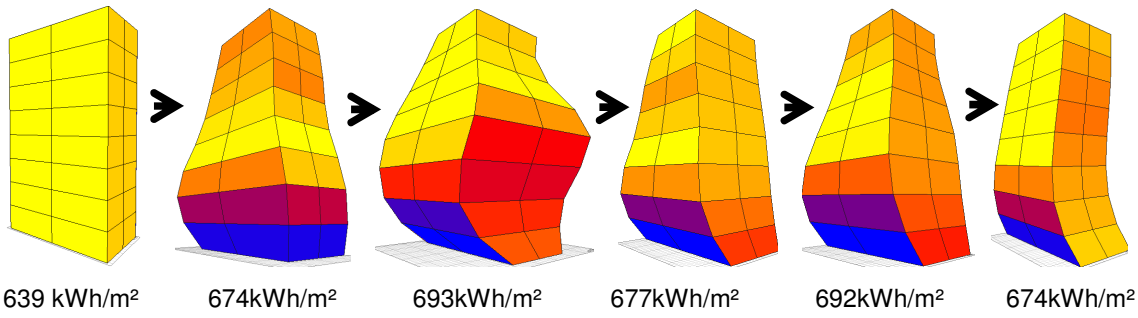


Figura 52. Forma inicial, Forma 2.3e, Forma 2.3d, Forma 2.3c, Forma 2.3b e Forma 2.3a

Incidem 693 kWh/m² sobre as superfícies verticais da forma 2.3d, resultando assim, no edifício mais otimizado dentre as cinco opções geradas nessa etapa. Com 6130m² de fachada e 595MWh de eletricidade gerada anualmente, as regras de translação e escala aplicadas, resultaram em desempenho energético, porém, não contribuíram para a geração de complexidade formal (Figura 52).

Etapa 4 (*shear* + *twist*)

A quarta etapa correlaciona regras de rotação e translação, interagindo assim com os planos de fachada de maneira a explorar soluções geométricas eficientes sob o ponto de vista energético e formal. A rotação atribui linhas curvas, enquanto a translação inclina o eixo do edifício, resultando em cinco formas que exploram diferentes possibilidades geométricas e oferecem de 628 a 638 kWh/m² de radiação solar incidindo sob os planos conformados.

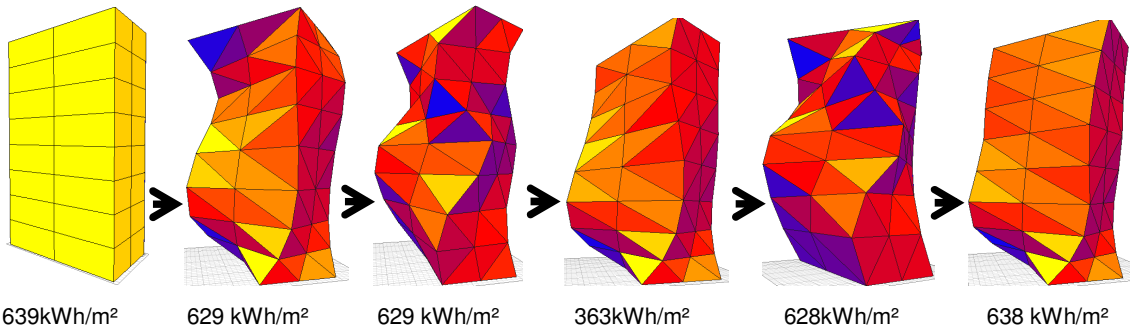


Figura 53. Forma inicial, Forma 2.4e, Forma 2.4d, Forma 2.4c, Forma 2.4b e Forma 2.4a

A forma 2.4a apresenta maior índice de radiação solar incidindo nos planos de fachada, 638 kWh/m². Comparando-a com as demais, constata-se a simplificação geométrica, representada pelas rotações das curvas 2, 3, 4 e 5 – 45°, 37°, 40° e 45° - e translação do eixo das curvas 2, 3, 4 e 5 – 5, 3, 2 e 1m, respectivamente. No entanto, observa-se a similaridade quanto à eficiência energética em todas as gerações (Figura 53). Sendo assim, constata-se que ao manipular transformações geométricas shear e twist é possível alcançam resultados que propiciem variabilidade formal, complexidade geométrica e eficiência energética estável.

Etapa 5 (*taper*)

A quinta etapa emprega, somente, transformações quanto à escala das curvas, modificando suas dimensões no eixo x e y. As formas geradas complementam as análises da primeira fase do experimento, identificando constância nos resultados formais e energéticos.

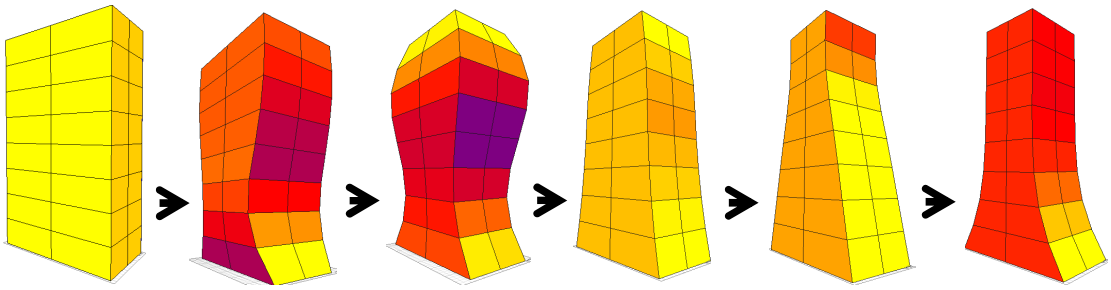


Figura 54. Forma inicial, Forma 2.5e, Forma 2.5d, Forma 2.5c, Forma 2.5b e Forma 2.5a

A primeira forma gerada apresenta 618kWh/m² de insolação, seguida por, 665kWh/m², 670kWh/m², 686kWh/m² e 684kWh/m². A forma com maior potencial fotovoltaico encontra-se na quarta geração, com 3715m² de fachada e 357MWh de produção elétrica anual (Figura 54).

Analisando os resultados energéticos e volumétricos, identificam-se restrições, impostas pela regra de escala, tanto do ponto de vista da eficiência energética como da variabilidade volumétrica.

Etapa 6 (*shear*)

O emprego da deformação geométrica *shear*, sobre as curvas modeladas tridimensionalmente, resultaram em cinco elementos volumétricos, com diferentes inclinações do eixo. Os resultados geométricos representam uma média de 638kWh/m² de radiação solar incidente. As transformações geométricas tendem a inclinar o plano vertical norte, tanto quanto possível, permitindo maior absorção dos raios solares anuais.

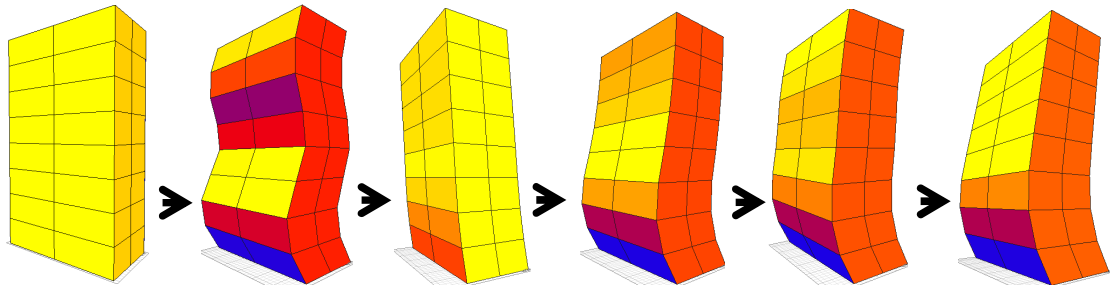


Figura 55. Forma inicial, Forma 2.6e, Forma 2.6d, Forma 2.6c, Forma 2.6b e Forma 2.6a

A primeira forma gerada apresenta 637kWh/m² de insolação, através das inclinações afirmativas e contrárias a normal solar incidente. A forma 2.6a apresenta 642kWh/m² anuais de insolação, inclinando-se somente em uma direção, coincidente a normal solar. No entanto, somente 5kWh/m² variam de uma forma para a outra (Figura 55).

Dentre os cinco resultados, somente o primeiro atribui variabilidade formal no momento de inclinação dos planos de fachada, enquanto os demais seguem a continuidade dos planos inclinados.

Etapa 7 (*twist*)

A sétima e última etapa parametriza as curvas modeladas quanto à rotação. As soluções geradas sofrem torções, entre 0 e 45°, resultando em um conjunto de formas com relativa complexidade e índices de radiação solar incidentes lineares, sem variações bruscas. Ou seja, as cinco formas obtém em média 638kWh/m² de insolação, sendo que a forma 2.7e obteve maior desempenho, 643kWh/m².

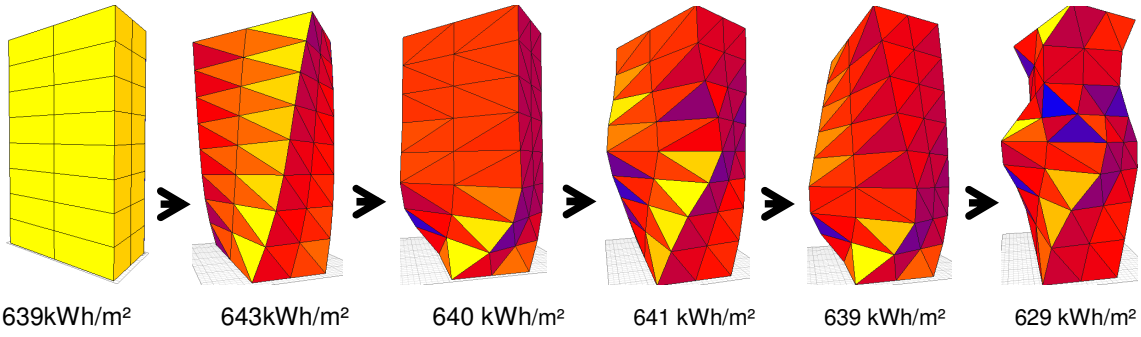


Figura 56. Forma inicial, Forma 2.7e, Forma 2.7d, Forma 2.7c, Forma 2.7b e Forma 2.7a

A etapa 7 permitem concluir que a rotação é a única regra, que mesmo isolada, ou seja, sem correlacionar-se com outras transformações, alcança variabilidade nas soluções arquitetônica, percorrendo as médias de incidência solar exercidas em outras etapas (Figura 56).

Os resultados obtidos durante o processo generativo demonstram a complexidade de formas advindas da modelagem geométrica. Através das regras, *shear*, *taper* e *twist*, e da correlação com os resultados de radiação solar incidente anual, foi possível selecionar as melhores soluções, dentro de um campo de alternativas. Verifica-se maior eficiência nas etapas onde prevalecem as regras de rotação, do que nas etapas que só aplicam translação e escala. As etapas que correlacionam à regra rotação possuem o estreitamento da interface entre radiação solar incidente e alternativas geométricas, em relação às etapas que só aplicam as regras translação e escala. Assim, observam-se os seguintes resultados:

A primeira fase (Figura 57) do estudo de caso, apresenta maior potencial na sétima etapa (*twist*) com 823kWh/m² de radiação solar incidente anual; e menor potencial na quarta etapa (*shear* e *twist*), 652kWh/m². Na segunda fase (Figura 58) do estudo de caso, os resultados de radiação solar incidente variam de 693kWh/m² a 638kWh/m². Conclui-se assim, que as restrições impostas na segunda etapa, mantendo a base (curva 1) estável, estabelecem constância dos dados de incidência.

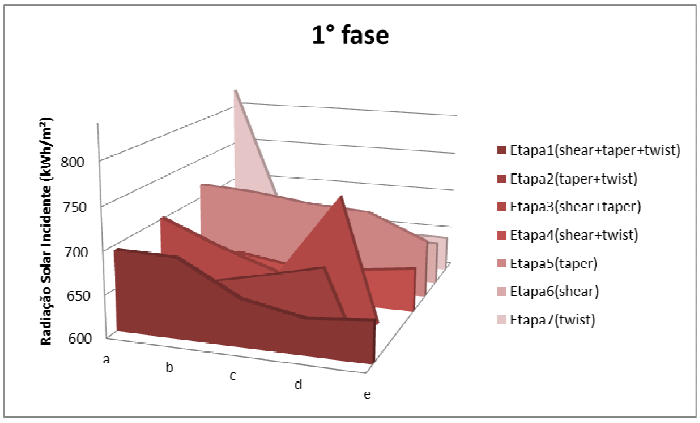


Figura 57. Gráfico da 1° fase experimental, confrontando as formas geradas por diferentes transformações geométricas e a radiação solar incidente anual.

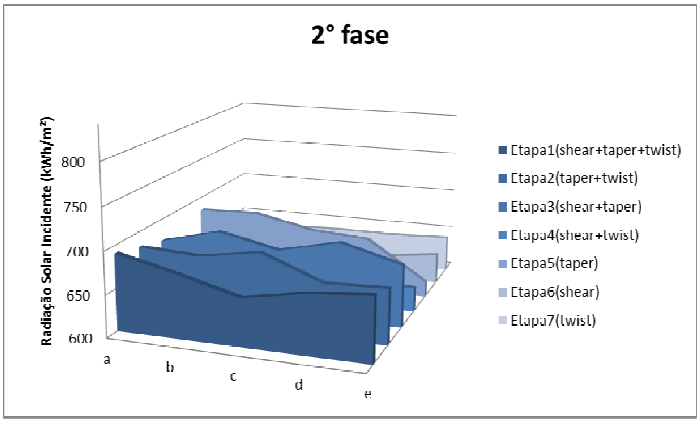


Figura 58. Gráfico da 2° fase experimental, confrontando as formas geradas por diferentes transformações geométricas e a radiação solar incidente anual

As correlações exercidas, simultaneamente, entre as transformações geométricas twist, taper e shear, ilustradas na primeira etapa das duas fases geracionais, resultam em complexidades geométricas e médias de radiação solar incidente, semelhantes. A etapa1, da primeira fase generativa recebe em média 666kWh/m², enquanto a etapa1, da segunda fase, recebe uma média de 673kWh/m² de insolação. Na maioria das etapas que o objeto em estudo sofre rotações é possível observar a manifestação de linhas curvas complexas, resultando na triangularização dos planos de fachada.

Na maior parte das formas geradas foi possível constatar superfícies sombreadas na fachada sul, além de algumas superfícies sombreadas em pontos específicos nas fachadas leste e oeste. Nestas superfícies sombreadas, ou seja, com baixa incidência solar, na se recomenda , por óbvio, a utilização de PVs.

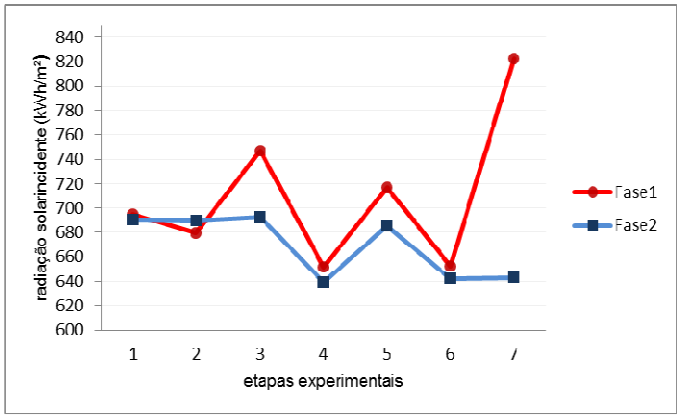


Figura 59. Gráfico confrontando as formas de cada etapa geracional e potencial energético

Analisando os resultados de ambas as fases do estudo de caso de Porto Alegre (Figura 59), é possível verificar continuidade no desempenho energético, através da média de radiação solar incidente anual, em todas as etapas; com exceção da etapa 7 da segunda fase do experimento, conforme o gráfico acima descreve.

Após analisar os resultados gerados nas duas fases do experimento, através de dados quantitativos e qualitativos (Tabela 9 e Tabela 10) quanto à radiação solar, potencial fotovoltaico e variabilidade formal foi possível selecionar formas com potencial para a manipulação de seus pontos de controle e possível aumento performático, conforme a sessão a seguir demontra.

5.4 Manipulação de superfícies NURBS

Esse procedimento realiza a manipulação dos pontos de controle da superfície NURBS, visando o aumento da incidência solar por metro quadrado. Ou seja, tendo uma forma potencialmente considerada ótima pelo processo de geração e seleção, posteriormente, manipula-se a forma para maximizar a radiação solar incidente em cada plano de fachada.

Com base no conjunto de formas e no quadro evolutivo (Tabela 9 e Tabela 10) gerado pelo processo generativo da seção anterior, foi possível analisar as correlações existentes entre regras aplicadas em cada etapa e a eficiência energética assumida pelas formas. Em ambas as fases do experimento, a etapa 1 gerou formas complexas; isto porque aplicou o maior número de regras – rotação, translação e escala – em comparação as demais etapas. Ou seja, quanto maior o número de operações que a forma é submetida, maiores serão os ganhos de exploração da forma.

Devido a este estudo tratar dos limites entre forma e tecnologia, explorando complexidade e otimização geométrica, selecionaram-se duas formas, ambas contidas na primeira etapa do estudo caso, correlacionando às deformações rotação, translação e escala. As duas formas com maior desempenho solar na aplicação de regras de rotação, translação e escala (a forma 1.1a e a forma 2.1a) correspondem a 694,7kWh/m² e 690,9kWh/m² de radiação solar anual incidente nas quatro orientações dos planos de fachada.

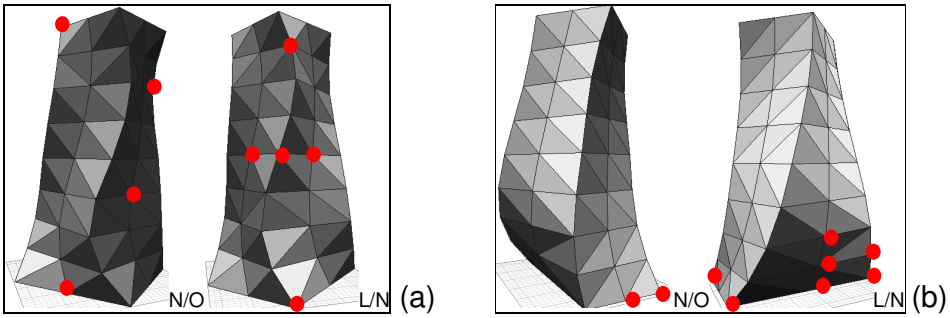
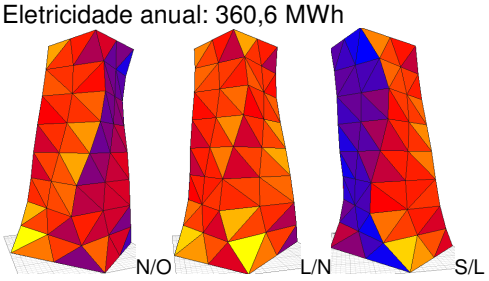


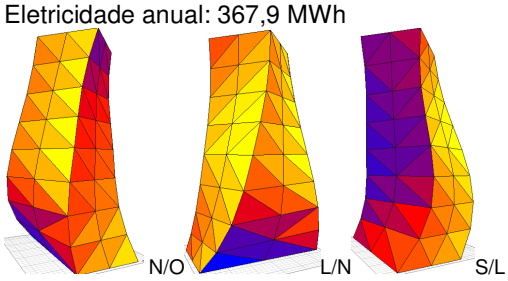
Figura 60 Perspectivas das (a) Forma 1.1a e (b) Forma 1.2a com a representação dos pontos de controle utilizados para a manipulação final da forma

Uma vez selecionadas as duas formas com maior potencial fotovoltaico, foram manipulados três pontos de controle, correlacionando resultados obtidos com o software *Rhinoceros* e o software *Ecotect*. O procedimento é reproduzido três vezes, manipulando nove pontos de controle (Figura 60) e resultando em pequenos ganho na radiação solar incidente nos planos de fachada, conforme o esquema a seguir demonstra.

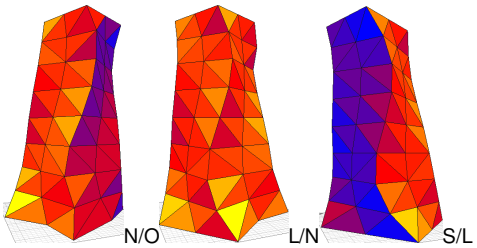
FORMA 1.1a
Área: 3707.6m² e 128 planos
Insolação anual: 694,7 kWh/m²
Eletricidade anual: 360,6 MWh



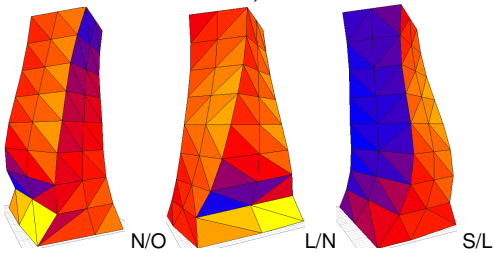
FORMA 2.1a
Área: 3804.0m² e 128 planos
Insolação anual: 690,9 kWh/m²
Eletricidade anual: 367,9 MWh



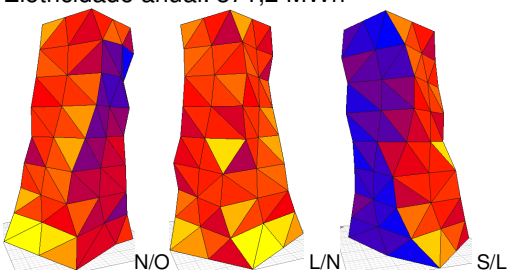
1°manipulação 1.1a
Manipulação: 3 pontos de controle
Área: 3741.2 m² e 128 planos
Insolação anual: 697,9 kWh/m²
Eletricidade anual: 365,6 MWh



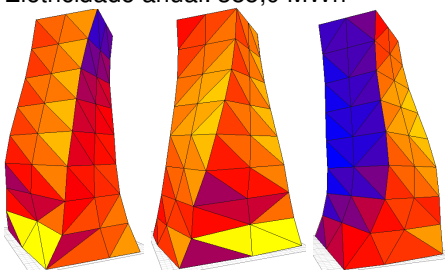
1°manipulação 2.1a
Manipulação: 3 pontos de controle
Área: 3832.9 m² e 128 planos
Insolação anual: 710,3 kWh/m²
Eletricidade anual:381,2 MWh



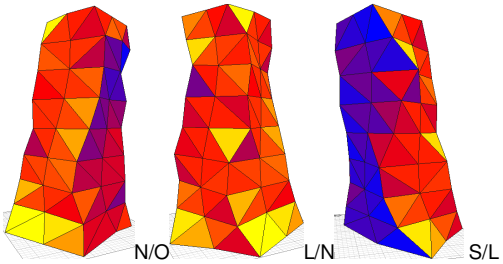
2°manipulação 1.1a
Manipulação: 3 pontos de controle
Área: 3792.3 m² e 128 planos
Insolação anual: 699,2 Wh/m²
Eletricidade anual: 371,2 MWh



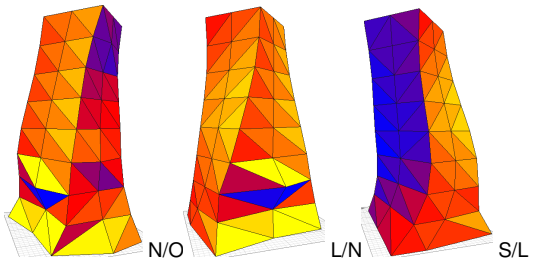
2°manipulação 2.1a
Manipulação: 3 pontos de controle
Área: 3854.6m² e 128 planos
Insolação anual: 713,5kWh/m²
Eletricidade anual: 385,0 MWh



3°manipulação 1.1a
Manipulação: 3 pontos de controle
Área: 3843.3m² e 128 planos
Insolação anual: 707,1 Wh/m²
Eletricidade anual: 380,5 MWh



3°manipulação 2.1a
Manipulação: 3 pontos de controle
Área: 3895.5m² e 128 planos
Insolação anual: 716,9 Wh/m²
Eletricidade anual: 391,0 MWh



Na primeira manipulação, da forma 1.1a, os pontos de controle concentram-se na zona inferior do volume, visando a otimização dos pontos identificados na analise geracional. Na segunda manipulação ocorreram modificações no corpo central e superior, sempre considerando os planos de fachada norte, leste e oeste, visto que a fachada sul da edificação teste recebe baixo índice de incidência solar, não indicando o uso de painéis fotovoltaicos. Na terceira e última manipulação, três pontos centrais foram modificados e concluíram o processo resultando em um aumento (2%) da radiação solar incidente.

A manipulação da forma 2.1a modifica primeiramente os pontos correspondentes à base, onde os painéis encontram-se com menor ganho de incidência solar. Na segunda e terceira interação, as manipulações continuam concentrando-se na zona inferior do volume, visto que o corpo e zona superior já se encontravam com índices consideráveis de irradiação. Os resultados de incidência solar demonstraram melhoria de 4% nesta etapa.

Durante os procedimentos de otimização – definição da localização e tecnologia, modelagem, geração de formas e otimização – verificou-se o potencial disponível pelos ambientes computacionais para trabalhar integradamente com a manipulação da forma e sua performance. Neste estudo, utilizou-se somente a componente incidência solar vinculado à aplicação fotovoltaica, no entanto, os designs paramétricos e performáticos demonstraram potencial para estudos futuros vinculando outras variáveis, restrições e objetos de estudo.

6. CONCLUSÕES

Na introdução deste trabalho, caracteriza-se a importância das tecnologias de geração de energia limpa e as implicações que as mesmas passam a exercer sobre a forma do edifício. Após verificar as restrições técnicas e formais dos sistemas fotovoltaicos e alguns métodos de otimização, foi sugerida a vinculação do design paramétrico e ambientes computacionais através de um modelo que permitisse gerar uma variedade de soluções compositivas, considerando a articulação das formas arquitetônicas, dos componentes fotovoltaicos e da incidência solar.

O método proposto aplica ferramentas computacionais de modelagem geométrica e simulação solar no processo de projeto paramétrico, para otimizar planos de fachada que utilizam a tecnologia fotovoltaica. Este trabalho buscou um método de integração entre Rhinoceros/Grasshopper e Ecotect Analysis, construindo assim, um procedimento de otimização geométrica de planos fotovoltaicos. Com o uso desta ferramenta de otimização, os critérios de adequação pré-estabelecidos, e posteriormente parametrizados, promovem o estreitamento da interface entre a geração de formas e a tecnologia fotovoltaica. A modelagem do procedimento de otimização permitiu aumentar as possibilidades de articulação entre os planos fotovoltaicos e a eficiência energética, correlacionando variabilidade formal, complexidade e geração de energia elétrica. As regras, *taper*, *shear* e *twist* permitiram gerar um conjunto de soluções otimizadas, correlacionando dados energéticos e geométricos, através da interação entre métodos de geração de formas e avaliação do desempenho.

O conjunto de procedimentos apontou para a viabilidade de projetos paramétricos, interagindo geração e simulação da forma construída. O design paramético, relacionando forma e desempenho energético, permite explorar formas energéticamente eficientes, juntamente com a exploração e manipulação da forma do edifício – integrando a tecnologia fotovoltaica no início do processo de projeto.

Desdobramentos possíveis desta dissertação envolvem:

(a) Ampliar os condicionantes tecnológicos e computacionais, vinculando tecnologias de desenvolvimento sustentável (conforto térmico, conforto acústico, conforto lumínico, entre outros) as caracteristicas de angulação e forma dos painéis fotovoltaicos

(b) Investigações futuras, também podem experimentar a utilização de outras ferramentas computacionais de representação digital do processo de construção, facilitando assim a interação de informações digitais (BIM – *building information modeling*).

(c) Aplicar a metodologia proposta correlacionando outras restrições e variáveis, através de diferentes transformações geométricas, outros semicondutores; explorando materiais translúcidos, semitranslúcidos e flexíveis, entre outros.

(d) Ampliar o número de situações, aplicações e objetos arquitetônicos envolvidos no procedimento de otimização fotovoltaica; como: cascas estruturais, coberturas, mobiliário urbano, entre outros.

(e) Aprofundar as questões construtivas, relacionando a forma do edifício e os custos de construção, integrando a perspectiva arquitetônica e urbana.

(f) Adicionar restrições considerando sombreamento de árvores, edificações vizinhas e outros elementos característicos da densidade urbana.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, P. F., Ribeiro A. V. R. and Freitas, M. A. S. *Modelos Computacionais Baseados na Biologia: Algoritmos Genéticos e Redes Neurais Artificiais.* Revista Tecnologia n.18, pg. 92-98. Fortaleza: dez. 1997.

ALLGAYER, R. *Formas naturais e estruturação de superfícies mínimas em arquitetura*. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ALVAREZ, R. L. P. *Otimização de Formas de Cascos de Deslocamento em relação a sua resistência ao avanço*. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ANFLOR, C. T. M. *Otimização evolucionária e Topológica em Problemas Governados pela Equação de Poisson Empregando o Método dos Elementos de Contorno*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ARBIETO, A.; MATHEUS C.; OLVEIRA K. *O trabalho de Ensino de Giorgi sobre o problema de Plateau*. Disponível em < http://www.im.ufal.br/professores/krerley/artigos/degiorgi.pdf> Visitado em 19 jul. 2011.

BARISON, M. B. *Malhas planas poligonais em desenho geométrico*. Geométrica. Vol.1. n.12ª, 2005. Disponível em: <www.mat.uel.br/geometrica> Visitado em: 26 jul. 2010.

BECHTHOLD, M. *Innovative Surface Structures – Technologies and Applications*. 1º ed. Oxon: Taylor & Francis, 2008.

BENTLEY, P. *Evolutionary design by computers*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1999.

BEZERRA, A. M. *Aplicações térmicas da energia solar.* 3º ed. João Pessoa: editora universitária UFPB, 1998.

BURRY, M. *Between Intuition and Process: Parametric Design and Rapid Prototyping*. In Kolarevic B., ed. Architecture in the Digital Age – Design and Manufacturing. New York: Spon Press, 2003.

CELANI, G.. *Cad criativo*. Rio de Janeiro: editora campus, 2003.

CELANI, G.; CYPRIANO, D.; GODOI, G. de; VAZ, C. E. *A gramática da forma como metodologia de análise e síntese em arquitetura.* Revista Conexão – Comunicação e cultura, UCS, Caxias do Sul, v.5, n° 10, jul/dez, 2006.

CHARRON, R.; ATHIENITIS, A. *The use of genetic algorithms for a net-zero energy solar home design optimization tool.* Disponível em: <http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-

rncan.gc.ca/eng/buildings_communities/buildings/pv_buildings/publications/2006161.html> Visitado em: 13 out. 2010.

CHENG, C. *Curves Photovoltaic Surface Optimization for BIPV: An Evolutionary Approach Based on Solar Radiation Simulation*. Dissertação de mestrado. Master of Science in Adaptative Architectural and Computation, University of London, London, 2009.

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F.; Tradução: Alexandre Salvaterra. *Técnicas de vedação Fotovoltaica na Arquitetura*. Porto Alegre: Bookman, 2010.

COMETTA, E. *Energia Solar: utilização e empregos práticos*. 2°ed..São Paulo: hemus, 1978.

DIAS, J. B. *Instalação Fotovoltaica Conectada à Rede: Estudo Experimental para a Otimização do fator de dimensionamento*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006. Orientador Arno Krezinger.

ENERGIA FOTOVOLTAICA: *Manual sobre tecnologias, Projecto e Instalação*. Projeto GREENPRO. Portugal. Jan. 2004. Disponível em: <http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf> Visitado em: 08 jun. 2010.

FARRET, F. A. *Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica*. Santa Maria: Editora UFSM, 1999.

FASOULAKI, E. *Genetic Algorithms in Architecture: a Necessity or a Tred?*. Master of Science in Architecture, Computation Group. Department of Architecture, Massachusetts Institut of Technology, 2007.

FISCHER, T; HERR, C.M. *Teaching Generative Design*. Disponível em: < http://www.generativeart.com/on/cic/ga2001_PDF/fischer.pdf> Visitado em: 22 jun. 2010.

FISCHER, K.; GÂRTNER, B.; HERRMANN, T.; HOFFMANN, M.; PACKER, E.; SCHÔNHERR, S. In CGAL Editorial Board, *CGAL-3.2 User and Reference Manual*, 2006. Disponível em: <http://www.cgal.org/Manual/3.2/doc_html/cgal_manual/Optimisation/Chapter_main.html> Visitado em: 09 nov. 2010.

FONSECA, C. A. G. *Algoritmos Genéticos para Otimização de uma Arquitetura de Controle Inteligente Hierárquico.* Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005. Orientador Fábio Meneguetti.Ugulino de Araújo.

FROTA, A. B. *Geometria da Insolação*. São Paulo: Geros, 2004.

GOETZBERGER, A.; HOFFMANN, V.U. *Photovoltaic Solar Energy Generation.* Heidelberg: Springer, 2005.

HAFTKA, R. T.; GÜRDAL Z. *Elements of Structural Optimization*. 3ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 1999, c1992.

HECKTHEUER, L. A. *Análise de associações de módulos fotovoltaicos*. Tese de Doutorado, PROMEC/ UFRGS, Porto Alegre, 2001.

HOLLAND, J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Massachusetts: MIT Press, 1992.

HU, S.; LI, Y.; JU, T.; ZHU, X. Modifying the shape of NURBS surfaces with geometric constraints. Computer-Aided Design 33, 903-912, 2001. Disponível em <www.elsevier.com/locate/cad> Visitado em: 21 jan. 2011.

KOLAREVIC, B. *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Taylor & Francis, 2003.

KOLAREVIC, B. and MALKAWI, A. M. *Performative Architecture – Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, 2005.

LEE, F.; BEAURECUEIL, A. S. *Museu Mercedes-Benz e o modelo de arquitetura paramétrica*. UNStudio - Stuttgart, Alemanha, 2002/2006**.** *Revista aU*, edição 181, abr. 2009.

LORENZO, E. *Electricidad Solar: Ingenieria de los sistemas fotovoltaicos*. Madrid: Instituto de Energía Solar Universidad Politécnica de Madrid, 1994.

MAYER, R. *A linguagem de Oscar Niermeyer*. Dissertação de mestrado. Programa de pesquisa e pós-graduação em arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Orientador Benamy Turkienicz.

MITCHELL, W. *A lógica da arquitetura*. Tradução: Gabriela Celani. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.

MITCHELL, W; MCCULLOUGH, M. *Digital Design Media*. 2ed. Canada: John Wiley & Sons, 1995.

MORTENSON, M. E. *Geometric Modeling*. New York: John Wiley & Sons, 1985.

NATIVIDADE, V. G. *Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais*. Dissertação de mestrado. Curso de pós-graduacão da faculdade de arquitetura e urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010. Orientador Alessandro Ventura.

OXMAN, R. *The conceptual content of digital architecture. A content analysis in design*. Arquitetura Revista: Unisinos. Vol.1, nº1; jan.- jun., 2005.

PROUSALIDOU, E. *A parametric System of Representation based on Ruled Surfaces*. Master of Science in Adaptative Architecture & Computation. University of London, 2006.

POTTMANN, H.; ASPERL A.; HOFER, M.; KILIAN, A. *Architectural Geometry*. Bentley Institut Press, 2007.

RIGHI, T.; CELANI, G.. *Esboços na era digital – Uma discussão sobre as mudanças na metodologia de projeto arquitetônico*. Congresso Iberoamericano de gráfica digital SIGRADI, Havana, Cuba, 2008.

ROGERS, D. F.; ADAMS, J. A. *Mathematical Elements for Computer Graphics*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1976.

RÜTHER, R. *Edifícios solares fotovoltaicos.* 1ed. Florianópolis: UFSC, 2004.

SANTOS, M. F. D. *Balanço Enrrgético de um Módulo Fotovoltaico*. Dissertação de mestrado. Curso de mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Lisboa. Lisboa, 1995.

SCHODEK, D.; BECHTHOLD M.; GRIGGS, K.; KAO, K.M.; STEINBERG M. *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design.* New Jersey: John Willey & Sons, 2005.

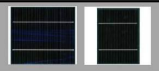
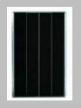
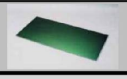
SOUZA, A.; COELHO, R. *Tecnologia CAD/CAM – Definições e estado da arte visando auxiliar sua implementação em um ambiente fabril*. XXIII Encontro Nacional de Eng. de Produção: Ouro Preto, 2003.

THOMAS, R., FORDHAM, M., and PARTNERS. *Photovoltaic and Architecture*. New York: Spon Press, 2003.

WOODBURY, R. *Elements of Parametric Design.* 1ed. New York: Taylor & Francis Group, 2010.

ZANESCO, I., MOEHLECKE, A., SEVERO, T.C., SANTOS JUNIOR, S.L.R., ZENZEN, E. A., EBERHARDT, D.. *Implementação e análise de sistemas fotovoltaicos autônomos*. Anais do X Congresso Brasileiro de Energia, 2004.

Tabela comparativa com características geométricas dimensionais e eficiência de alguns semicondutores

	SEMICONDUTOR	EFICIÊNCIA	FORMA DA CÉLULA	DIMENSÕES	ESP.	IMAGEM	COR
Silício cristalino	silício monocristalino	15 – 18 %	redonda/ semi-quadrada/ quadrada	10x10 cm² ou 12,5x12,5 cm² diâmetro 10, 12,5 ou 15 cm	0,3 mm		gama de azul-escuro para preto (Anti-reflexão), cinza (Anti-Reflexão)
	silício policristalino ou multicristalino	13-15 %	quadrada	10x10 cm², 12,5x12,5 cm² e 15x15 cm²	0,3 mm		azul (com AR), cinza prateada (sem AR)
	silício policristalino power/ translúcido	10%	quadrada	10x10 cm²	0,3 mm		azul (com AR), cinza prateada (sem AR)
	silício policristalino EFG	14%	quadrada ou retangular	10x15 cm², 10x10 cm²	~0,28cm		azul (com AR)
	faixa de filamentos silício policristalino	12%	retangular	8x15 cm²	~0,3 mm		azul (com AR), cinza prata (sem AR)
	rede dendrítica silício monocristalino	13%	retangular	3,3 x 10 cm²	0,13 mm		azul (com AR)
	policristalinas Apex	9,5%	quadrada	20,8 x 20,8 cm²	0,3 + 0,1 + substrato cerâmico		azul (com AR), cinza prata (sem AR)
Película fina	silício amorfo	5 – 8 %	livre escolha	módulo standard máx. 0,77 x 2,44 m² ; módulo especial máx. 2 x 3 m²	1 – 3 mm (substrato)+ 0,001 mm		castanho avermelhado a preto
	Diselenieto de Cobre e Índio (CIS)	7,5 – 9,5 %	livre escolha	máx. 1,20 x 0,6 m²	3 mm (substrato) + 0,003 mm		preta
	Telurieto de Cádmio(CdTe)	6 - 9 %	livre escolha	máx. 1,20 x 0,6 m²	3mm (substrato)+ 0,008 mm		Reflectividade de verde-escuro a preto
híbridas	híbridas HCI	17,30%	Quadrada (estriada)	104 mm x 104 mm	0,2 mm		Azul escura a praticamente preto
novos conceitos	nanocristalinas sensitivizadas com colorantes	12 % (lab.) 5% (1°lote)					
	microcristalinas e micromorfas	8,5 % - 12 %					

APÊNDICE B

Forma Inicial 1

Volume elementar base 15x15

Restrições:

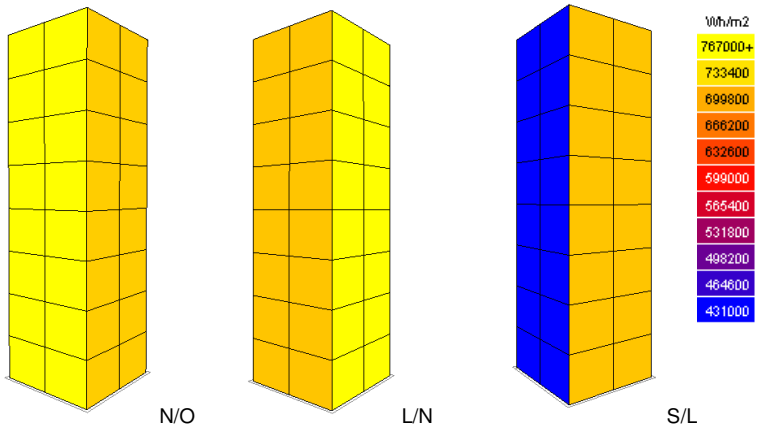
- Localização: Porto Alegre
- Altura: 52m (17 pavimentos)
- Mapeamento: U=8 e V=2

Regras:

- Shear: Curva1 e=0; Curva2 e=0; Curva3 e=0; Curva4 e=0; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°.

Resultados:

- Área: 3120.0 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) - Forma elementar 15x15

- Radiação solar incidente anual = 639 377 Wh/m²
- Produção anual de eletricidade = 279 280 320 Wh

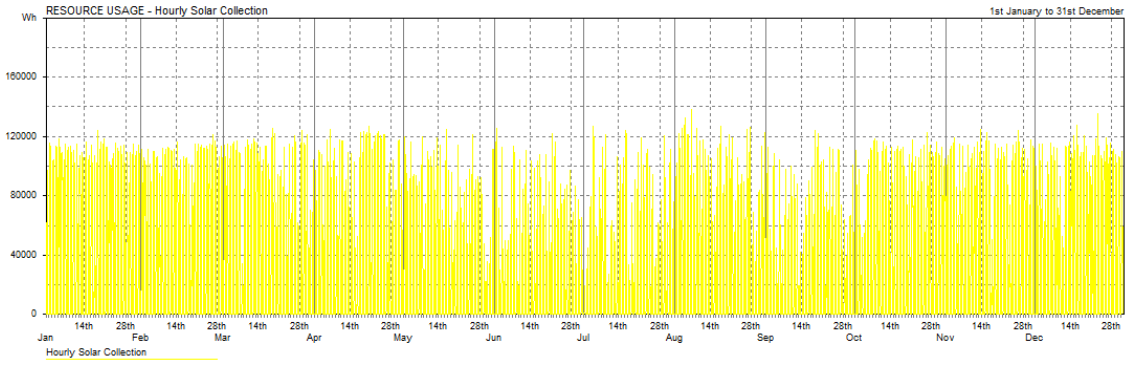


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma elementar 15x15

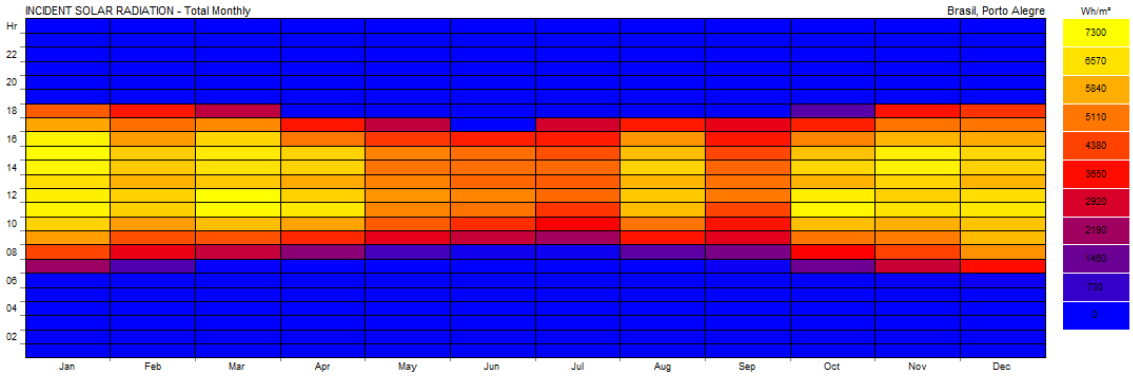
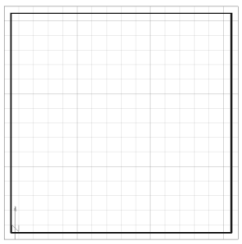


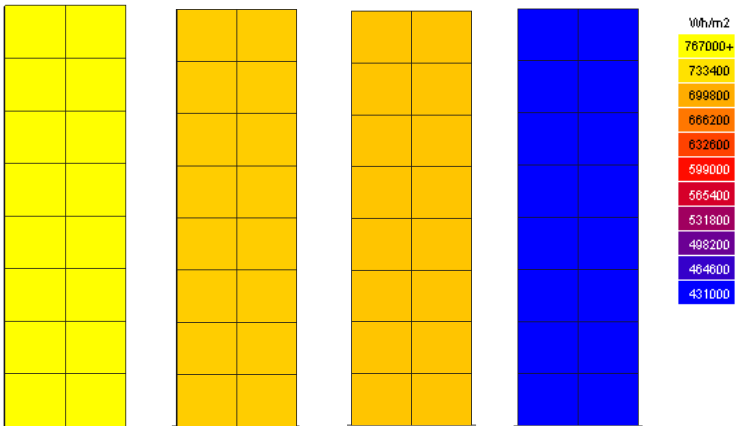
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma elementar 15x15

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	50%	0	71957	224505968
Feb	193958	50%	0	60211	187858176
Mar	186675	50%	0	60062	187393728
Apr	149291	50%	0	51967	162137664
May	116615	50%	0	42807	133558240
Jun	93206	50%	0	34826	108656768
Jul	97979	50%	0	36173	112859848
Aug	148497	50%	0	51564	160879088
Sep	96085	50%	0	38283	119442768
Oct	179179	50%	0	59852	186739600
Nov	200125	50%	0	65208	203448384
Dec	216384	50%	0	66467	207375872
TOTALS	1908995		0	639377	1994856192

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma elementar 15x15



Planta baixa – Forma elementar 15x15



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma elementar 15x15

Forma Inicial 2

Volume elementar base 30x15

Restrições:

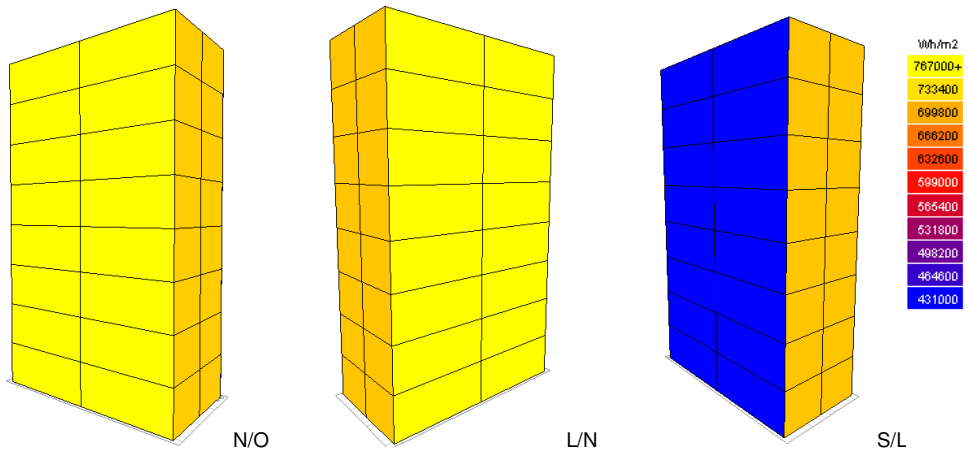
- Localização: Porto Alegre
- Altura: 52m (17 pavimentos)
- Mapeamento: U=8 e V=2

Regras:

- Shear: Curva1 e=0; Curva2 e=0; Curva3 e=0; Curva4 e=0; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°.

Resultados:

- Área: 4680.0 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) - Forma elementar 30x15

- Radiação solar incidente anual = 639 377 Wh/m²
- Produção anual de eletricidade = 407 292 480 Wh

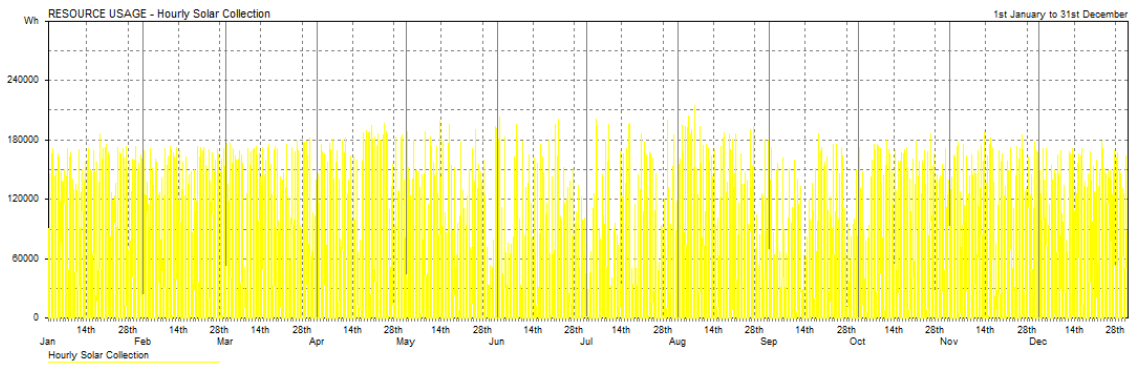


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma elementar 30x15

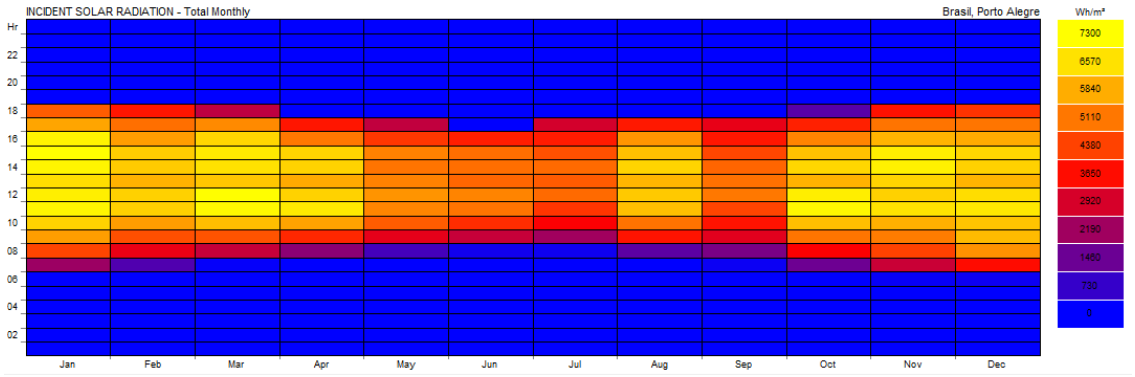
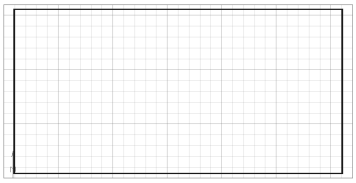


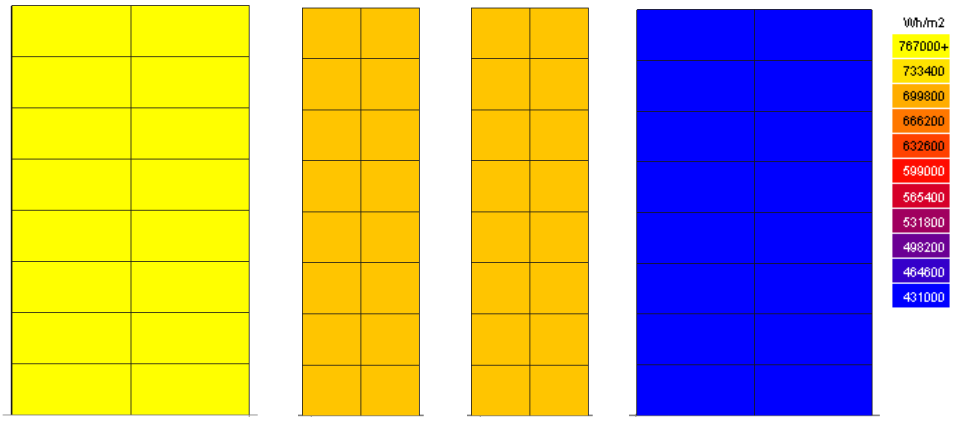
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma elementar 30x15

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	50%	0	71957	336758944
Feb	193958	50%	0	60211	281787264
Mar	186675	50%	0	60062	281090592
Apr	149291	50%	0	51967	243206496
May	116615	50%	0	42807	200337360
Jun	93206	50%	0	34826	162985152
Jul	97979	50%	0	36173	169289760
Aug	148497	50%	0	51564	241318640
Sep	96085	50%	0	38283	179164144
Oct	179179	50%	0	59852	280109376
Nov	200125	50%	0	65208	305172576
Dec	216384	50%	0	66467	311063808
TOTALS	1908995		0	639377	2992284416

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma elementar 30x15



Planta baixa – Forma elementar 30x15



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma elementar 30x15

Primeira Fase Geracional – Base móvel

Etapa 1 – twisting + tapering + shear (rotação + escala + translação)

FORMA 1.1a

Variáveis:

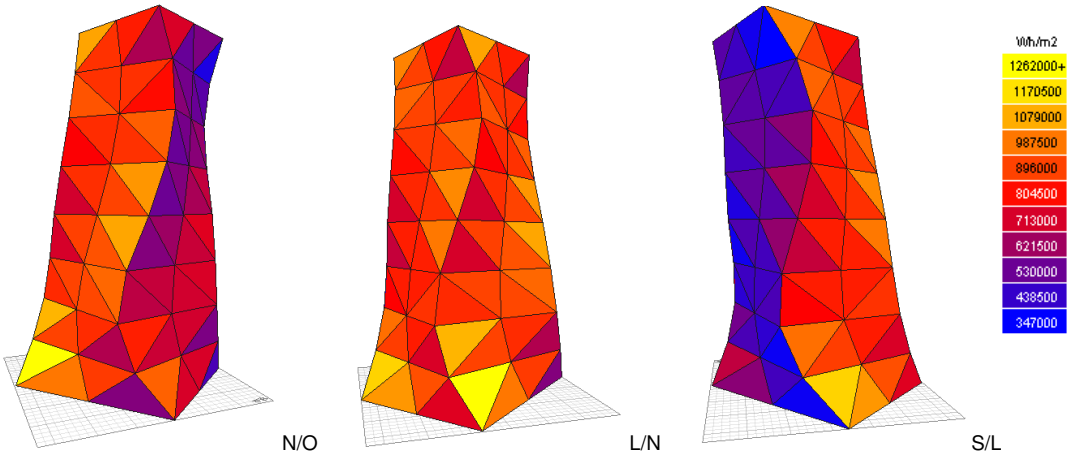
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e=5; Curva2 e=4; Curva3 e=3; Curva4 e=2; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 25m Curva1 Lb= 20m
  Curva2 La= 20m Curva2 Lb= 18m
  Curva3 La= 18m Curva3 Lb= 16m
  Curva4 La= 16m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 16m
- Twisting: Curva1 a=42°; Curva2 a= 15°; Curva3 a= 30°; Curva4 a= 45°; Curva5 a= 27°.

Resultados:

- Área: 3707.6 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) - Forma 1.1a

- Radiação solar incidente anual = 694,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 360,6 MWh

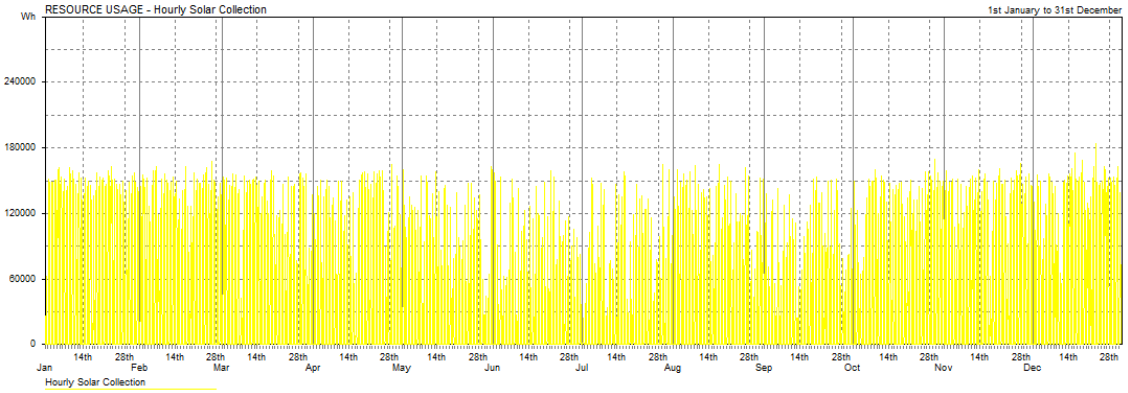


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.1a

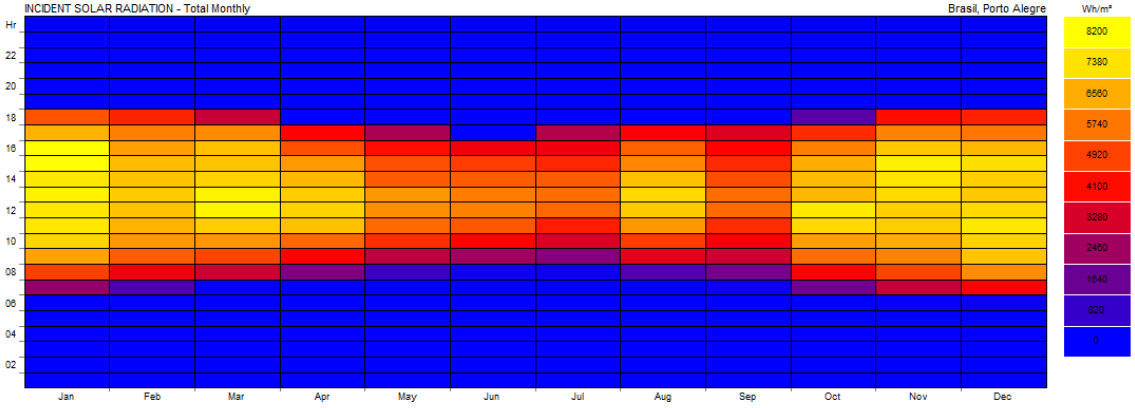
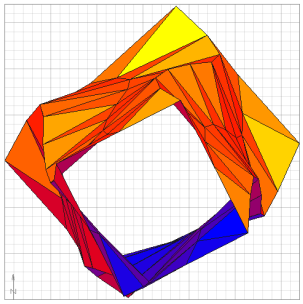


Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.1a

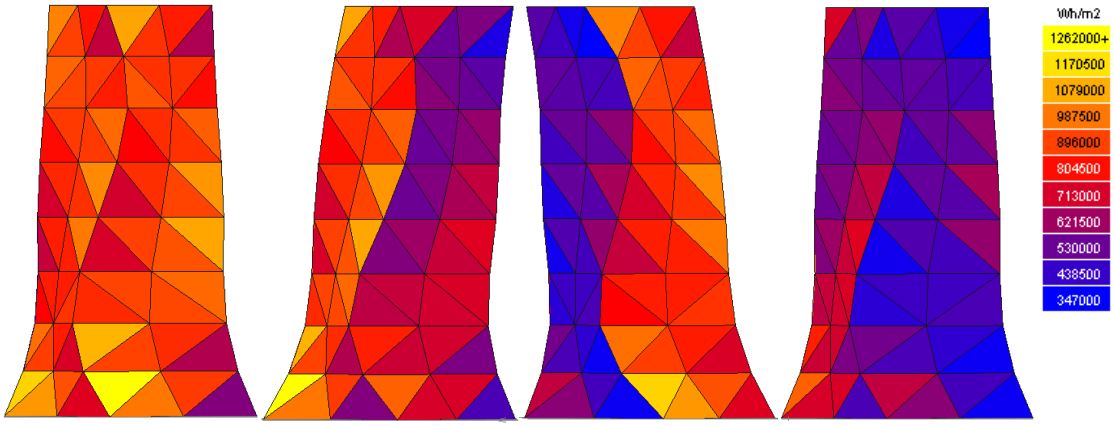
TOTAL MONTHLY SOLAR EXPOSURE
Brasil, Porto Alegre
Objects: 128 (Exposed Area: 3707.628 m2)

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	229645	50%	0	80947	300120960
Feb	193958	50%	0	67745	251172608
Mar	186675	50%	0	65595	243202416
Apr	149291	49%	0	54384	201634944
May	116615	49%	0	44279	164168624
Jun	93206	49%	0	36112	133891272
Jul	97979	49%	0	37529	139143120
Aug	148497	50%	0	53627	198829008
Sep	96085	50%	0	40384	149728496
Oct	179179	50%	0	65952	244525408
Nov	200125	50%	0	72965	270528864
Dec	216384	51%	0	75167	278690528
TOTALS	1907639		0	694686	2575636480

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.1a



Planta baixa – Forma 1.1a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.1a

FORMA 1.1b

Variáveis:

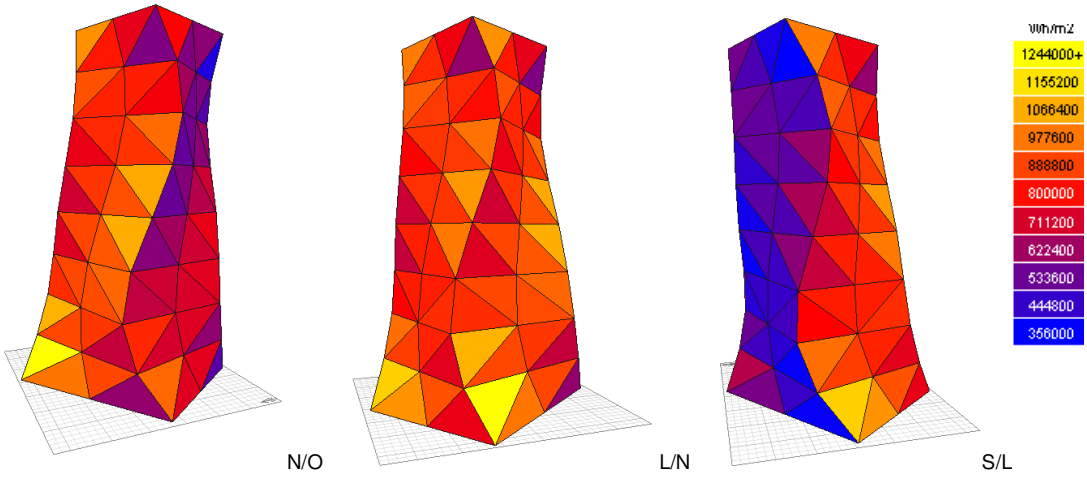
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e=4; Curva2 e=3; Curva3 e=2; Curva4 e=1; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 25m Curva1 Lb= 20m
  Curva2 La= 20m Curva2 Lb= 18m
  Curva3 La= 18m Curva3 Lb= 16m
  Curva4 La= 16m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 16m
- Twisting: Curva1 a=37°; Curva2 a= 13°; Curva3 a= 27°; Curva4 a= 45°; Curva5 a= 24°.

Resultados:

- Área: 3125.2 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.1b

- Radiação solar incidente anual = 692,9 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 359,2 MWh

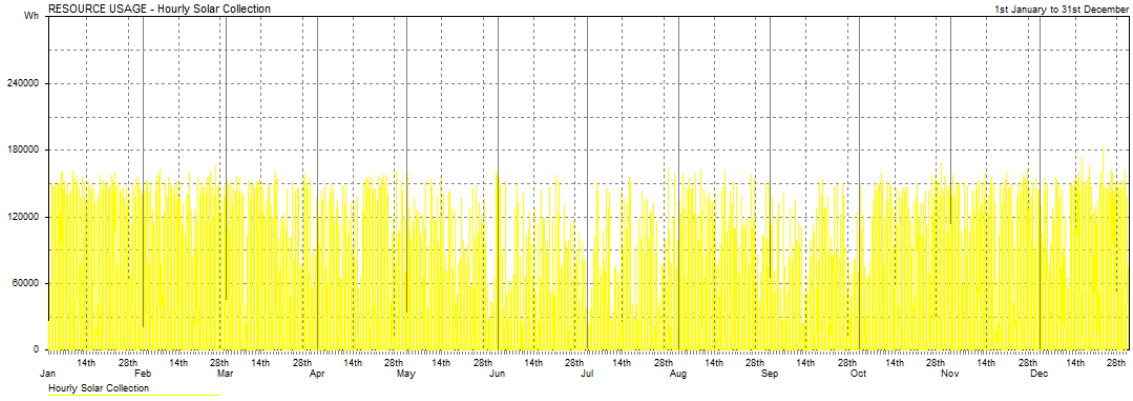


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.1b

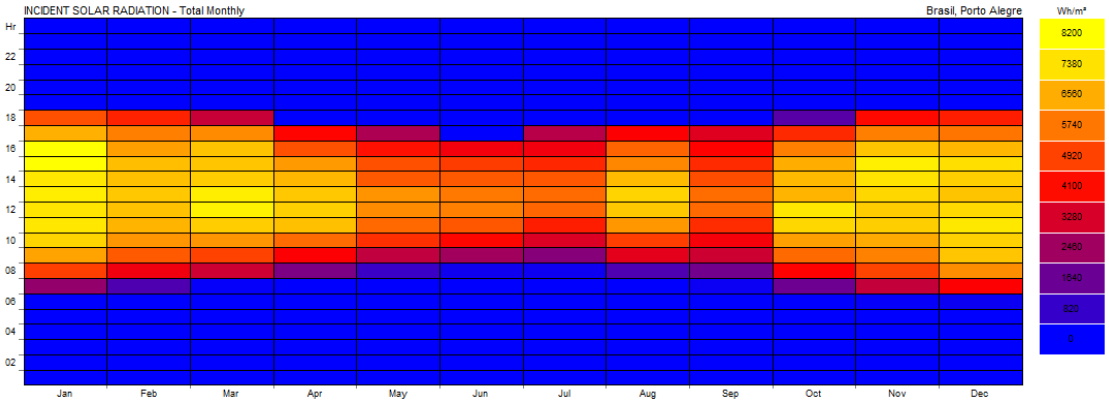
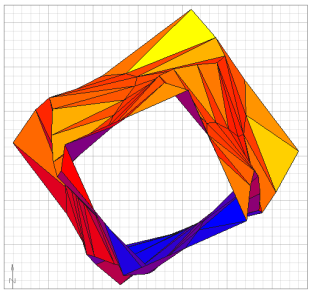


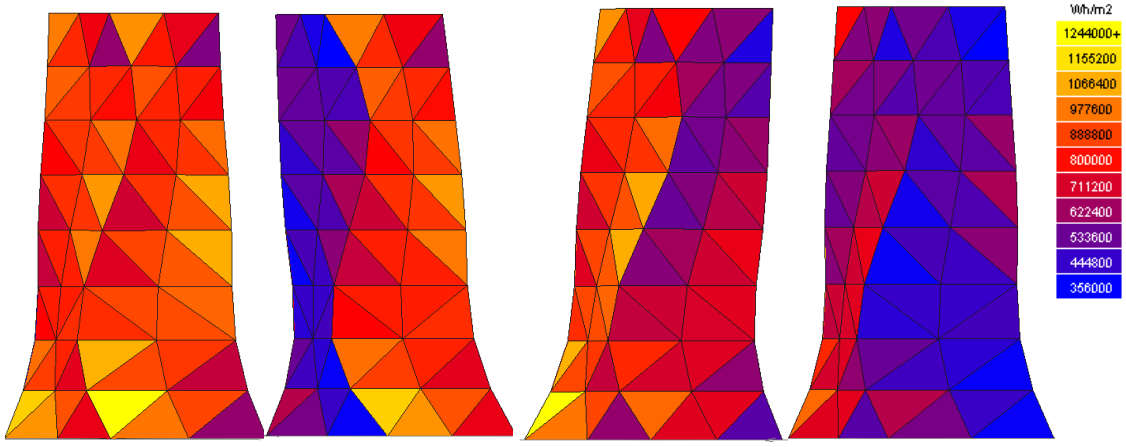
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	229645	51%	0	80671	298731936
Feb	193958	50%	0	67523	250043776
Mar	186675	50%	0	65365	242050416
Apr	149291	50%	0	54292	201048336
May	116615	50%	0	44249	163858480
Jun	93206	49%	0	36055	133514416
Jul	97979	49%	0	37469	138749968
Aug	148497	50%	0	53530	198224992
Sep	96085	50%	0	40339	149377984
Oct	179179	50%	0	65715	243347184
Nov	200125	51%	0	72704	269227424
Dec	216384	51%	0	74953	277556416
TOTALS	1907639		0	692863	2565731328

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1b



Planta baixa – Forma 1.1b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.1b

FORMA 1.1c

Variáveis:

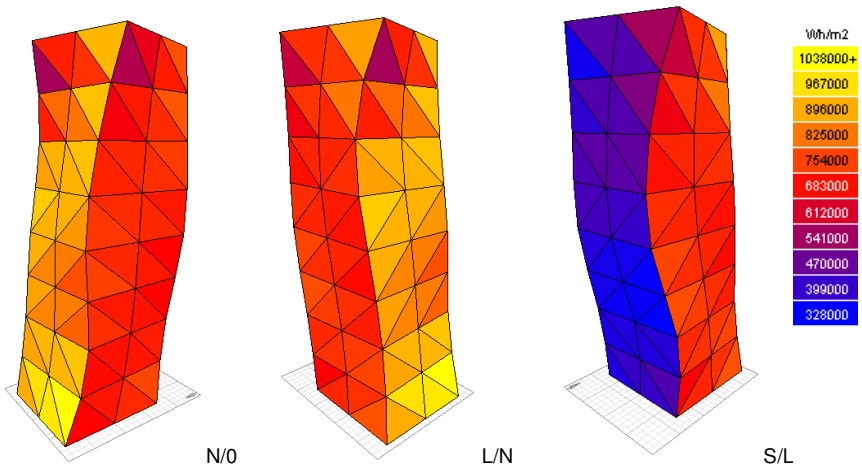
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e=5; Curva2 e=3; Curva3 e=1; Curva4 e=0; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 16m
  Curva2 La= 15m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 17m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a= 6°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 18°.

Resultados:

- Área: 3196.3 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.1c

- Radiação solar incidente anual = 654,3 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 292,5 MWh

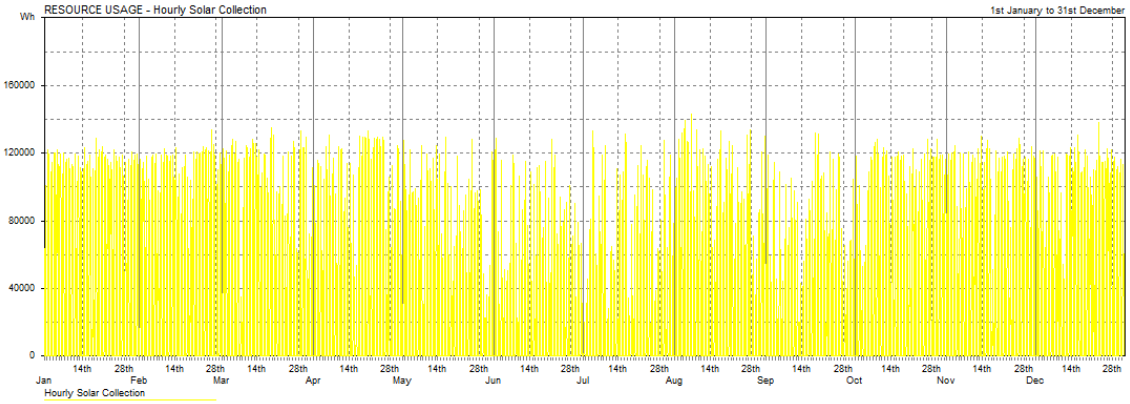


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.1c

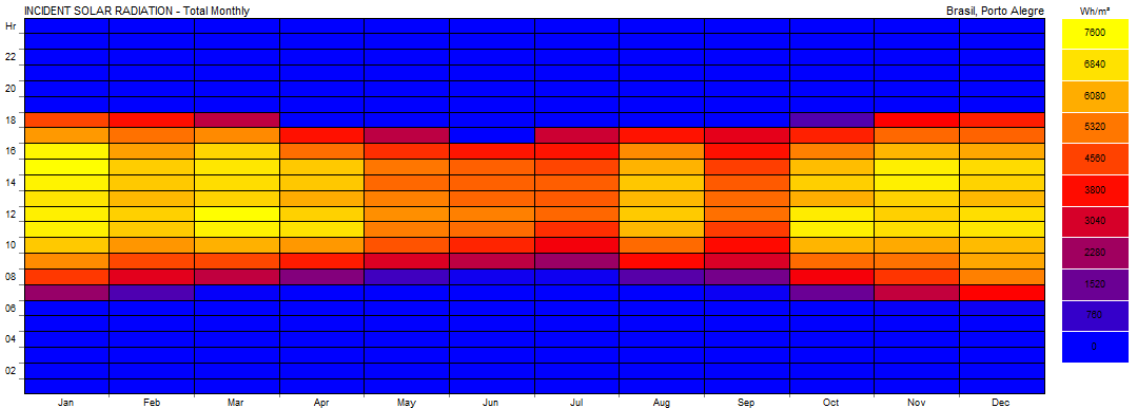
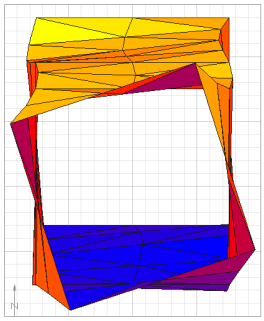


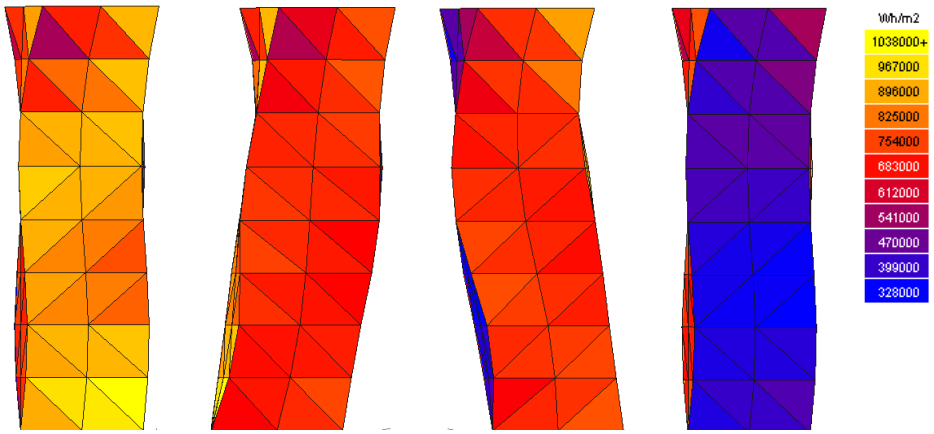
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.1c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	51%	0	73827	235977920
Feb	193958	50%	0	62268	199028672
Mar	186675	50%	0	62002	198179696
Apr	149291	50%	0	53052	169572880
May	116615	50%	0	43511	139076384
Jun	93206	50%	0	35319	112890464
Jul	97979	50%	0	36722	117377544
Aug	148497	50%	0	52625	168207696
Sep	96085	50%	0	38764	123903744
Oct	179179	50%	0	61457	196436976
Nov	200125	51%	0	66796	213503936
Dec	216384	51%	0	67967	217247472
TOTALS	1908995		0	654311	2091403136

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.1c



Planta baixa – Forma 1.1c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.1c

FORMA 1.1d

Variáveis:

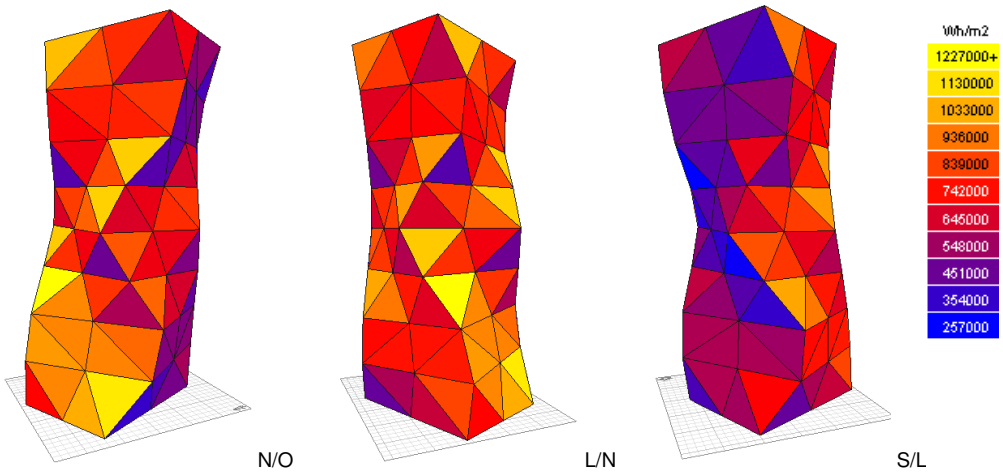
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e=5; Curva2 e=4; Curva3 e=3; Curva4 e=2; Curva5 e=1
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 20m
  Curva2 La= 20m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 18m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 18m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 20m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=25°; Curva2 a=40°; Curva3 a=0°; Curva4 a=45°; Curva5 a=30°

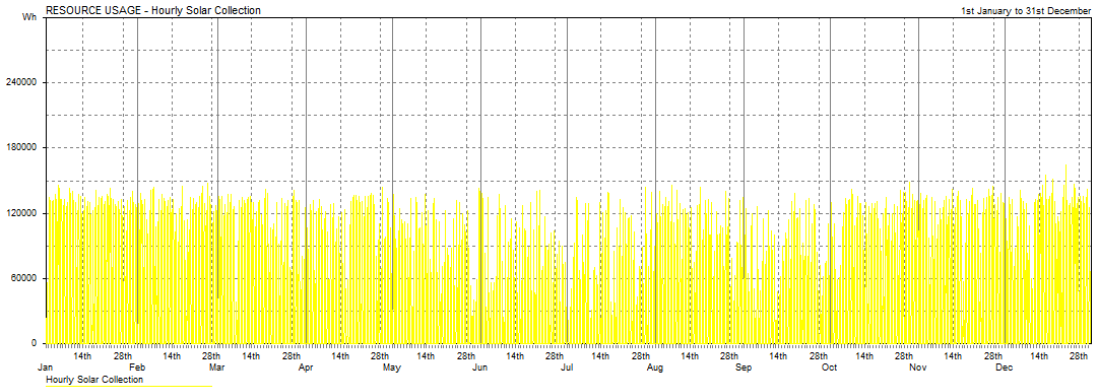
Resultados:

- Área: 3612.9 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) - Forma 1.1d

- Radiação solar incidente anual = 640,6 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 324,0 MWh



Gráf

ico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.1d

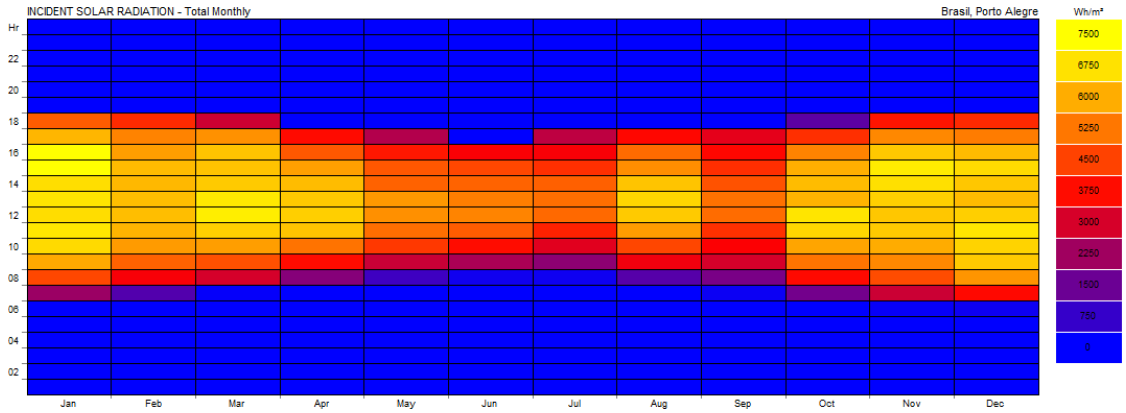
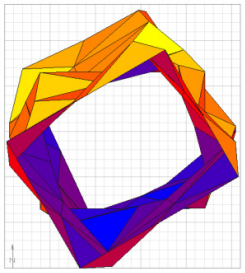


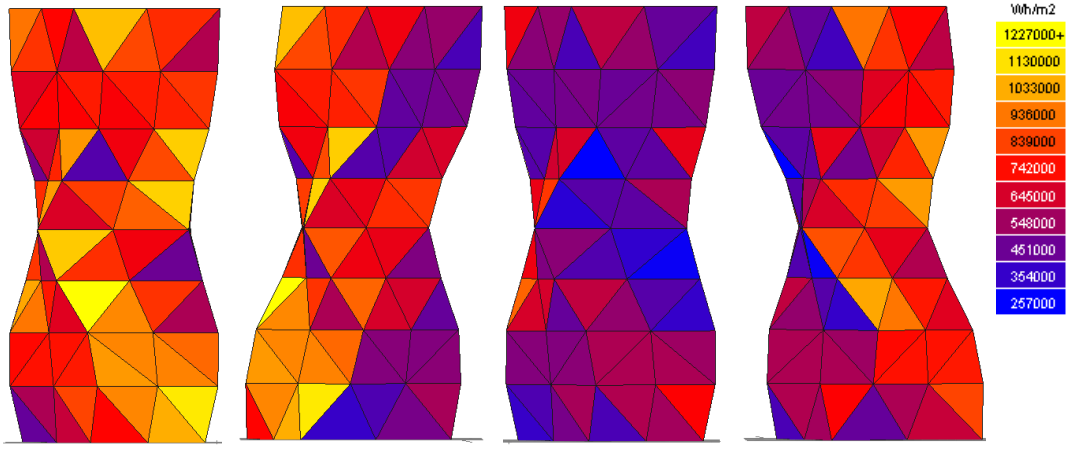
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.1d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	229645	56%	0	74006	267378576
Feb	193958	54%	0	61927	223735696
Mar	186675	53%	0	60275	217768192
Apr	149291	52%	0	50466	182328960
May	116615	52%	0	41374	149481952
Jun	93206	51%	0	33784	122057104
Jul	97979	51%	0	35087	126766096
Aug	148497	52%	0	49882	180220304
Sep	96085	52%	0	37617	135907744
Oct	179179	54%	0	60586	218891232
Nov	200125	55%	0	66904	241718672
Dec	216384	56%	0	68741	248354912
TOTALS	1907639		0	640649	2314609408

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.1d



Planta baixa – Forma 1.1d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.1d

FORMA 1.1e

Variáveis:

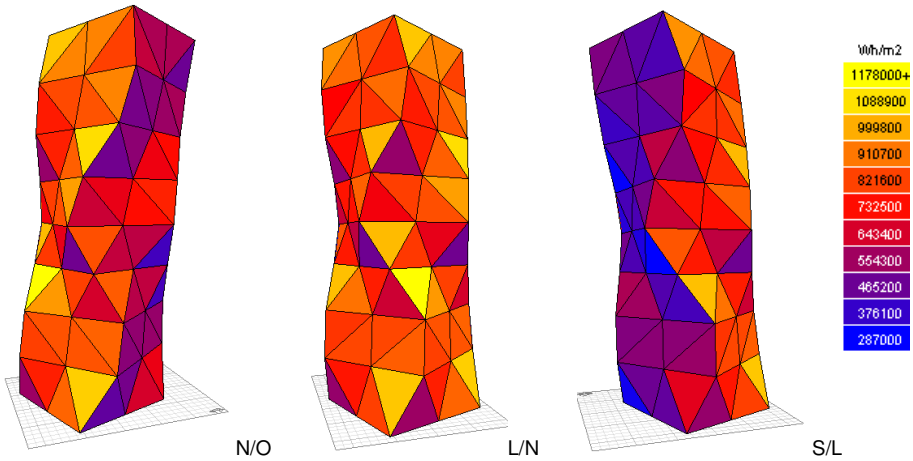
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e=5; Curva2 e=4; Curva3 e=3; Curva4 e=2; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=20°; Curva2 a=45°; Curva3 a=0°; Curva4 a=34°; Curva5 a=30°

Resultados:

- Área: 3149.2 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) - Forma 1.1e

- Radiação solar incidente anual = 648,0 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 286,0 MWh

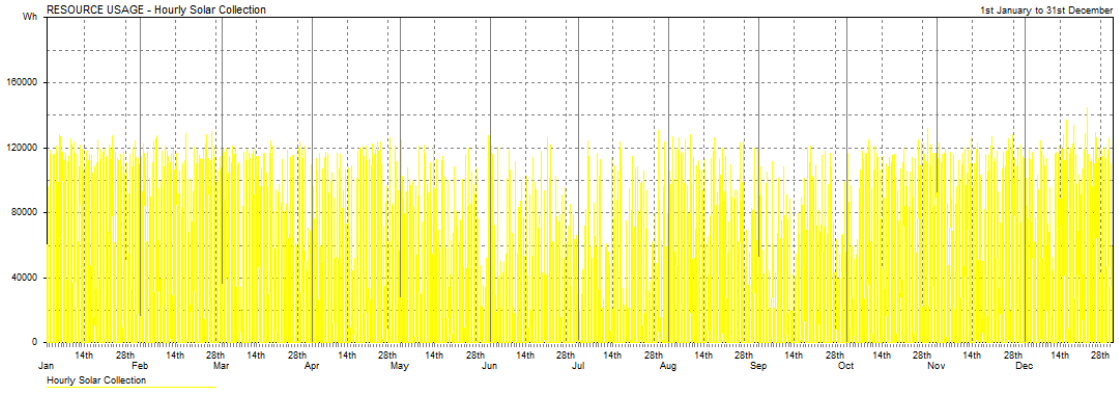


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.1e

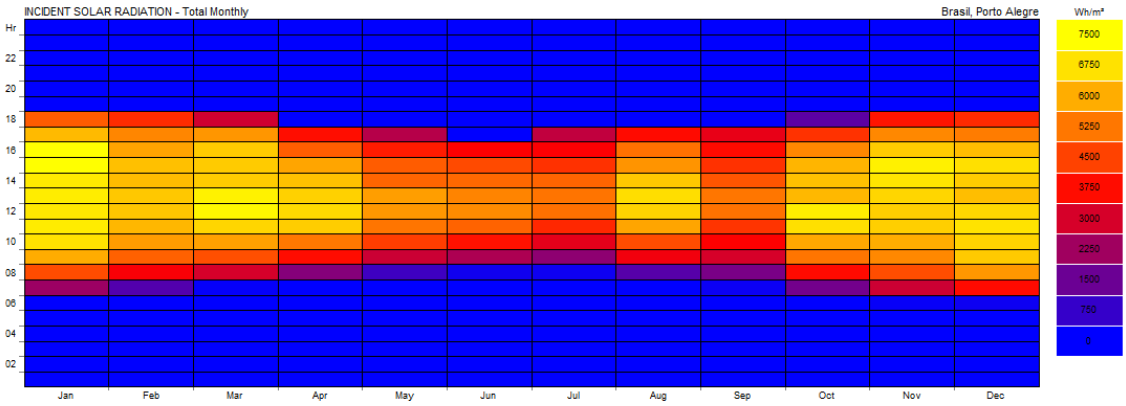
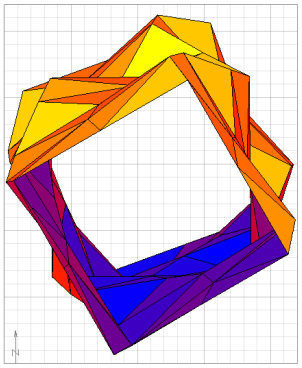


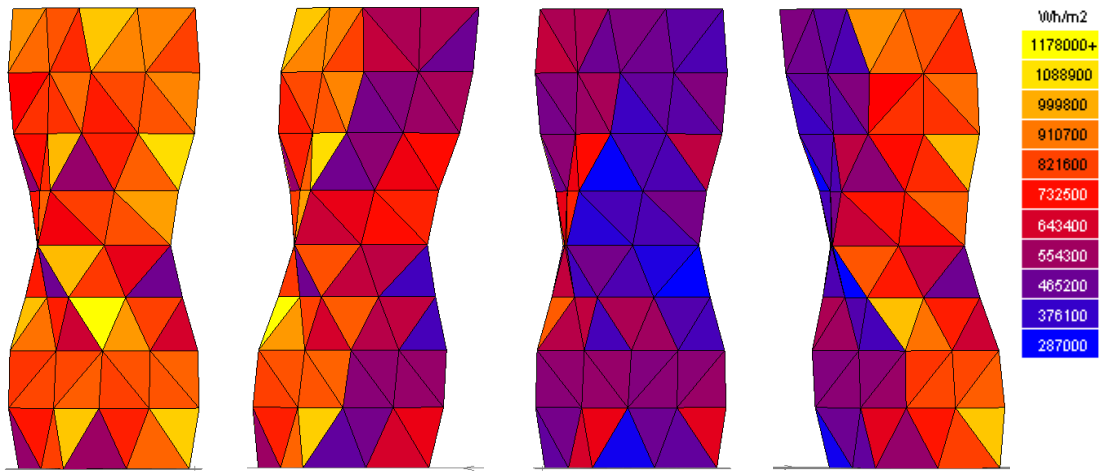
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.1e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	54%	0	74981	236127456
Feb	193958	53%	0	62452	196673040
Mar	186675	52%	0	60968	191997648
Apr	149291	52%	0	51201	161241696
May	116615	51%	0	42014	132308296
Jun	93206	51%	0	34301	108018048
Jul	97979	51%	0	35633	112215592
Aug	148497	51%	0	50705	159678496
Sep	96085	52%	0	38015	119714032
Oct	179179	53%	0	61229	192821440
Nov	200125	54%	0	67382	212197840
Dec	216384	55%	0	69090	217574720
TOTALS	1908995		0	647971	2040568448

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.1e



Planta baixa – Forma 1.1e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.1e

Etapa 2 – twisting + tapering (rotação + escala)

FORMA 1.2a

Variáveis:

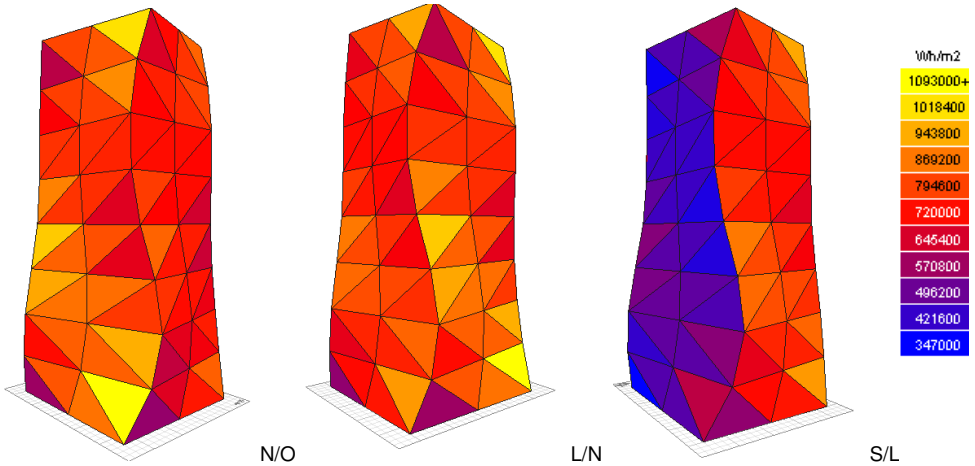
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação) 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1= 0; Curva 2= 0; Curva 3= 0; Curva 4= 0; Curva 5= 0
- Tapering: Curva1 La= 22m Curva1 Lb= 20m
  Curva2 La= 22m Curva2 Lb= 18m
  Curva3 La= 20m Curva3 Lb= 16m
  Curva4 La= 20m Curva3 Lb= 16m
  Curva5 La= 18m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1= 0°; Curva2= 16°; Curva3= 5°; Curva4= 0°; Curva5= 14°

Resultados:

- Área: 3916.6 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.2a

- Radiação solar incidente anual = 669,2 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 366,9 MWh

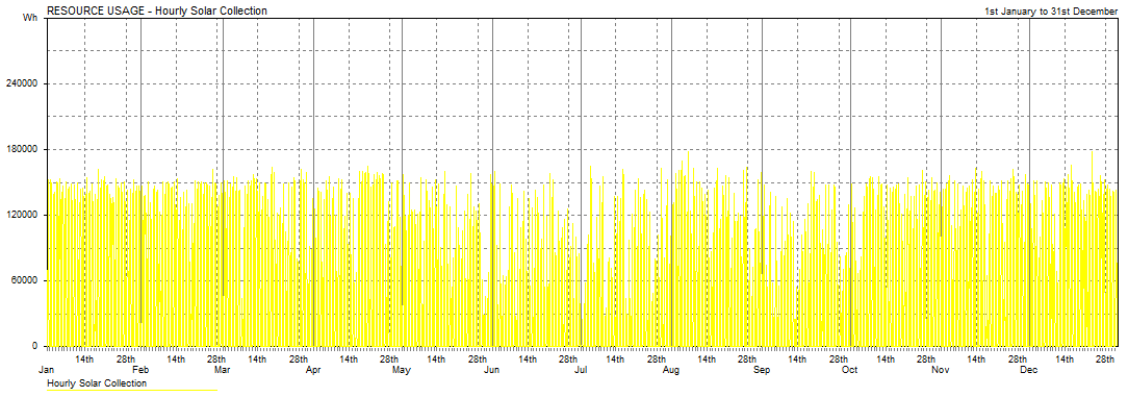


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.2a

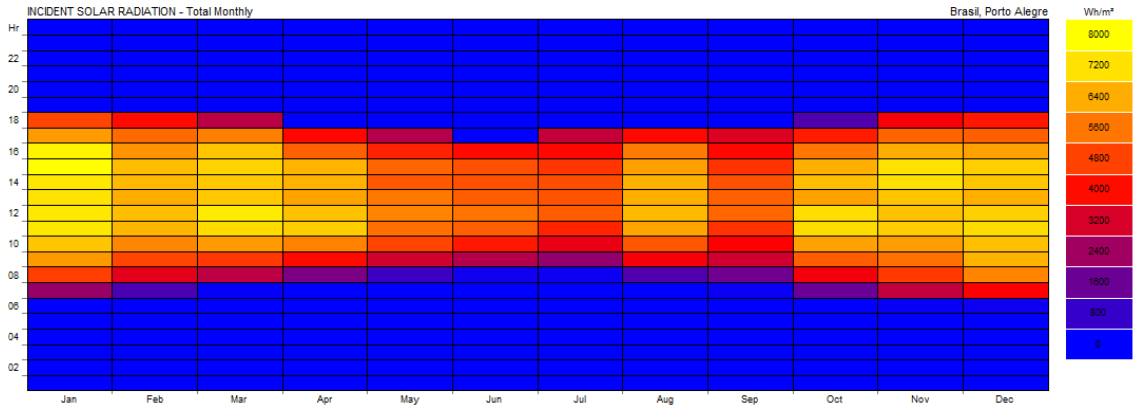
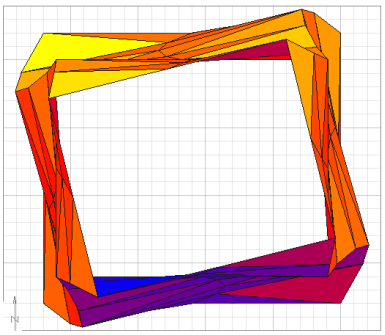


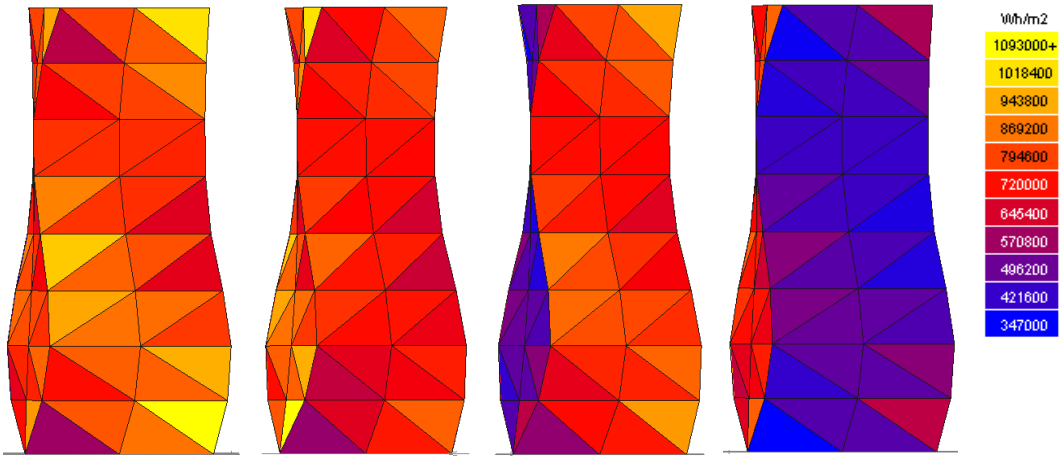
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.2a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	233338	50%	0	77434	303277376
Feb	193958	50%	0	63695	249470640
Mar	186675	49%	0	62818	246035776
Apr	149291	50%	0	53520	209618448
May	116615	50%	0	43994	172305952
Jun	93206	49%	0	35738	139973408
Jul	97979	49%	0	37145	145483584
Aug	148497	50%	0	53025	207678784
Sep	96085	49%	0	39527	154812912
Oct	179179	50%	0	62705	245589536
Nov	200125	50%	0	68797	269450944
Dec	216384	50%	0	70782	277224480
TOTALS	1911332		0	669180	2620921856

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.2a



Planta baixa – Forma 1.2a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.2a

FORMA 1.2b

Variáveis:

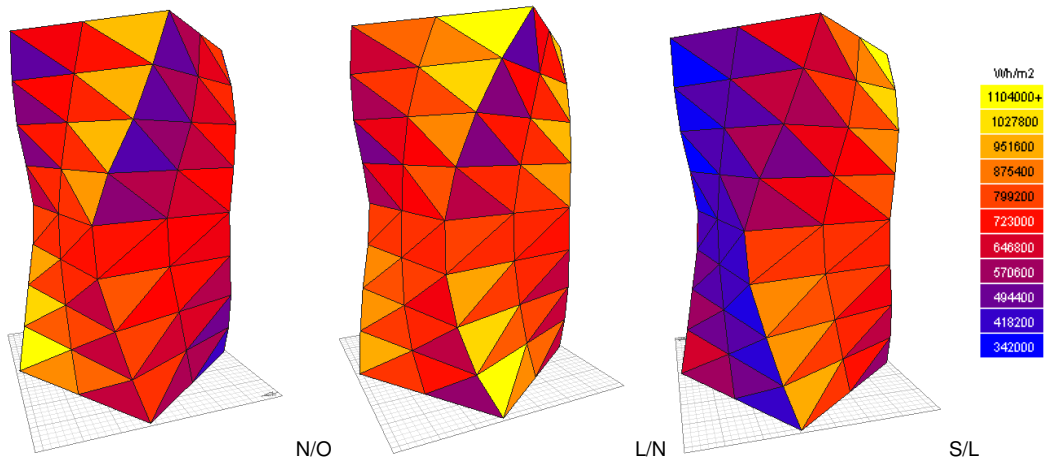
- Tapering (escala): 15m. ≤ La ≤ 40m
  15m. ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação) 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1= 0; Curva 2= 0; Curva 3= 0; Curva 4= 0; Curva 5= 0
- Tapering: Curva1 La= 25m Curva1 Lb= 25m
  Curva2 La= 25m Curva2 Lb= 23m
  Curva3 La= 23m Curva3 Lb= 23m
  Curva4 La= 25m Curva4 Lb= 23m
  Curva5 La= 23m Curva5 Lb= 25m
- Twisting: Curva1= 36°; Curva2= 18°; Curva3= 10°; Curva4=25°; Curva5= 45°

Resultados:

- Área: 5040.1 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) –Forma 1.2b

- Radiação solar incidente anual = 646,6 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 456,3 MWh

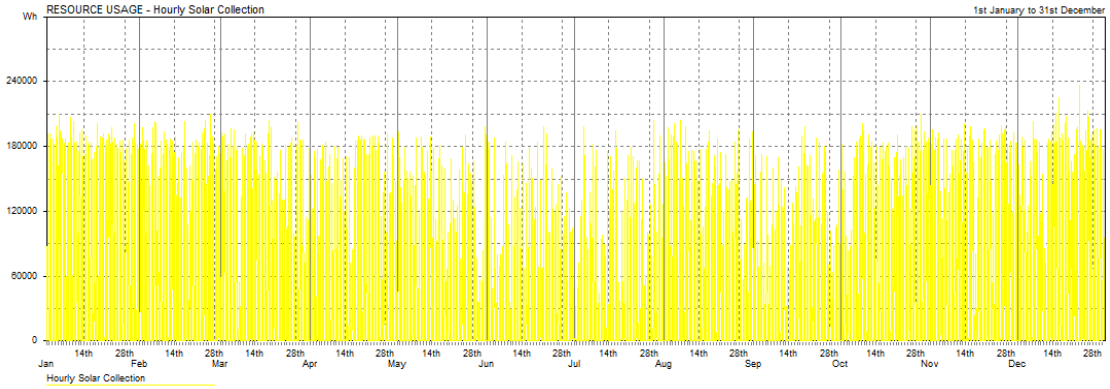


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.2b

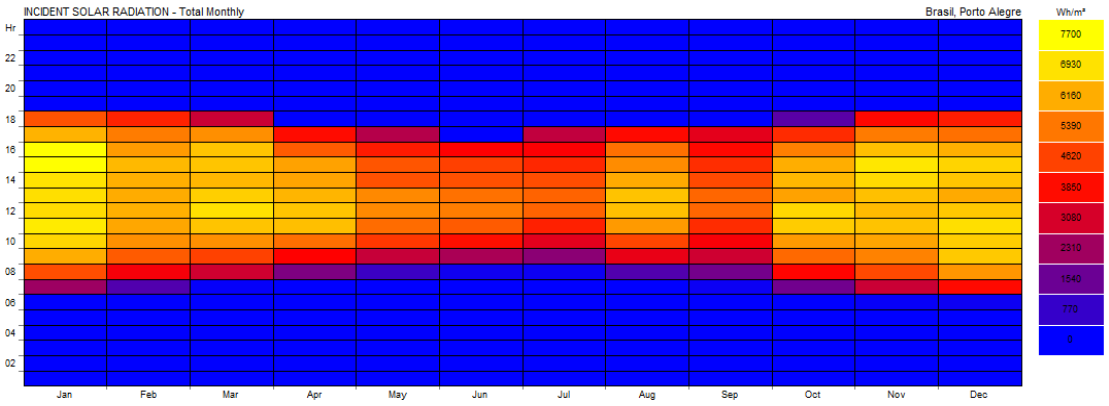
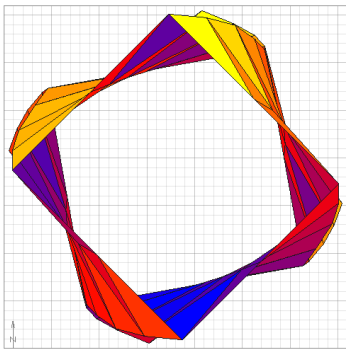


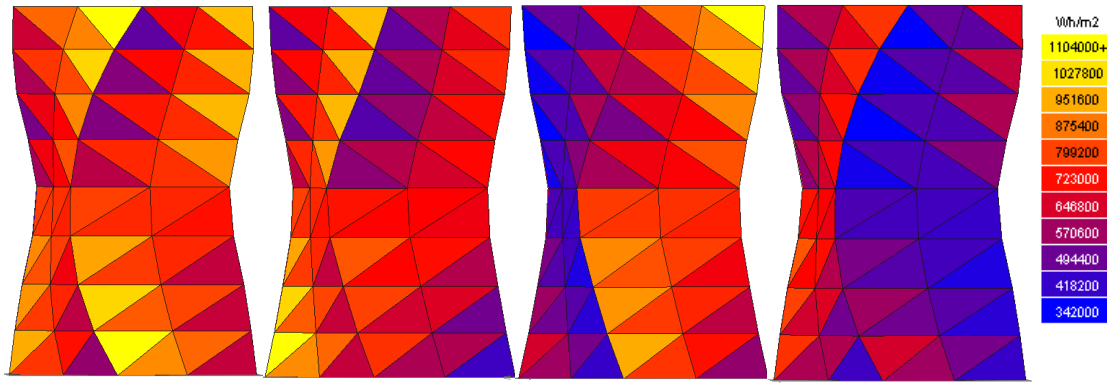
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – etapa 1.2b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	233338	54%	0	75978	382932480
Feb	193958	53%	0	62151	313248096
Mar	186675	52%	0	60392	304378944
Apr	149291	51%	0	50729	255680416
May	116615	51%	0	41832	210838912
Jun	93206	50%	0	34131	172022880
Jul	97979	51%	0	35455	178696768
Aug	148497	51%	0	50256	253293488
Sep	96085	52%	0	37994	191494528
Oct	179179	53%	0	60893	306906176
Nov	200125	53%	0	67369	339542784
Dec	216384	54%	0	69420	349882912
TOTALS	1911332		0	646601	3258918656

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.2b



Planta baixa – Forma 1.2b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.2b

FORMA 1.2c

Variáveis:

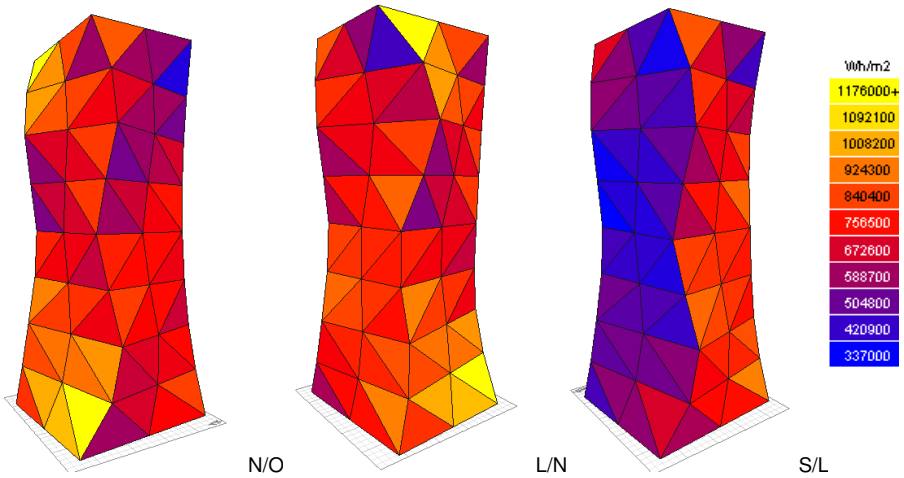
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação) 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1= 0; Curva 2= 0; Curva 3= 0; Curva 4= 0; Curva 5= 0
- Tapering: Curva1 La= 19m Curva1 Lb= 21m
  Curva2 La= 18m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 18m
  Curva5 La= 18m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1= 4°; Curva2= 18°; Curva3= 7°; Curva4= 25°; Curva5= 0°

Resultados:

- Área: 3471.5 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.2c

- Radiação solar incidente anual = 662, 4 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 321,9 MWh

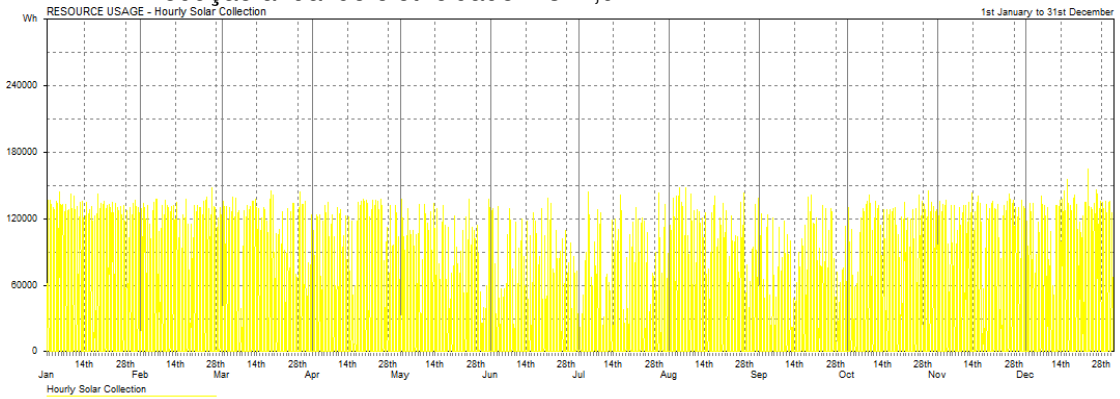
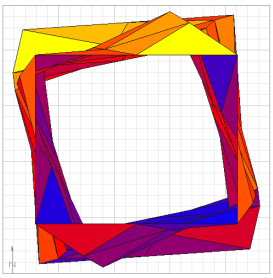


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.2c

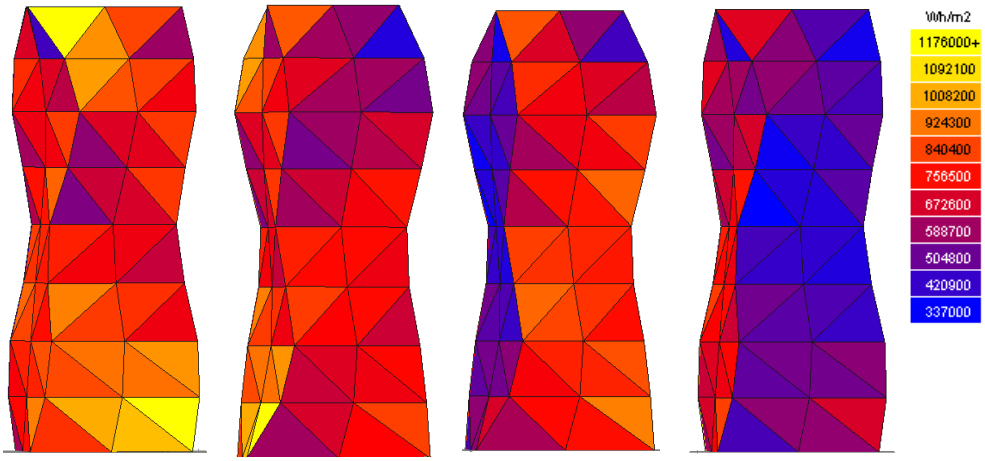
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.2c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	INCIDENT TOT.Wh
Jan	233338	52%	0	77357	268539744
Feb	193958	51%	0	63530	220541264
Mar	186675	51%	0	61992	215201248
Apr	149291	51%	0	52372	181807952
May	116615	51%	0	43151	149796144
Jun	93206	50%	0	35100	121848072
Jul	97979	50%	0	36484	126651968
Aug	148497	51%	0	51903	180179728
Sep	96085	51%	0	38949	135210240
Oct	179179	51%	0	62204	215938864
Nov	200125	51%	0	68646	238302080
Dec	216384	52%	0	70670	245325808
TOTALS	1911332		0	662358	2299343104

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.2c



Planta baixa – Forma 1.2c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.2c

FORMA 1.2d

Variáveis:

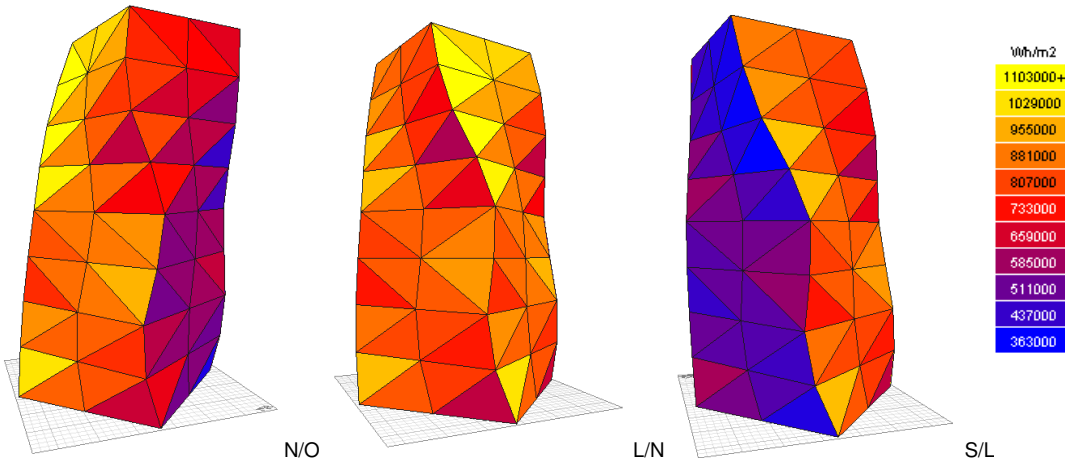
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação) 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1= 0; Curva 2= 0; Curva 3= 0; Curva 4= 0; Curva 5= 0
- Tapering: Curva1 La= 22m Curva1 Lb= 22m
  Curva2 La= 22m Curva2 Lb= 22m
  Curva3 La= 21m Curva3 Lb= 21m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 20m
  Curva5 La= 18m Curva5 Lb= 18m
- Twisting: Curva1= 45°; Curva2= 33°; Curva3= 40°; Curva4= 20°; Curva5= 10°

Resultados:

- Área: 4370.3 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.2d

- Radiação solar incidente anual = 679,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 415,9 MWh

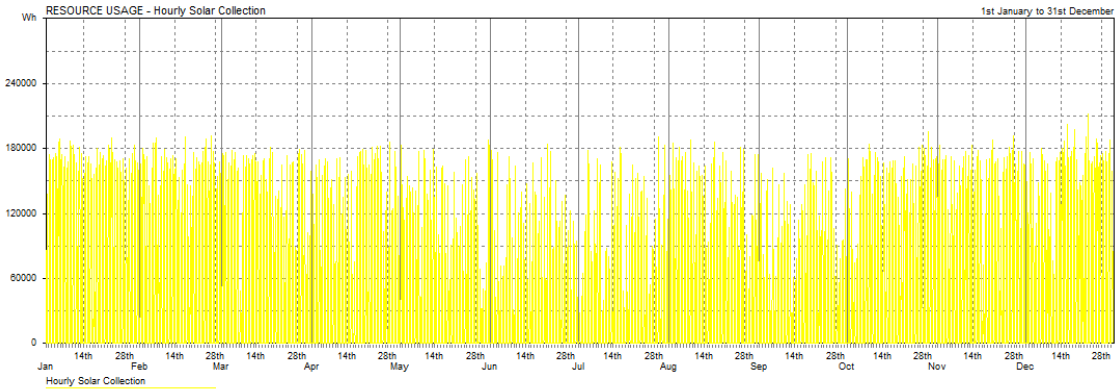


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.2d

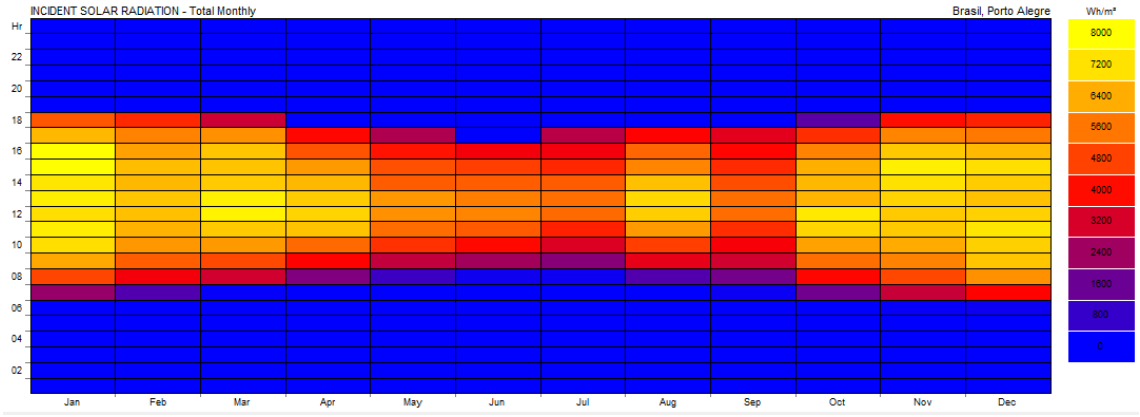
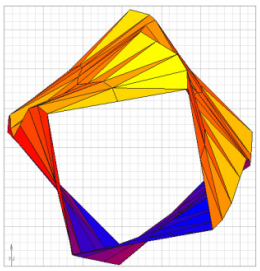


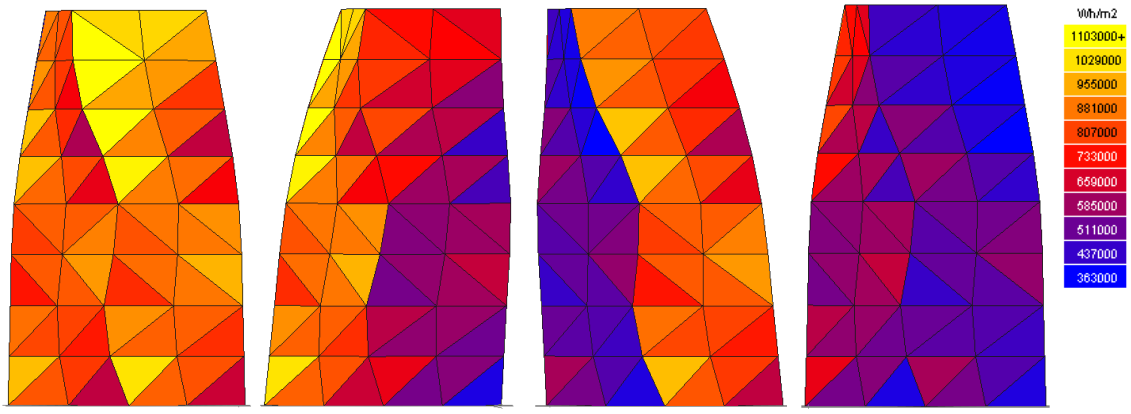
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.2d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	50%	0	79325	346676352
Feb	193958	51%	0	66005	288462272
Mar	186675	50%	0	64070	280008000
Apr	149291	50%	0	53313	232995504
May	116615	50%	0	43533	190251728
Jun	93206	49%	0	35526	155262592
Jul	97979	49%	0	36914	161325024
Aug	148497	50%	0	52642	230061648
Sep	96085	50%	0	39623	173166064
Oct	179179	50%	0	64402	281459744
Nov	200125	50%	0	71168	311027456
Dec	216384	50%	0	73169	319771328
TOTALS	1908995		0	679689	2970468096

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.2d



Planta baixa – Forma 1.2d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.2d

FORMA 1.2e

Variáveis:

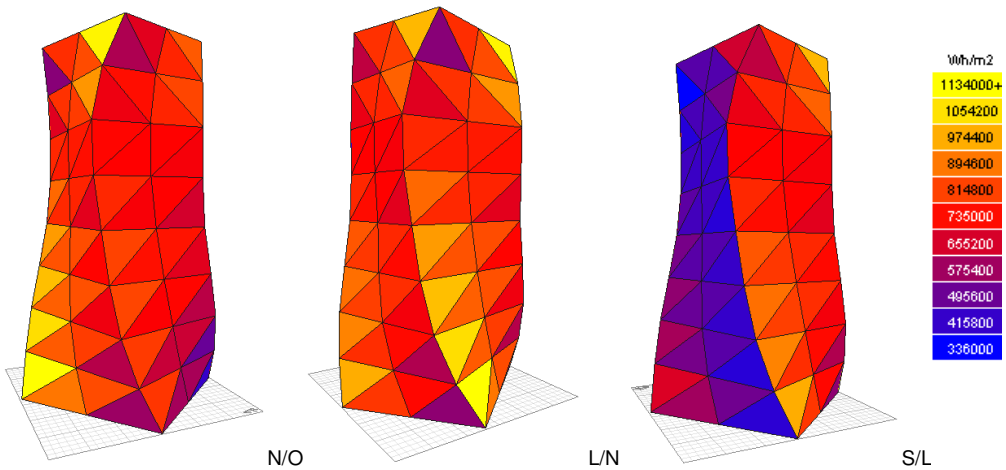
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação) 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1= 0; Curva 2= 0; Curva 3= 0; Curva 4= 0; Curva 5= 0
- Tapering: Curva1 La= 22m Curva1 Lb= 20m
  Curva2 La= 22m Curva2 Lb= 18m
  Curva3 La= 20m Curva3 Lb= 16m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 16m
  Curva5 La= 18m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1= 40°; Curva2= 16°; Curva3= 5°; Curva4= 0°; Curva5= 20°

Resultados:

- Área: 3929.1 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.2e

- Radiação solar incidente anual = 514,1 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 282,8 MWh

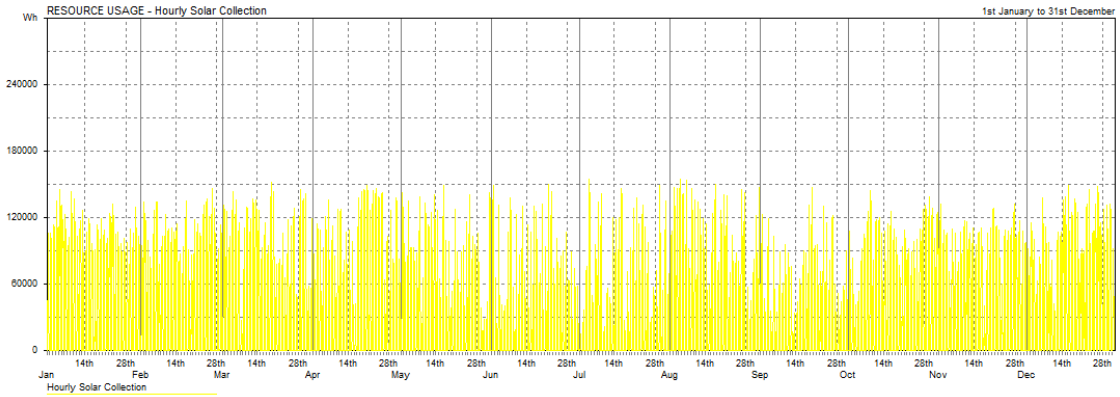


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.2e

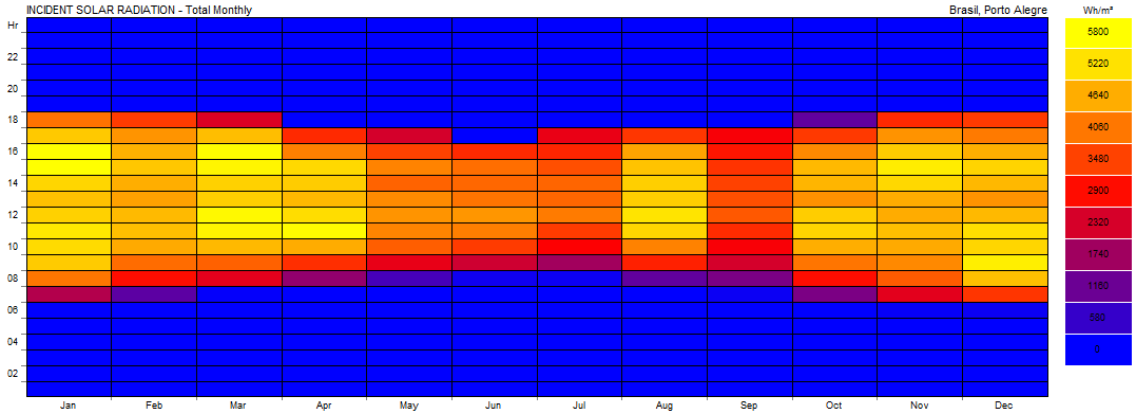
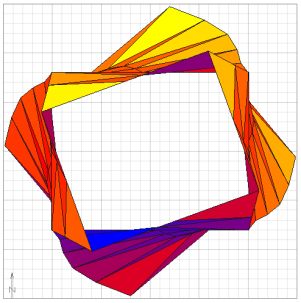


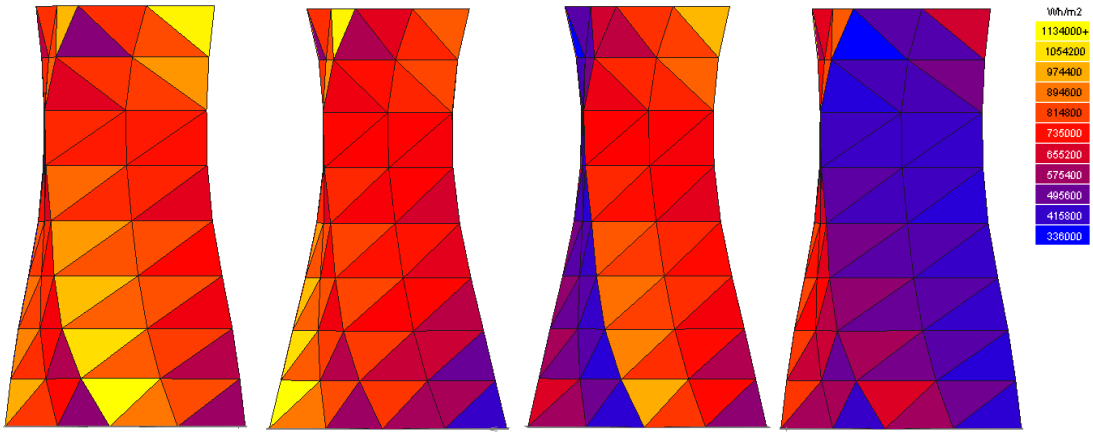
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.2e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	233338	51%	0	58262	228915072
Feb	193958	51%	0	48967	192396240
Mar	186675	50%	0	49274	193600048
Apr	149291	51%	0	42297	166189328
May	116615	50%	0	34670	136218784
Jun	93206	51%	0	28076	110310568
Jul	97979	50%	0	29390	115476984
Aug	148497	51%	0	42879	168474336
Sep	96085	50%	0	28247	110984144
Oct	179179	51%	0	47071	184944080
Nov	200125	51%	0	51194	201146416
Dec	216384	51%	0	53760	211225024
TOTALS	1911332		0	514087	2019881088

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.2e



Planta baixa – Forma 1.2e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.2e

Etapa 3 - tapering + shear (escala + translação)

FORMA 1.3a

Variáveis:

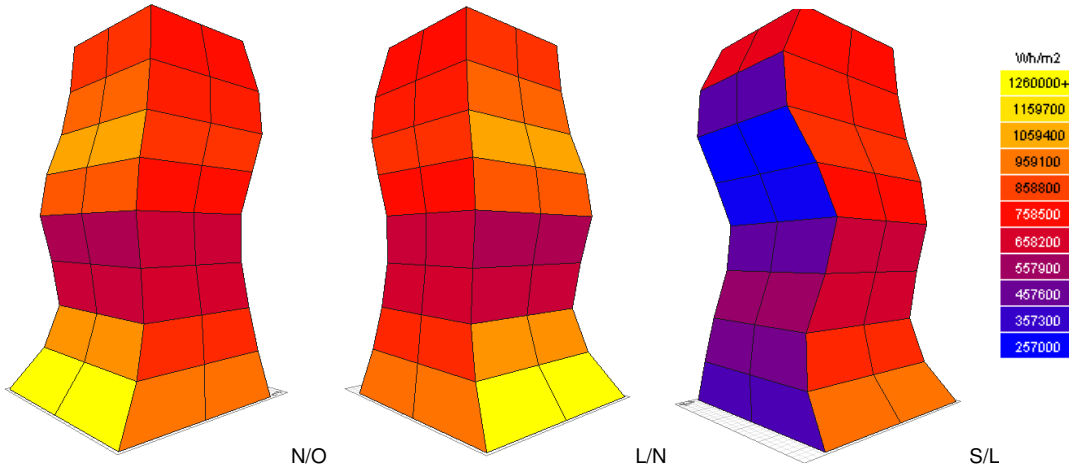
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 5; Curva2 e= 2; Curva3 e= 5; Curva4 e= 0; Curva5 e= 1
- Tapering: Curva1 La= 27m Curva1 Lb= 27m
  Curva2 La= 20m Curva2 Lb= 20m
  Curva3 La= 23m Curva3 Lb= 19m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 23m
  Curva5 La= 18m Curva5 Lb= 18m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4456.5 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.3a

- Radiação solar incidente anual = 702,3kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 448,2 MWh

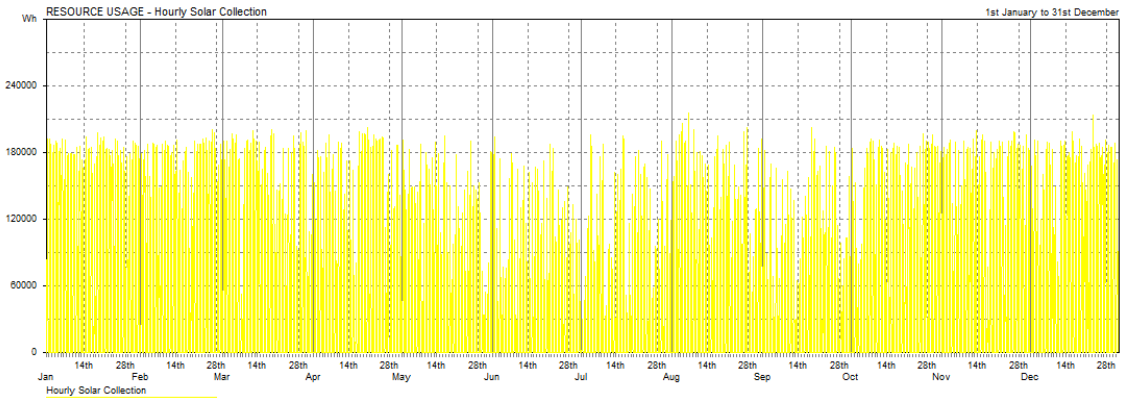


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.3a

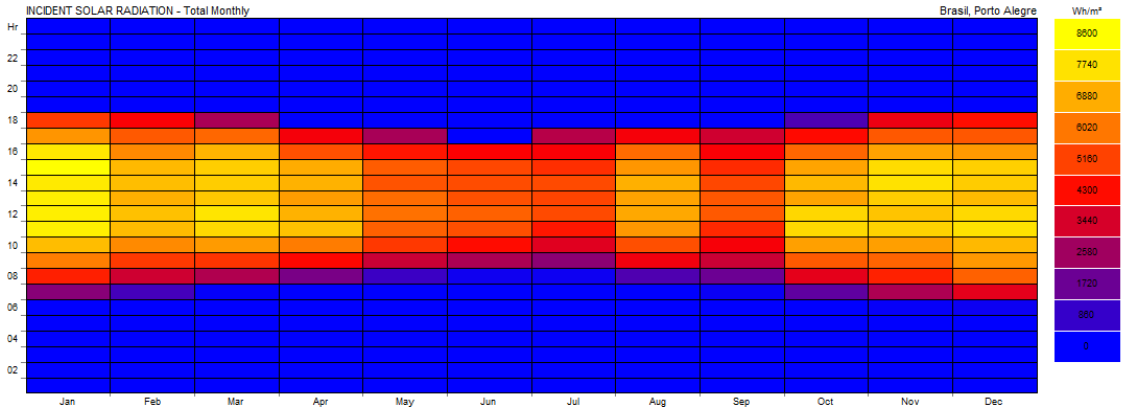
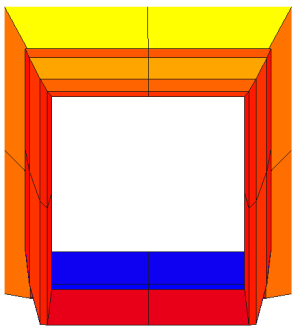


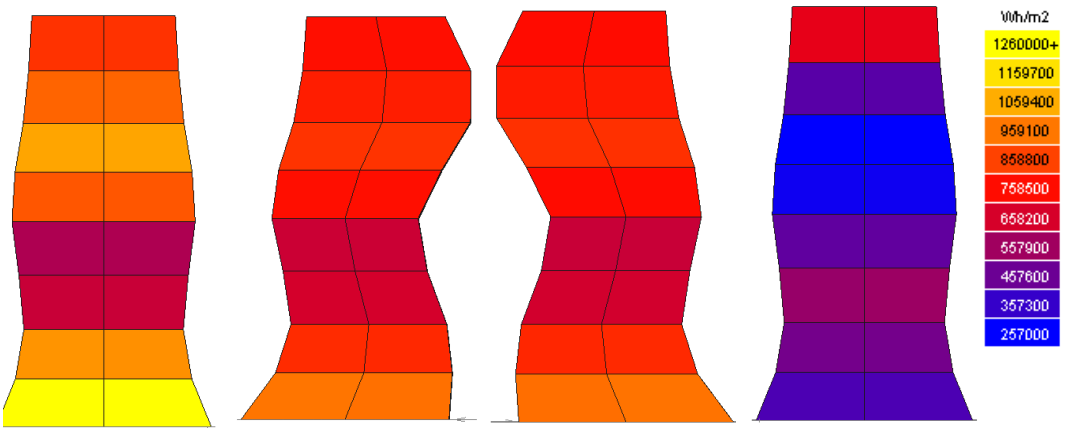
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.3a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	INCIDENT TOT.Wh
Jan	233338	49%	0	81878	373263680
Feb	193958	46%	0	67408	307295808
Mar	186675	48%	0	66192	301752672
Apr	149291	49%	0	56134	255900288
May	116615	49%	0	45622	207978832
Jun	93206	49%	0	36956	168473088
Jul	97979	49%	0	38386	174993840
Aug	148497	49%	0	55379	252460624
Sep	96085	49%	0	41006	186935664
Oct	179179	46%	0	66027	301000576
Nov	200125	49%	0	72583	330887616
Dec	216384	50%	0	74689	340490112
TOTALS	1911332		0	702259	3201433344

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.3ª



Planta baixa – Forma 1.3a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.3a

FORMA 1.3b

Variáveis:

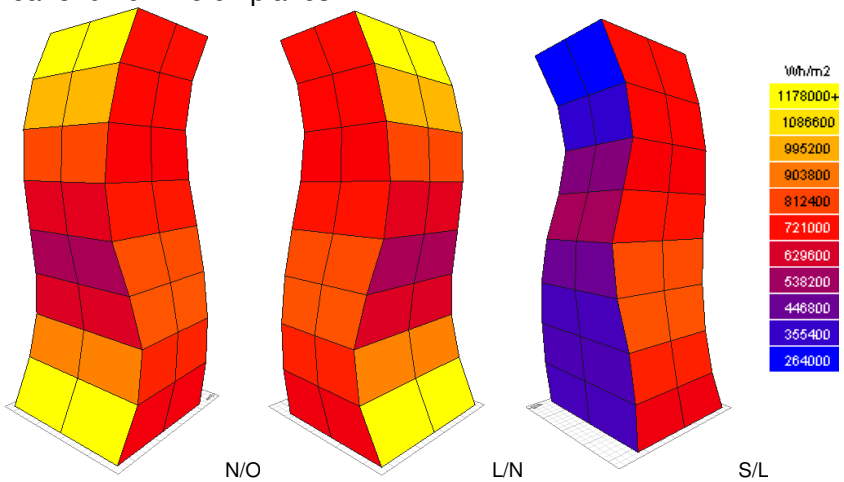
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 5; Curva2 e= 2; Curva3 e= 3; Curva4 e= 5; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 20m Curva1 Lb= 18m
  Curva2 La= 20m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 18m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3497.5 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.3b

- Radiação solar incidente anual = 673,2 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 329,6 MWh

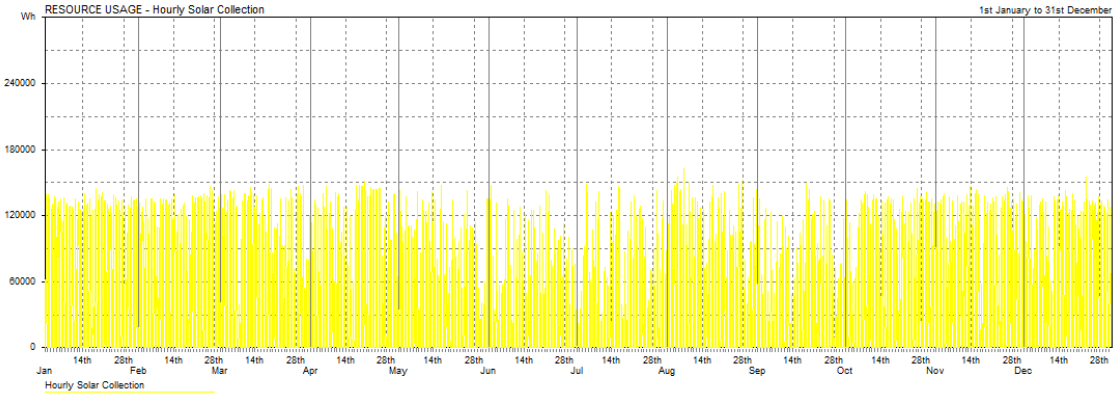


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.3b

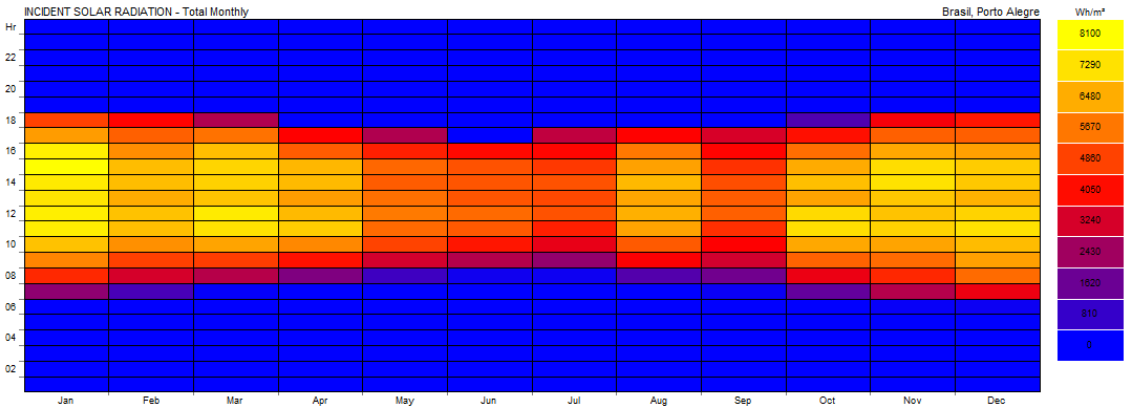
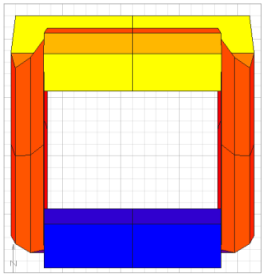


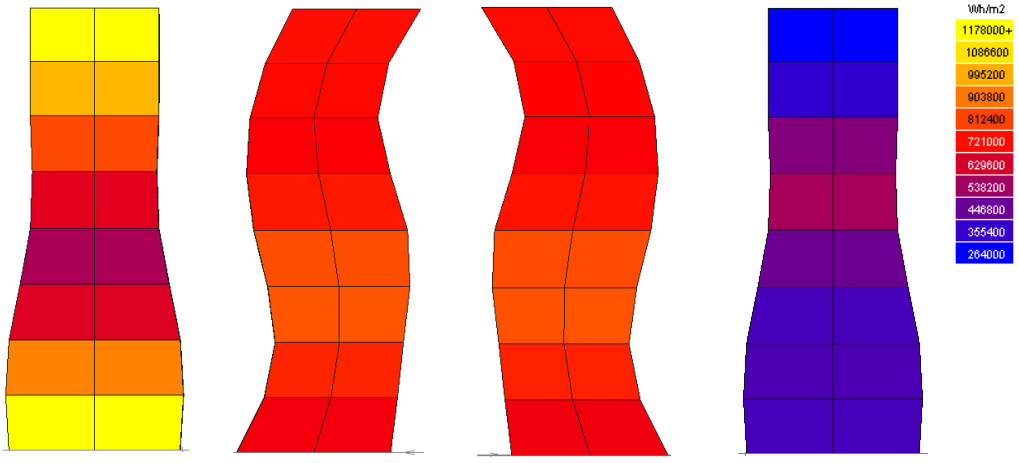
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.3b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	233338	52%	0	77714	271812416
Feb	193958	49%	0	64164	224419984
Mar	186675	49%	0	63507	222122848
Apr	149291	50%	0	54194	189548960
May	116615	49%	0	44234	154712480
Jun	93206	49%	0	35855	125407488
Jul	97979	49%	0	37252	130293288
Aug	148497	50%	0	53590	187434784
Sep	96085	50%	0	39612	138545056
Oct	179179	49%	0	63121	220772352
Nov	200125	52%	0	69092	241655936
Dec	216384	53%	0	70821	247701872
TOTALS	1911332		0	673157	2354427392

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.3b



Planta baixa – Forma 1.2b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.3b

FORMA 1.3c

Variáveis:

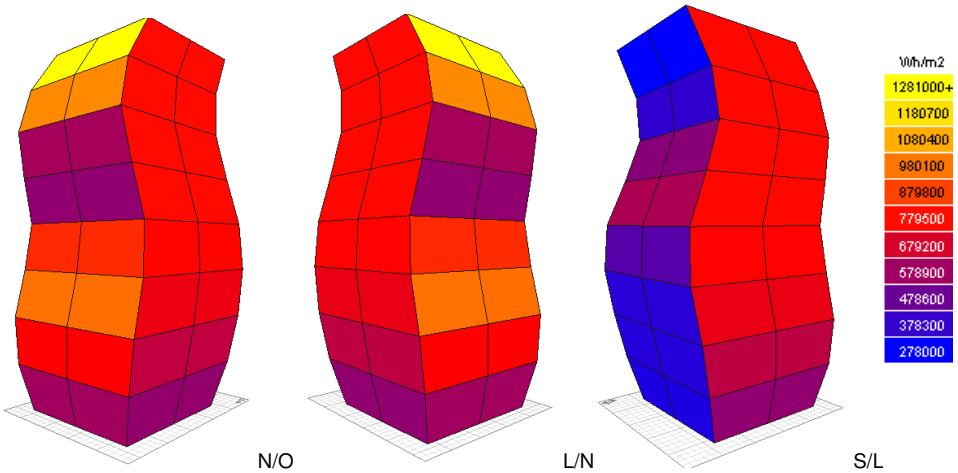
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 4; Curva2 e= 3; Curva3 e= 1; Curva4 e= 5; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 18m Curva1 Lb= 18m
  Curva2 La= 23m Curva2 Lb= 23m
  Curva3 La= 22m Curva3 Lb= 22m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 20m
  Curva5 La= 18m Curva5 Lb= 18m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4456.5 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.3c

- Radiação solar incidente anual = 649,1 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 405,0 MWh

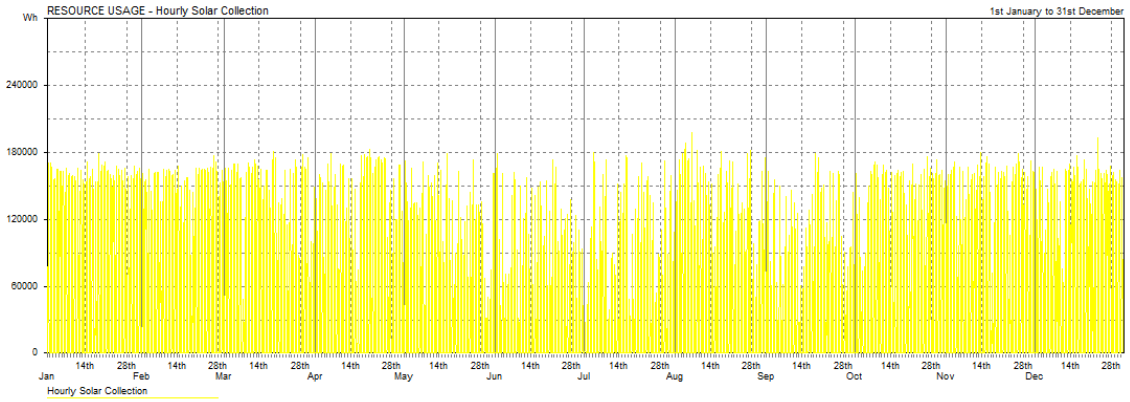
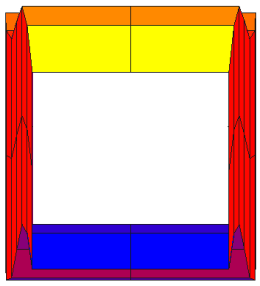


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.3c

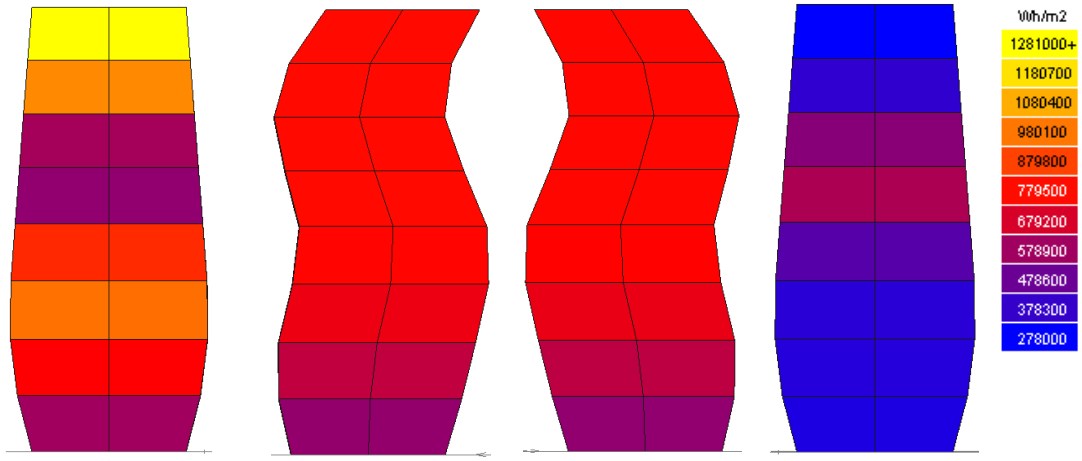
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.3c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	233338	55%	0	74826	333464192
Feb	193958	50%	0	61626	274639392
Mar	186675	49%	0	60959	271664480
Apr	149291	49%	0	52278	232980416
May	116615	49%	0	42860	191007120
Jun	93206	49%	0	34793	155056480
Jul	97979	49%	0	36149	161099840
Aug	148497	49%	0	51771	230718624
Sep	96085	49%	0	38393	171097824
Oct	179179	50%	0	60728	270634816
Nov	200125	54%	0	66608	296840704
Dec	216384	56%	0	68137	303655648
TOTALS	1911332		0	649128	2892859648

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.3c



Planta baixa – Forma 1.3c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.3c

FORMA 1.3d

Variáveis:

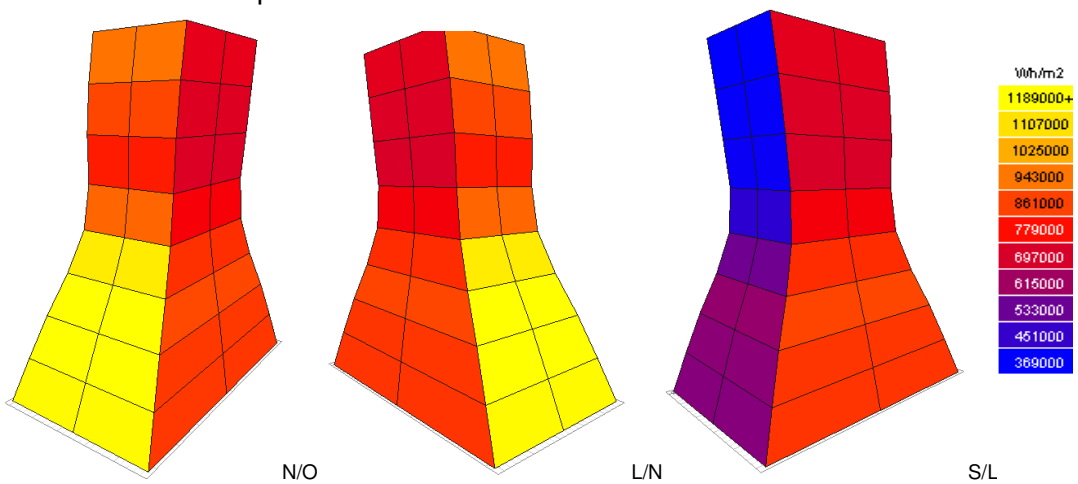
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 5; Curva2 e= 4; Curva3 e= 3; Curva4 e= 2; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 25m Curva1 Lb= 40m
  Curva2 La= 20m Curva2 Lb= 30m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 20m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 20m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 20m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

Área: 4509.1 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.3d

- Radiação solar incidente anual = 747,1 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 471,6 MWh

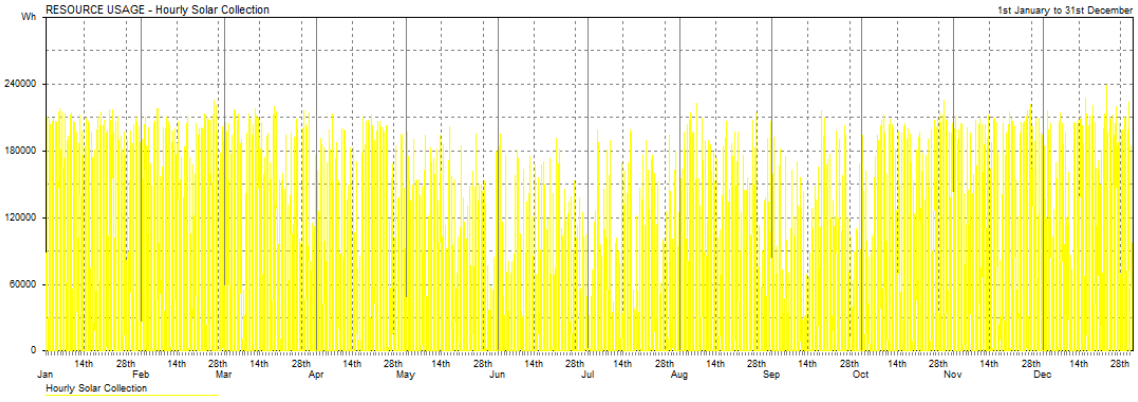


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.3d

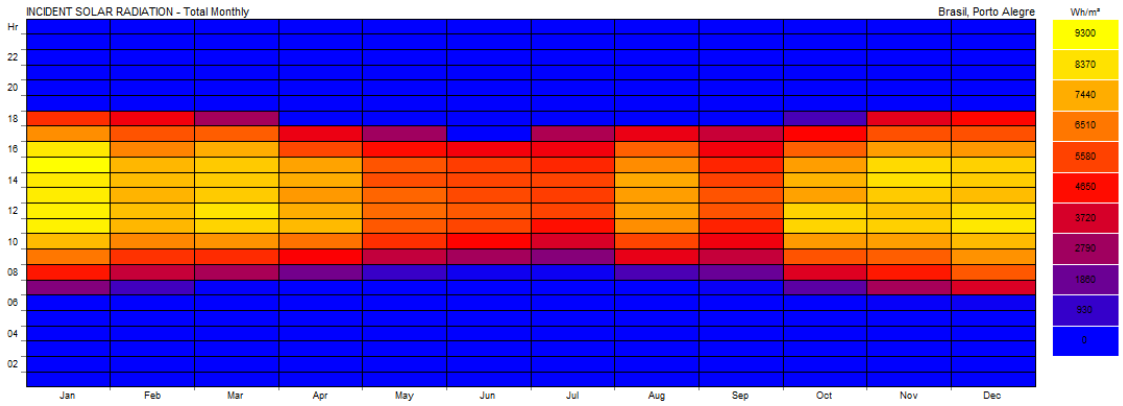
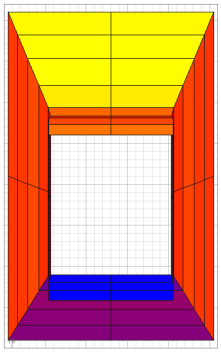


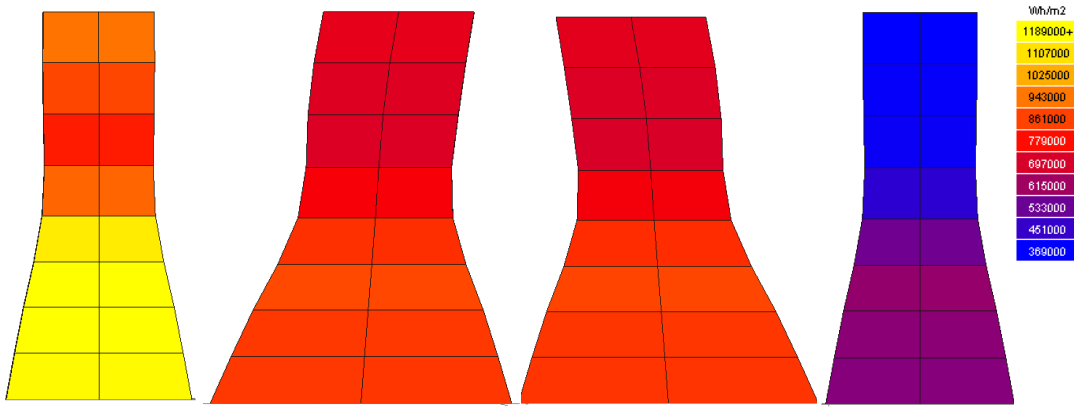
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.3d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	233338	41%	0	87858	396162944
Feb	193958	42%	0	72102	325114912
Mar	186675	47%	0	70614	318407648
Apr	149291	49%	0	59393	267807664
May	116615	49%	0	47981	216352448
Jun	93206	48%	0	38793	174922192
Jul	97979	49%	0	40311	181766416
Aug	148497	49%	0	58403	263343504
Sep	96085	49%	0	43390	195652400
Oct	179179	44%	0	70367	317290944
Nov	200125	42%	0	77604	349925728
Dec	216384	41%	0	80297	362065920
TOTALS	1911332		0	747113	3368813056

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.3d



Planta baixa – Forma 1.3d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.3d

FORMA 1.3e

Variáveis:

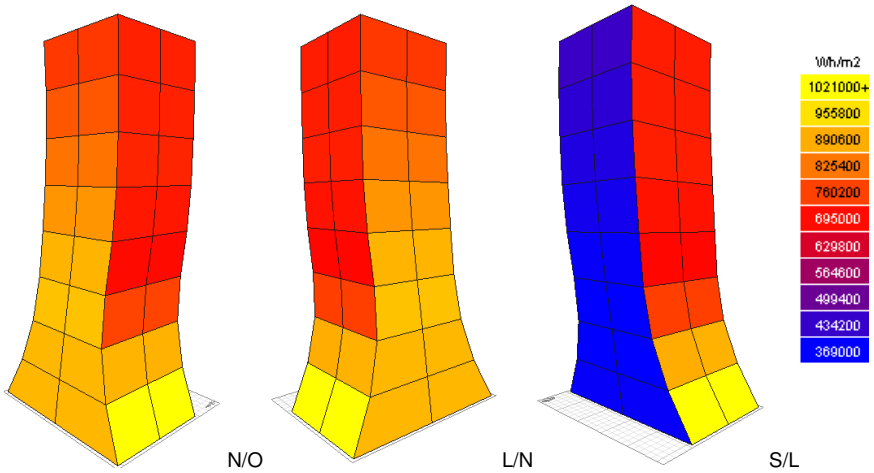
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 5; Curva2 e= 3; Curva3 e= 1; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 25m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3266.0 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.3e

- Radiação solar incidente anual = 514,3 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 235,2 MWh

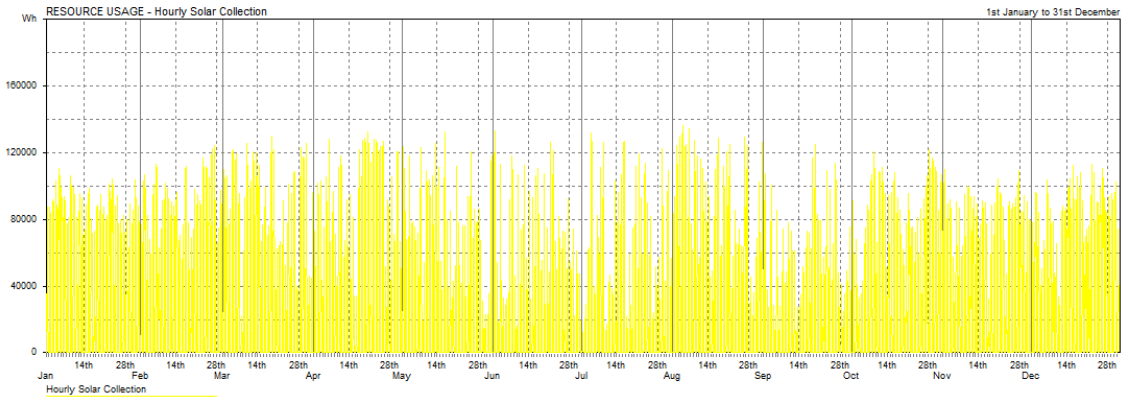


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.3e

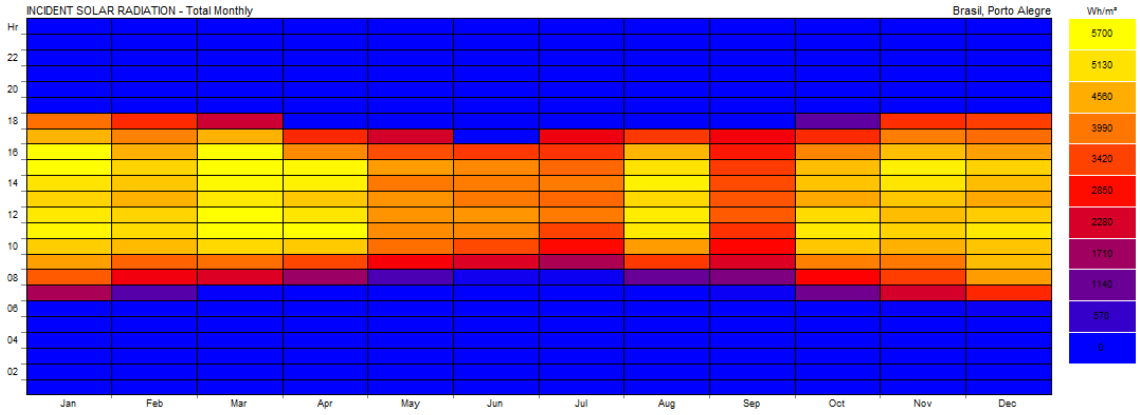
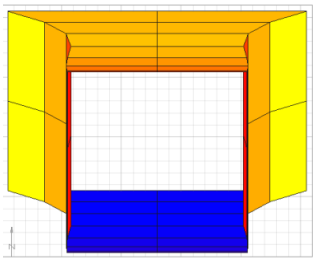


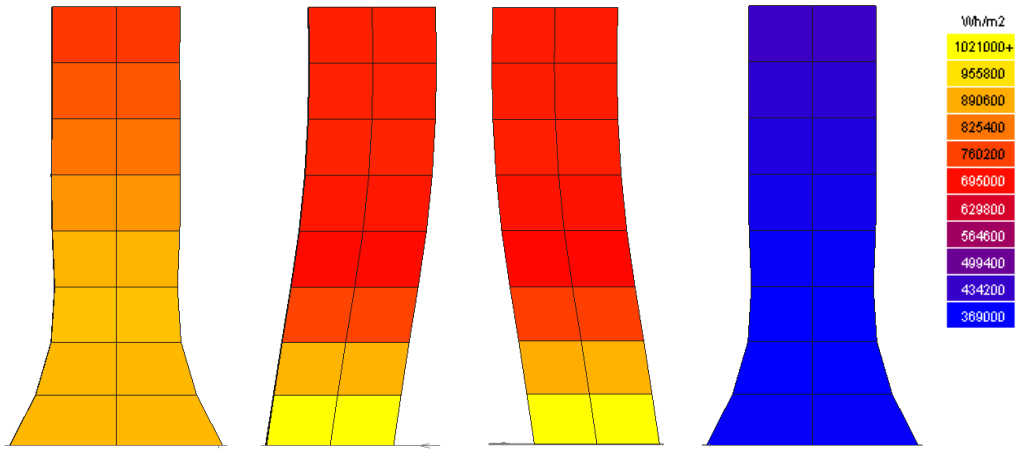
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.3e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	233338	50%	0	56593	184833088
Feb	193958	50%	0	48726	159140048
Mar	186675	49%	0	50175	163871504
Apr	149291	49%	0	43586	142350912
May	116615	49%	0	35367	115508472
Jun	93206	49%	0	28524	93158632
Jul	97979	49%	0	29841	97462096
Aug	148497	49%	0	44206	144374992
Sep	96085	49%	0	28104	91787232
Oct	179179	49%	0	47064	153711408
Nov	200125	50%	0	50175	163872080
Dec	216384	50%	0	51889	169468016
TOTALS	1911332		0	514251	1679538560

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.3e



Planta baixa – Forma 1.3e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.3e

Etapa 4 – twisting + shear (rotação + translação)

FORMA 1.4a

Variáveis:

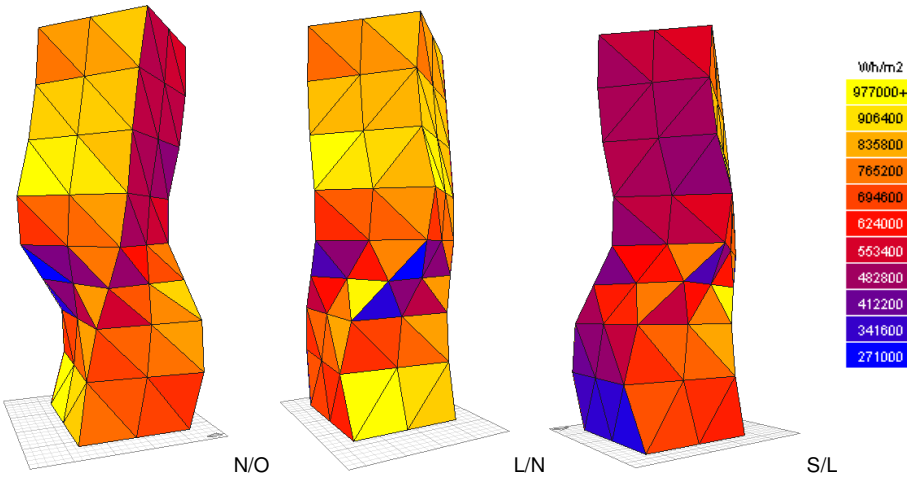
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 2; Curva2 e= 0; Curva3 e= 5; Curva4 e= 3; Curva5 e= 2
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a=0°; Curva3 a=45°; Curva4 a=41°; Curva5 a=45°

Resultados:

- Área: 3172.2 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.4a

- Total de exposição solar anual (incidente) = 636,4 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 282,6MWh

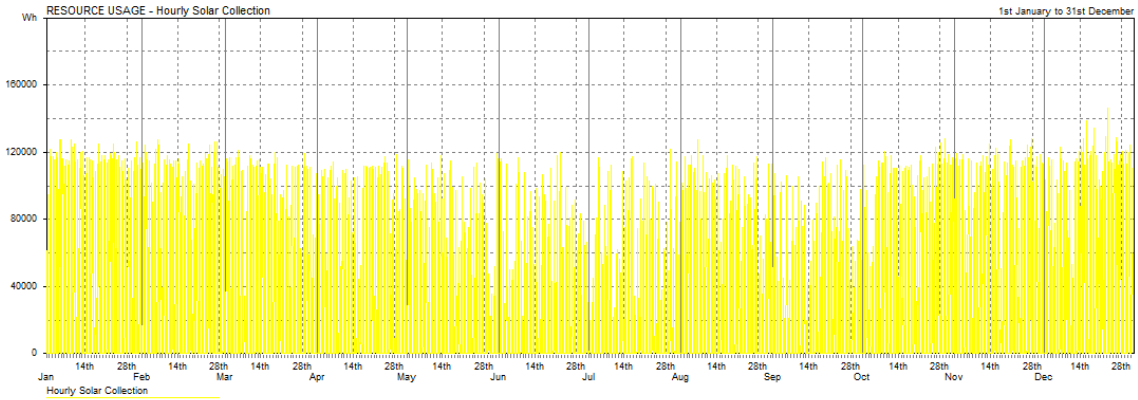


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.4a

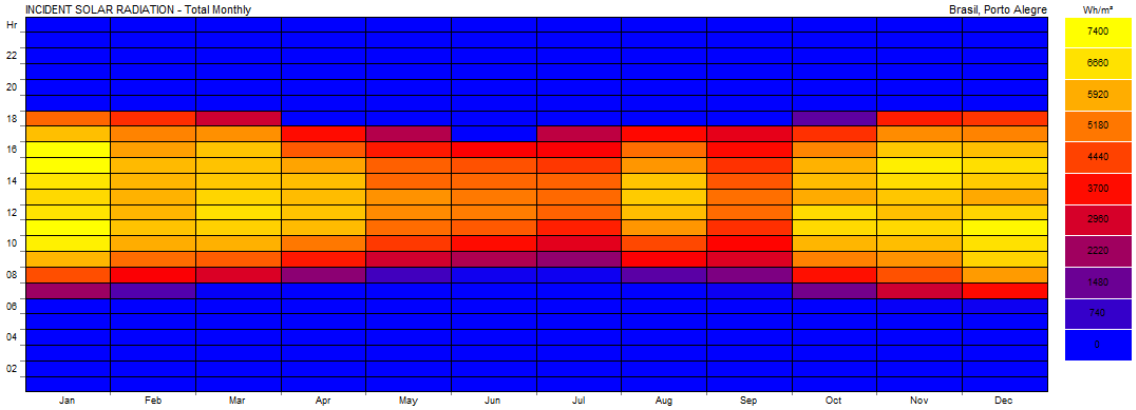
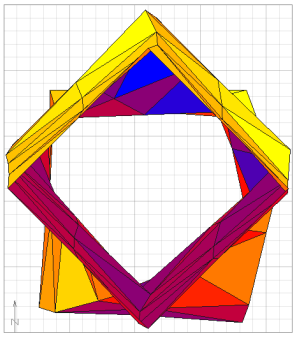


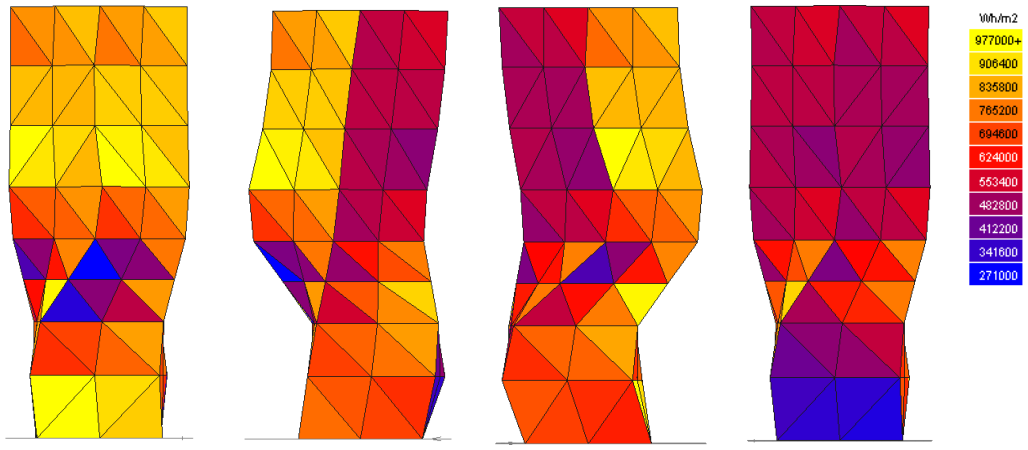
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.4a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	INCIDENT TOT.Wh
Jan	231001	55%	0	74408	236040336
Feb	193958	54%	0	61408	194801168
Mar	186675	53%	0	59455	188606560
Apr	149291	52%	0	49784	157925744
May	116615	51%	0	40978	129990560
Jun	93206	51%	0	33453	106120064
Jul	97979	51%	0	34719	110136736
Aug	148497	51%	0	49187	156031952
Sep	96085	52%	0	37507	118979808
Oct	179179	54%	0	60138	190771728
Nov	200125	55%	0	66680	211524720
Dec	216384	55%	0	68704	217946128
TOTALS	1908995		0	636420	2018875648

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.4ª



Planta baixa – Forma 1.4a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.4a

FORMA 1.4b

Variáveis:

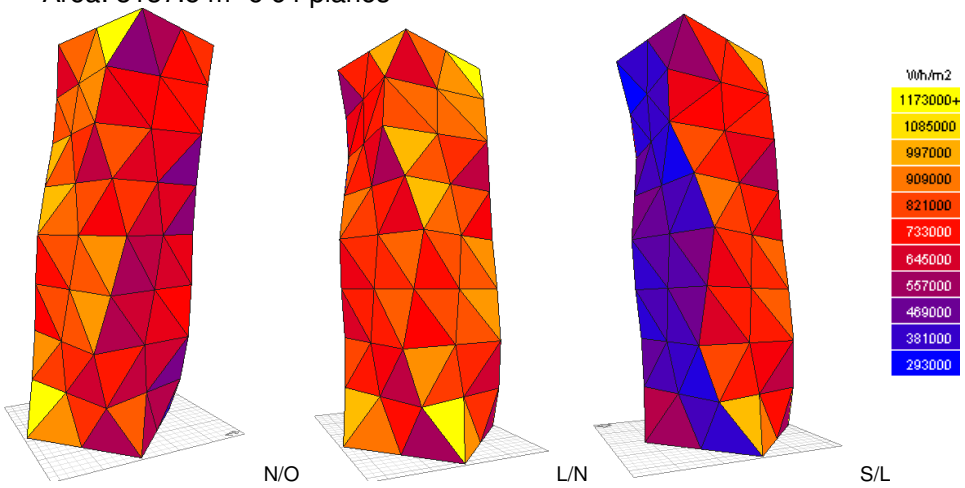
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e=5; Curva2 e=4; Curva3 e=3; Curva4 e=2; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 15°; Curva2 a= 10°; Curva3 a= 25°; Curva4 a= /°; Curva5 a= 20°

Resultados:

- Área: 3137.5 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.4b

- Radiação solar incidente = 650,0 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 285,5 MWh

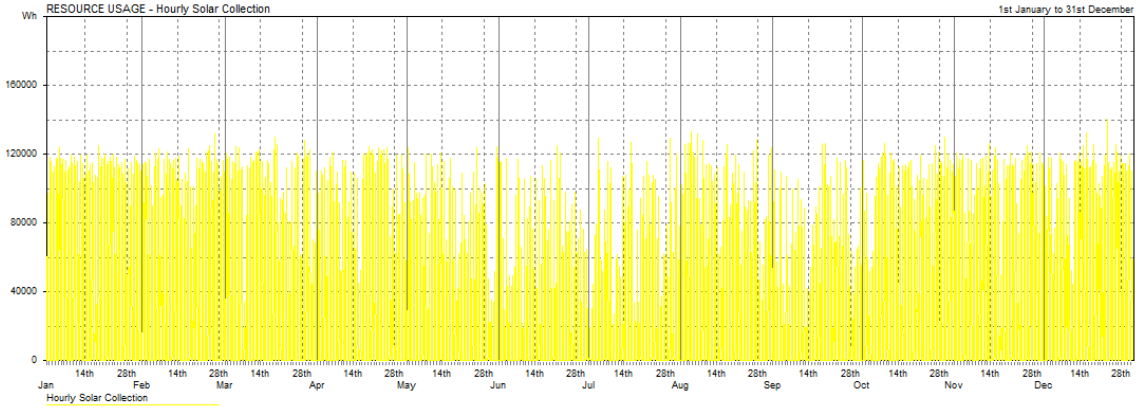
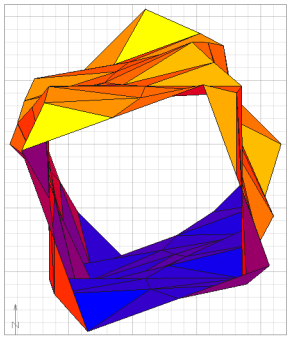


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.4b

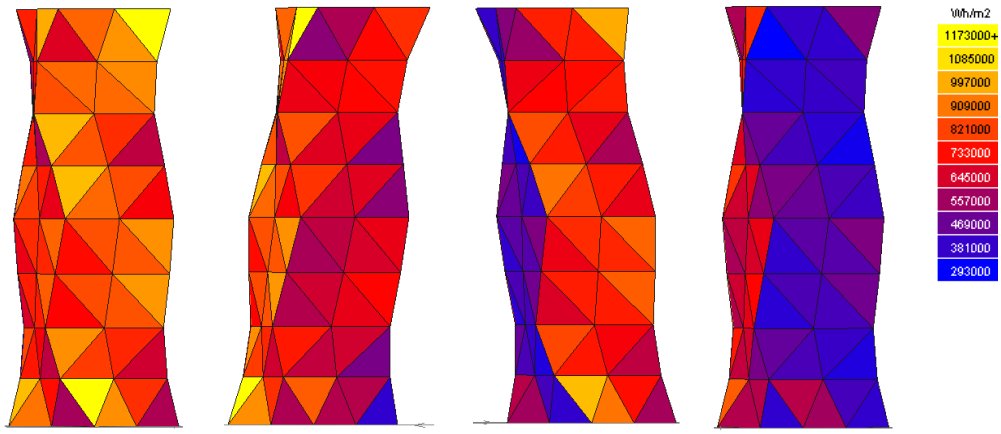
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.4b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	53%	0	74410	233464528
Feb	193958	52%	0	62306	195485504
Mar	186675	51%	0	61347	192478208
Apr	149291	51%	0	51958	163018944
May	116615	51%	0	42689	133937392
Jun	93206	51%	0	34727	108956320
Jul	97979	51%	0	36098	113259488
Aug	148497	51%	0	51527	161667072
Sep	96085	51%	0	38290	120137048
Oct	179179	52%	0	61181	191957904
Nov	200125	53%	0	66987	210172288
Dec	216384	54%	0	68519	214980624
TOTALS	1908995		0	650040	2039515392

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.4b



Planta baixa – Forma 1.4b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.4b

FORMA 1.4c

Variáveis:

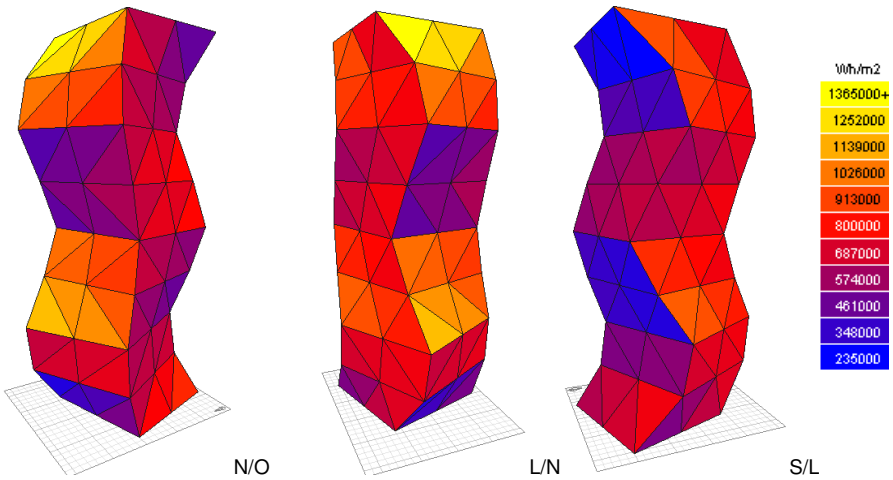
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 0; Curva4 e= 5; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 17°; Curva2 a= 31°; Curva3 a= 15°; Curva4 a= 27°; Curva5 a= 6°

Resultados:

- Área: 3253,4 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.4c

- Radiação solar incidente anual = 639,4 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 291,2 MWh

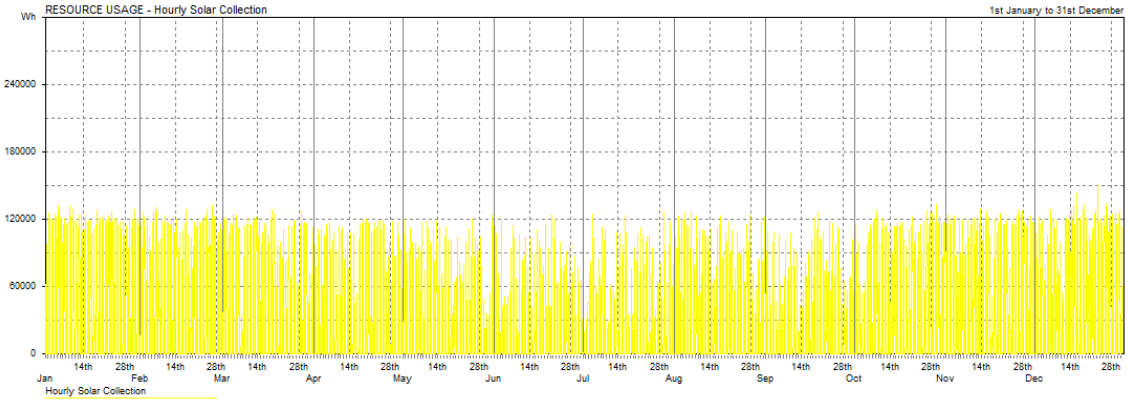
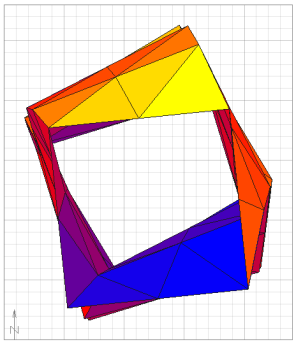


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.4c

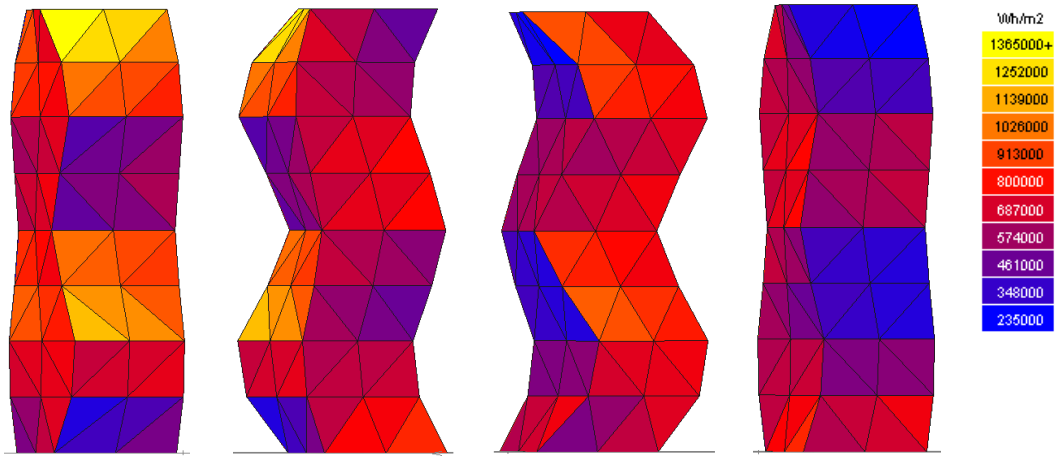
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.4c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	56%	0	74992	243978416
Feb	193958	55%	0	62143	202174608
Mar	186675	53%	0	59978	195132080
Apr	149291	52%	0	49773	161931056
May	116615	52%	0	40887	133021448
Jun	93206	51%	0	33333	108446288
Jul	97979	51%	0	34609	112597136
Aug	148497	52%	0	49111	159778768
Sep	96085	53%	0	37557	122186864
Oct	179179	54%	0	60662	197356464
Nov	200125	56%	0	67120	218367840
Dec	216384	57%	0	69262	225335264
TOTALS	1908995		0	639427	2080306176

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.4c



Planta baixa – Forma 1.4c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.4c

FORMA 1.4d

Variáveis:

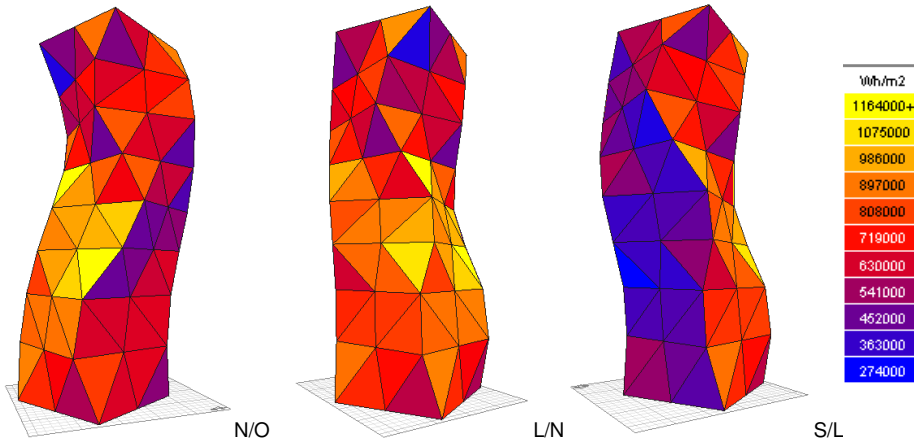
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e=5; Curva2 e=5; Curva3 e=1; Curva4 e=0; Curva5 e=3
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=30°; Curva2 a=15°; Curva3 a=40°; Curva4 a=0°; Curva5 a=30°

Resultados:

- Área: 3168.1m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.4d

- Radiação solar incidente anual = 642,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 285,1 MWh

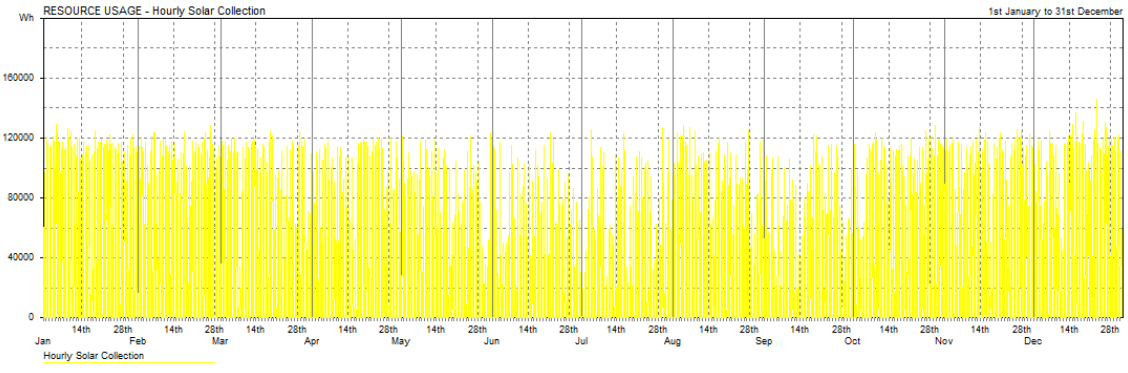


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.4d

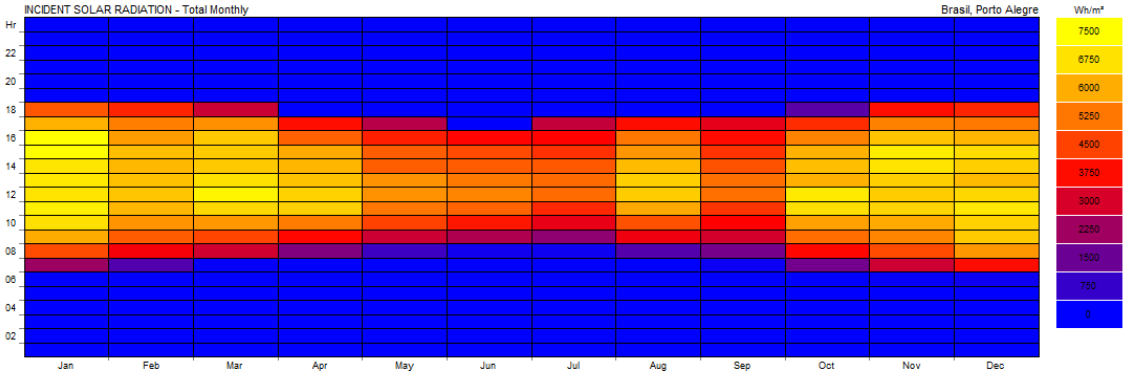
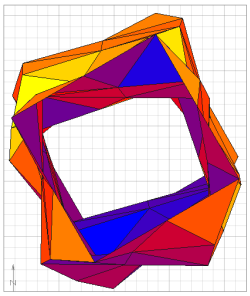


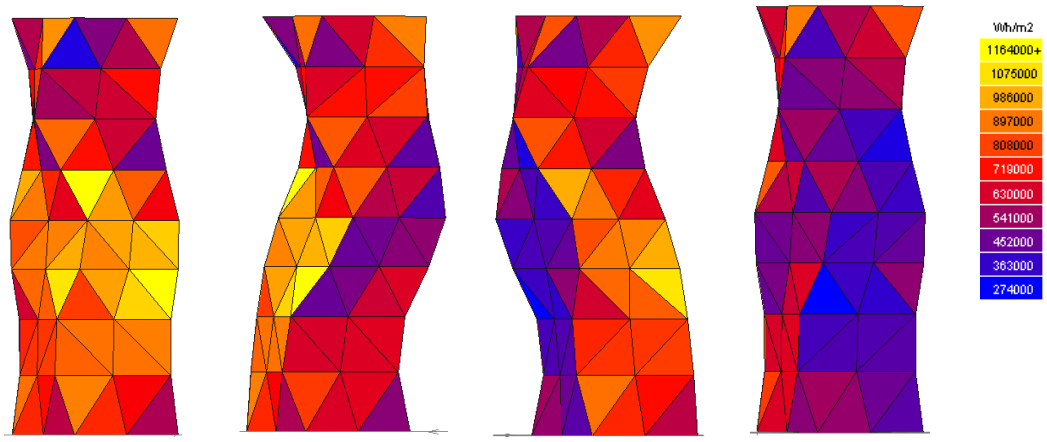
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.4d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	55%	0	74495	236006560
Feb	193958	54%	0	61683	195415056
Mar	186675	53%	0	60155	190576912
Apr	149291	52%	0	50790	160908256
May	116615	51%	0	41790	132394232
Jun	93206	51%	0	34082	107974680
Jul	97979	51%	0	35407	112172688
Aug	148497	51%	0	50295	159337344
Sep	96085	52%	0	37819	119814704
Oct	179179	54%	0	60455	191527616
Nov	200125	54%	0	66884	211893296
Dec	216384	55%	0	68875	218202576
TOTALS	1908995		0	642732	2036223872

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.4d



Planta baixa – Forma 1.4d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.4d

FORMA 1.4e

Variáveis:

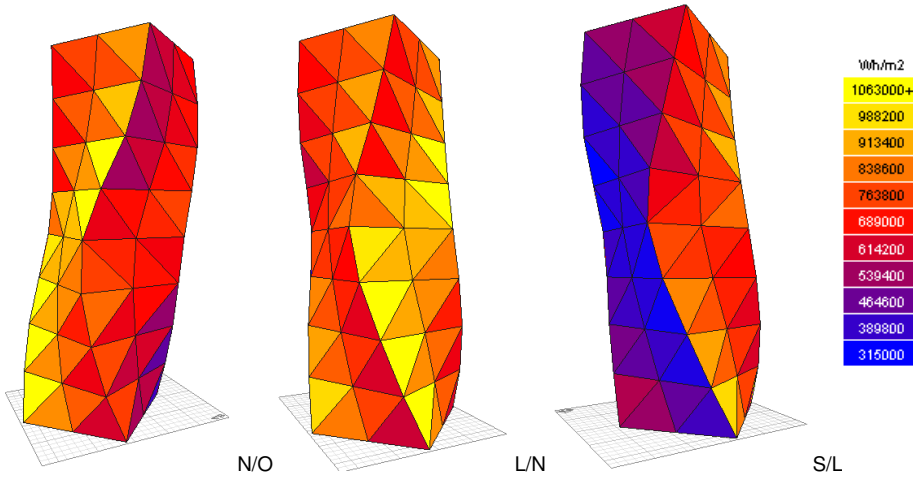
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e=5; Curva2 e=4; Curva3 e=2; Curva4 e=0; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=45°; Curva2 a=15°; Curva3 a=0°; Curva4 a=20°; Curva5 a=35°

Resultados:

- Área: 3152.8 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.4e

- Radiação solar incidente anual = 651,8 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 287,7 MWh

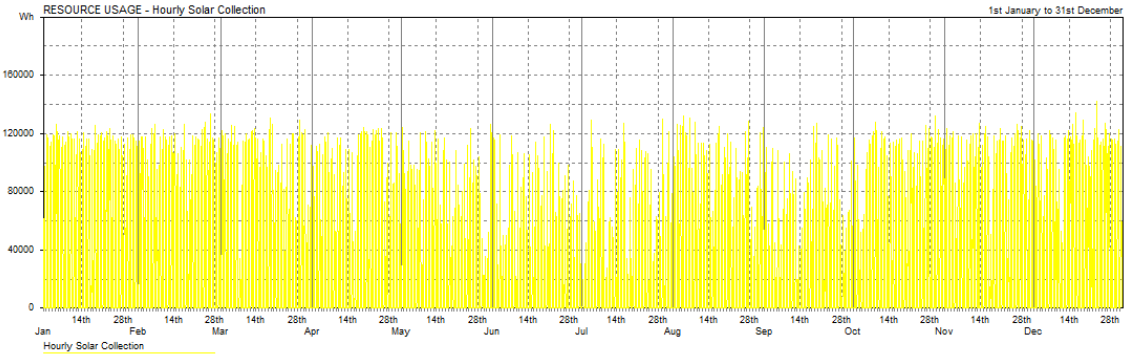


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.4e

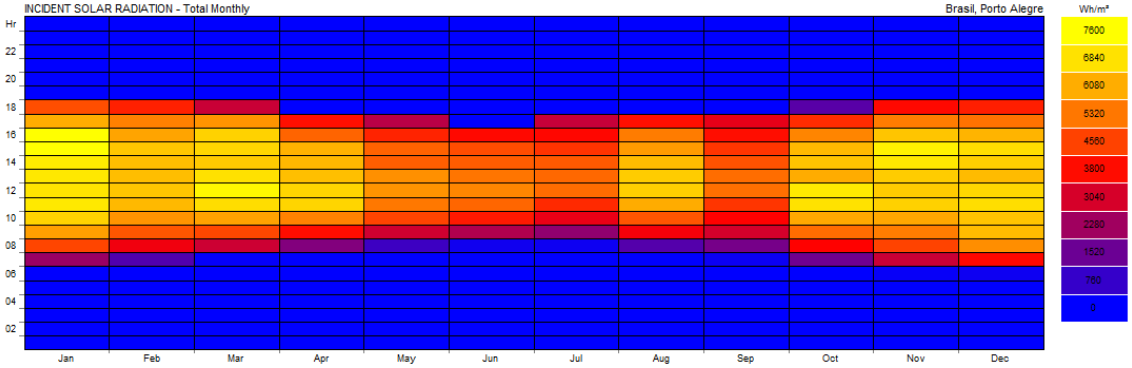
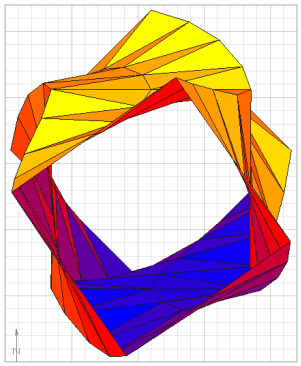


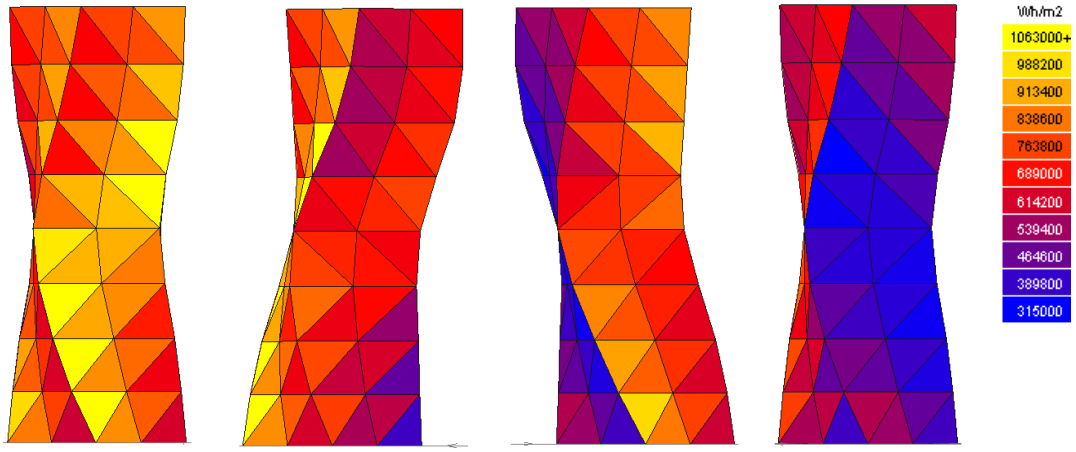
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.4e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	53%	0	74782	235774704
Feb	193958	52%	0	62653	197531536
Mar	186675	51%	0	61544	194035024
Apr	149291	51%	0	51928	163717456
May	116615	51%	0	42609	134336448
Jun	93206	50%	0	34689	109367728
Jul	97979	50%	0	36065	113705584
Aug	148497	51%	0	51458	162238016
Sep	96085	51%	0	38338	120873760
Oct	179179	52%	0	61446	193727360
Nov	200125	53%	0	67357	212364624
Dec	216384	53%	0	68891	217200544
TOTALS	1908995		0	651760	2054872960

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.4e



Planta baixa – Forma 1.4e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.4e

Etapa 5 – tapering (escala)

FORMA 1.5a

Variáveis:

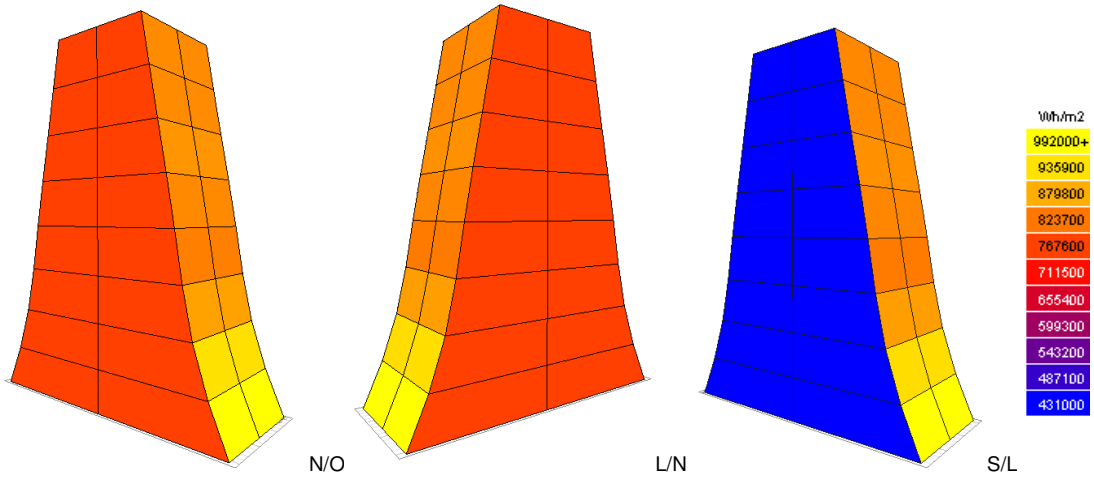
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m. ≤ Lb ≤ 40m.

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 40m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 25m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4262,1 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.5a

- Radiação solar incidente anual = 717,1 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 427,9 MWh

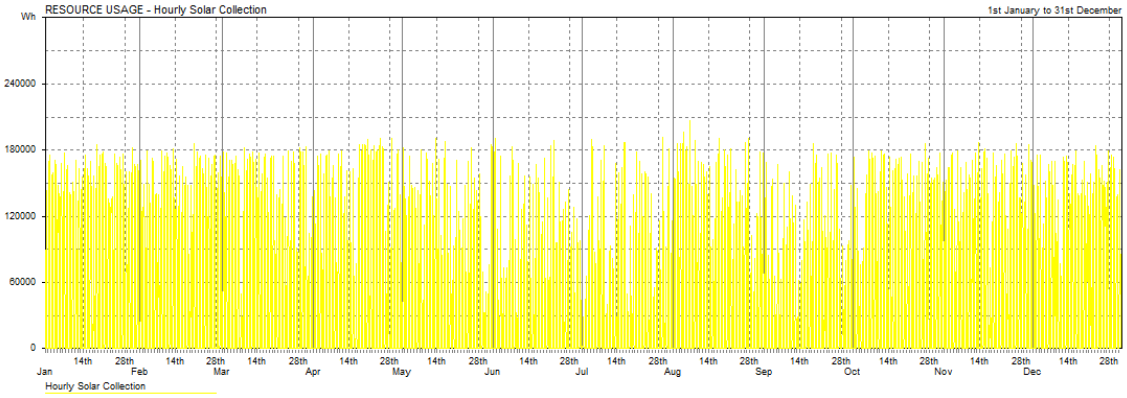


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.5a

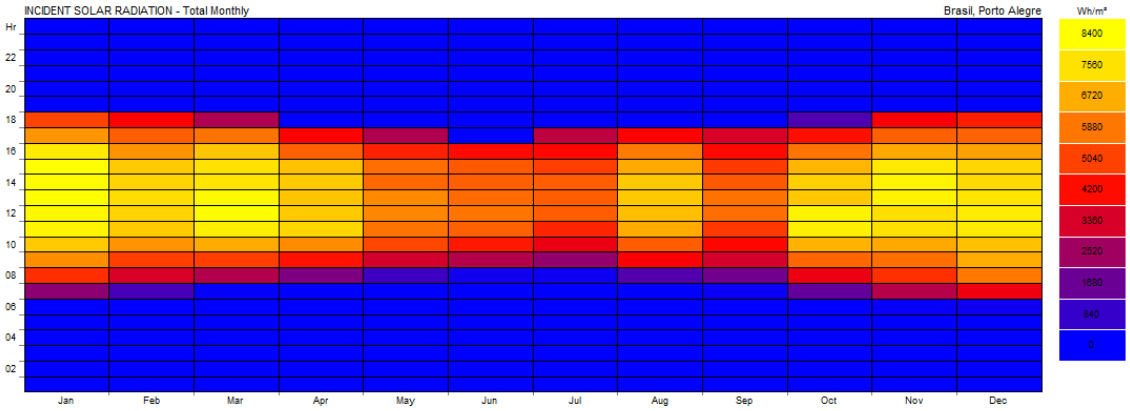
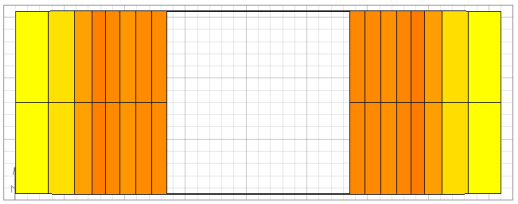


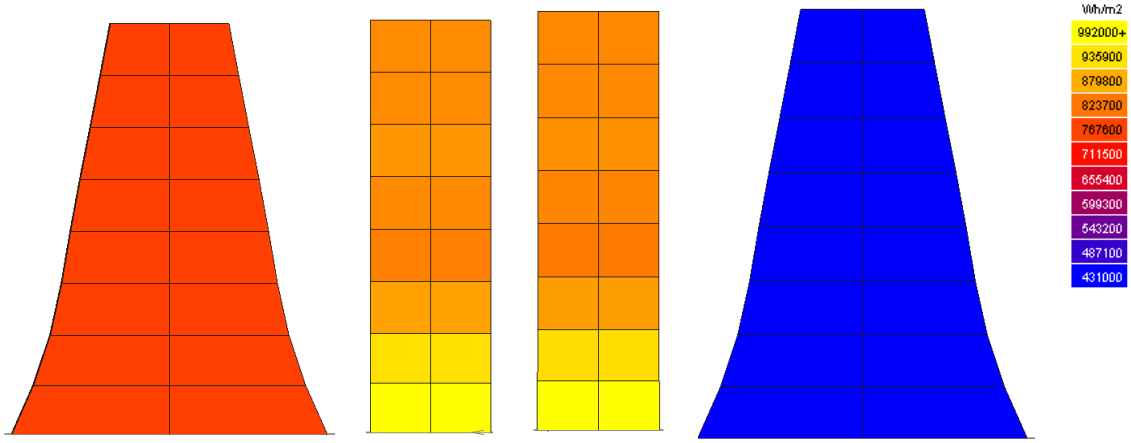
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.5a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	48%	0	82006	349518464
Feb	193958	48%	0	68531	292087552
Mar	186675	47%	0	67805	288990112
Apr	149291	47%	0	57756	246163680
May	116615	47%	0	46982	200241120
Jun	93206	47%	0	38110	162429984
Jul	97979	47%	0	39564	168625968
Aug	148497	47%	0	56951	242728768
Sep	96085	47%	0	42294	180261392
Oct	179179	47%	0	67483	287617312
Nov	200125	46%	0	73803	314555936
Dec	216384	47%	0	75863	323335104
TOTALS	1908995		0	717148	3056555264

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.5a



Planta baixa – Forma 1.5a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.5a

FORMA 1.5b

Variáveis:

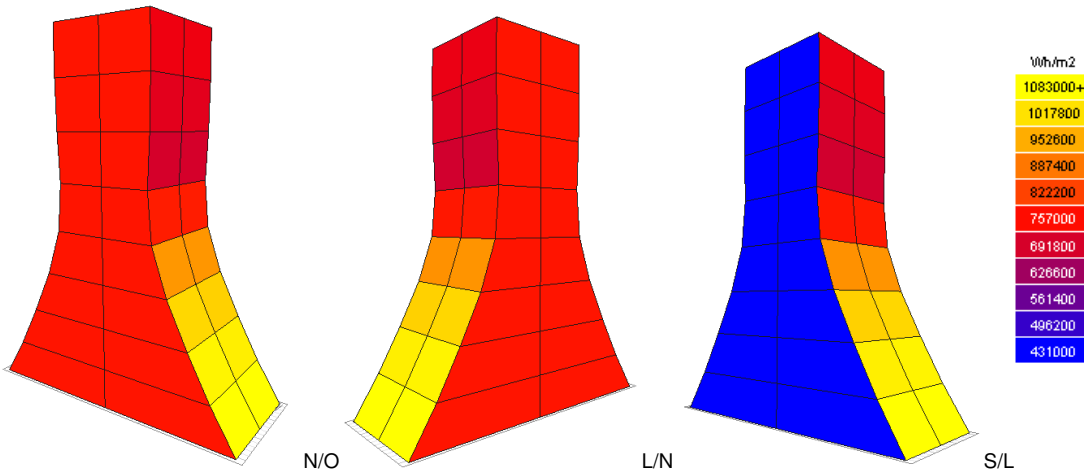
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 40m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 25m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3765.8 m² e 64 planos
-



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.5b

- Radiação solar incidente anual = 712,8 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 375,8 MWh

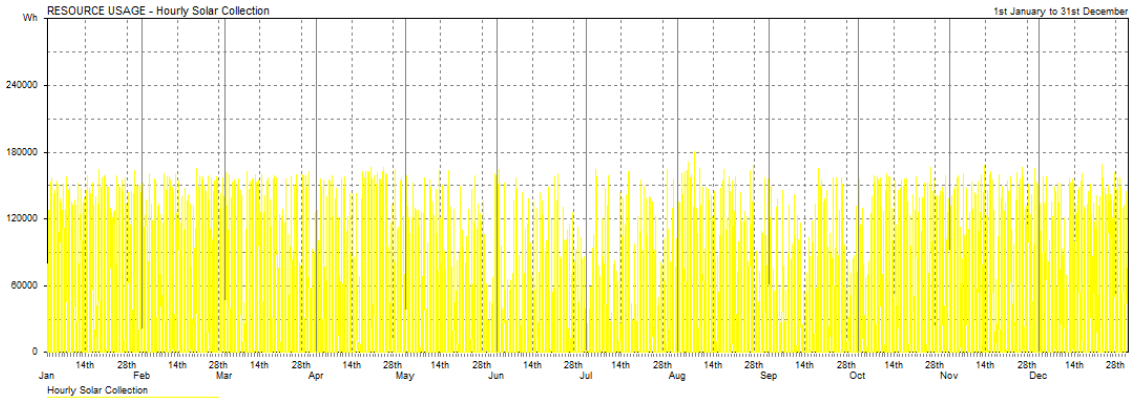


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.5b

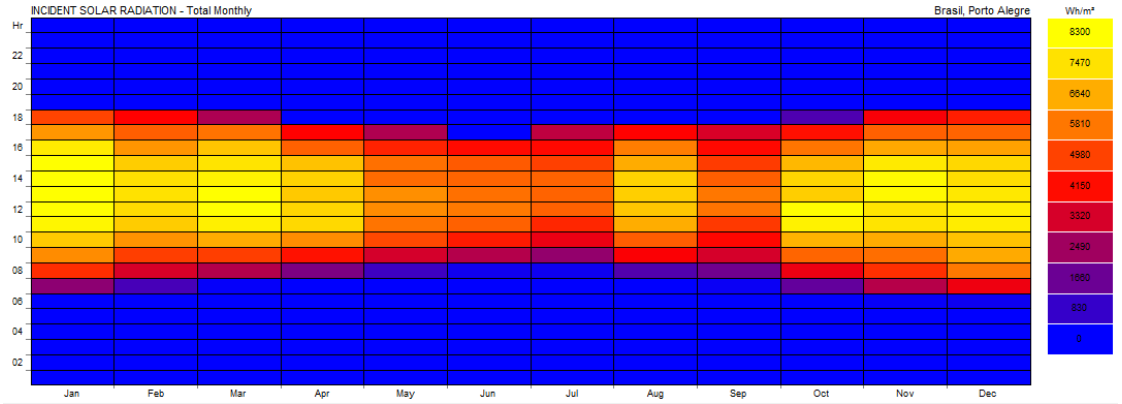
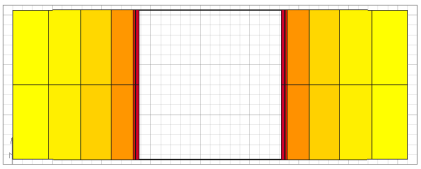


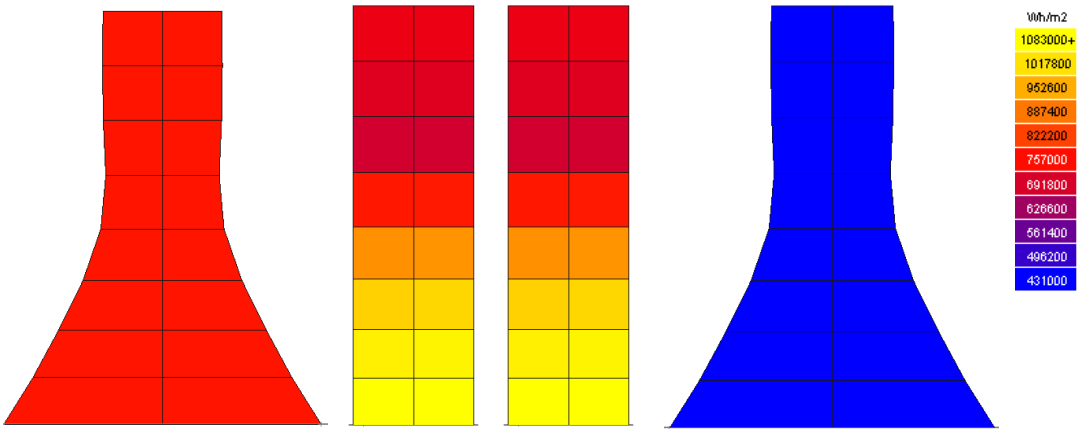
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.5b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	49%	0	81306	306177600
Feb	193958	48%	0	68101	256450384
Mar	186675	48%	0	67473	254085104
Apr	149291	47%	0	57529	216638160
May	116615	47%	0	46751	176050912
Jun	93206	47%	0	37946	142897056
Jul	97979	47%	0	39406	148394640
Aug	148497	47%	0	56727	213618048
Sep	96085	47%	0	42104	158553120
Oct	179179	48%	0	67115	252738848
Nov	200125	49%	0	73255	275859296
Dec	216384	49%	0	75137	282945824
TOTALS	1908995		0	712848	2684409344

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.5b



Planta baixa – Forma 1.5b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.5b

FORMA 1.5c

Variáveis:

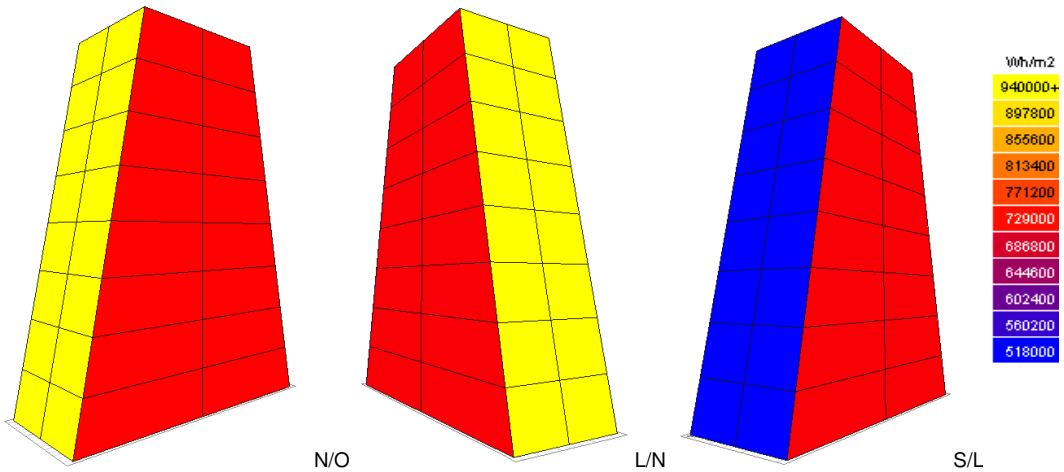
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 40m
  Curva2 La= 15m Curva2 Lb= 35m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 30m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 25m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 20m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4708.6 m² e 64 planos
-



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.5c

- Radiação solar incidente anual = 703,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 463,9 MWh

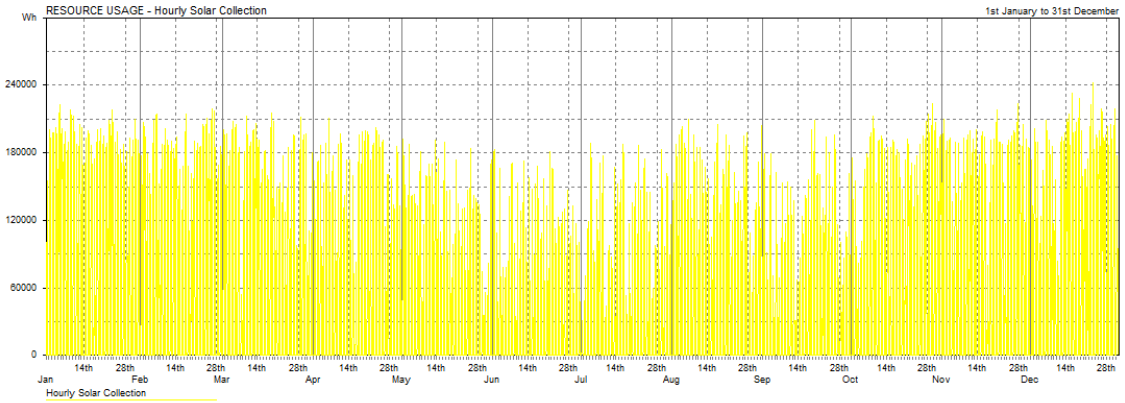


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.5c

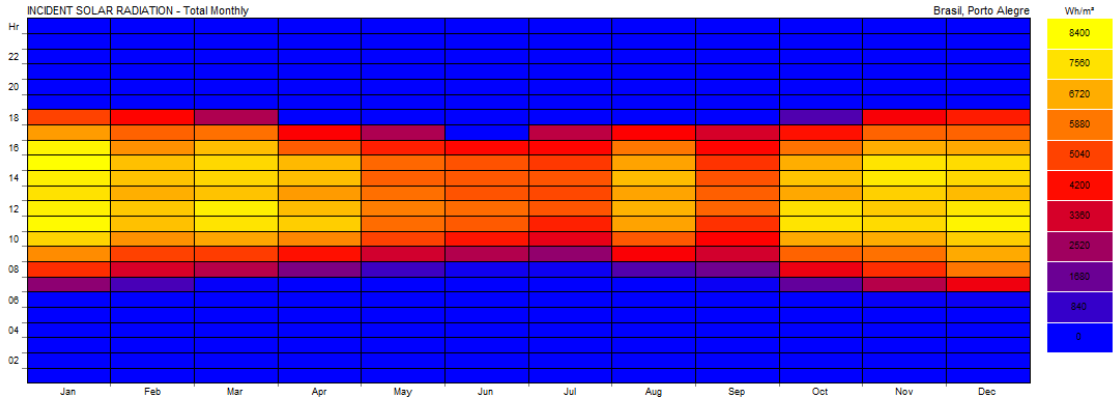
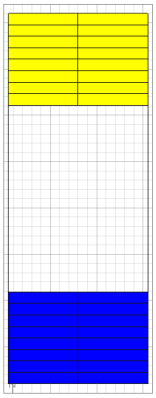


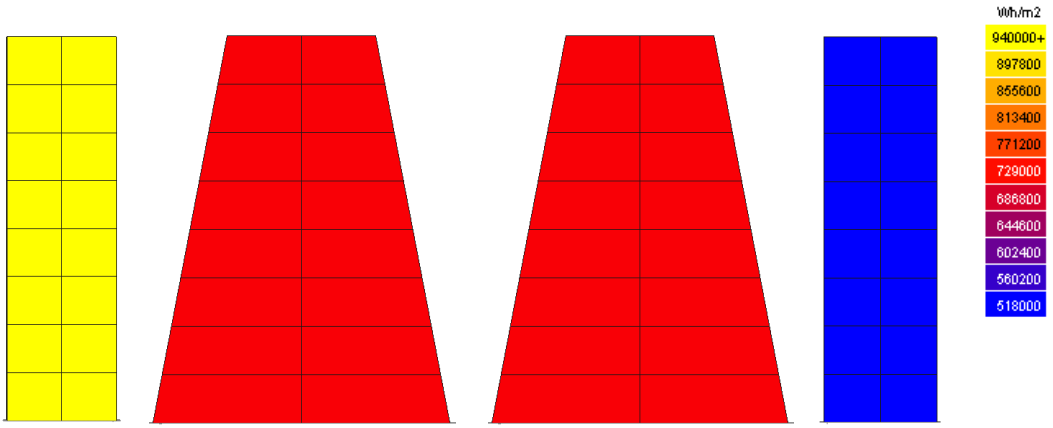
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.5c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	INCIDENT TOT.Wh
Jan	231001	33%	0	81409	383322912
Feb	193958	43%	0	67001	315480224
Mar	186675	48%	0	66036	310934368
Apr	149291	50%	0	56239	264808192
May	116615	50%	0	45859	215932176
Jun	93206	50%	0	37209	175203184
Jul	97979	50%	0	38642	181947616
Aug	148497	50%	0	55528	261457152
Sep	96085	50%	0	41366	194774544
Oct	179179	45%	0	66018	310848928
Nov	200125	36%	0	72820	342877152
Dec	216384	32%	0	75612	356027680
TOTALS	1908995		0	703739	3313614336

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.5c



Planta baixa – Forma 1.5c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.5c

FORMA 1.5d

Variáveis:

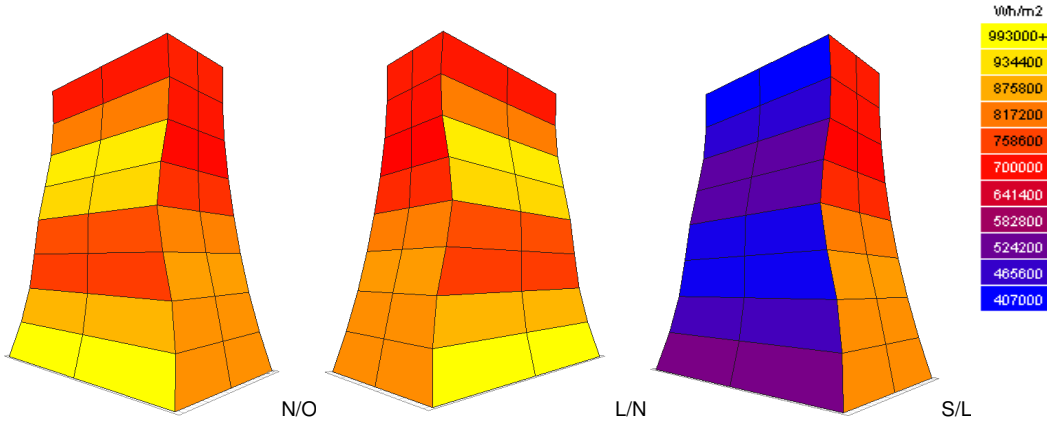
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 40m Curva1 Lb= 25m
  Curva2 La= 35m Curva2 Lb= 20m
  Curva3 La= 30m Curva3 Lb= 20m
  Curva4 La= 30m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 5361.8 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.5d

- Radiação solar incidente anual = 699,6 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 525,2 MWh

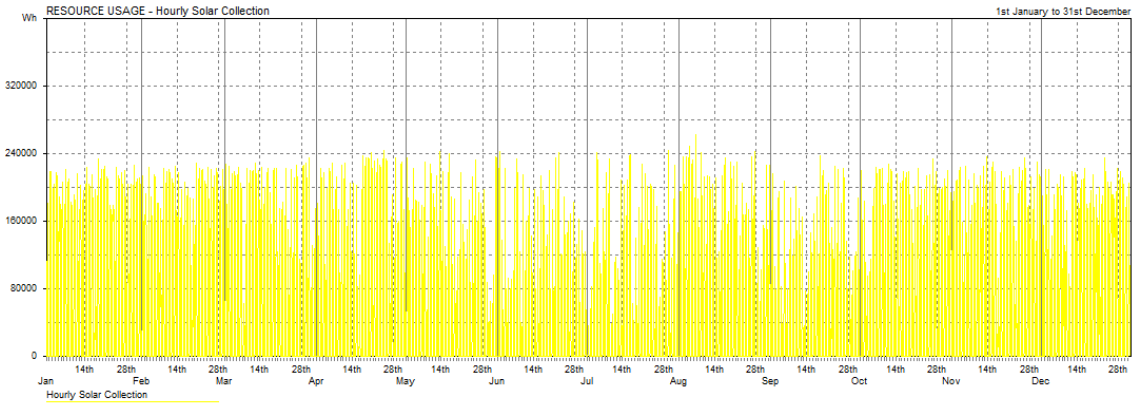


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.5d

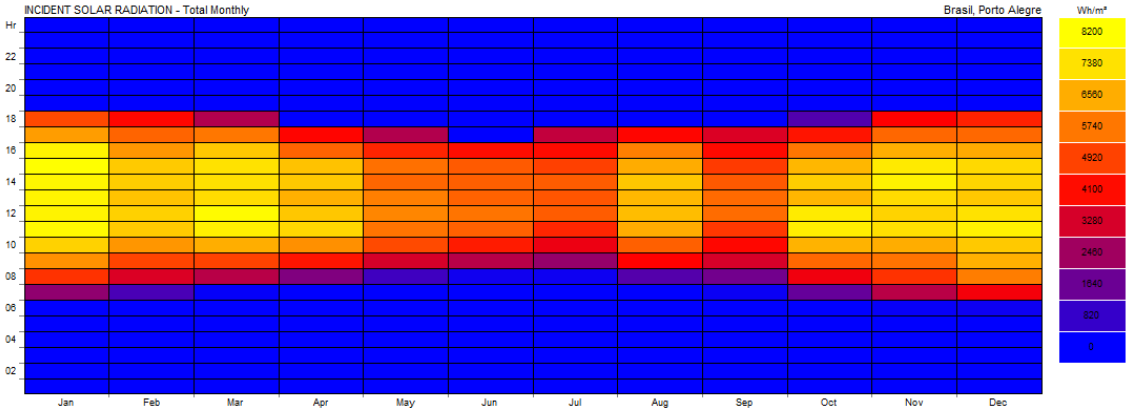
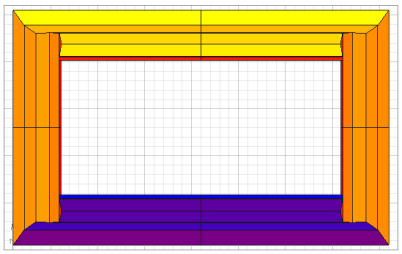


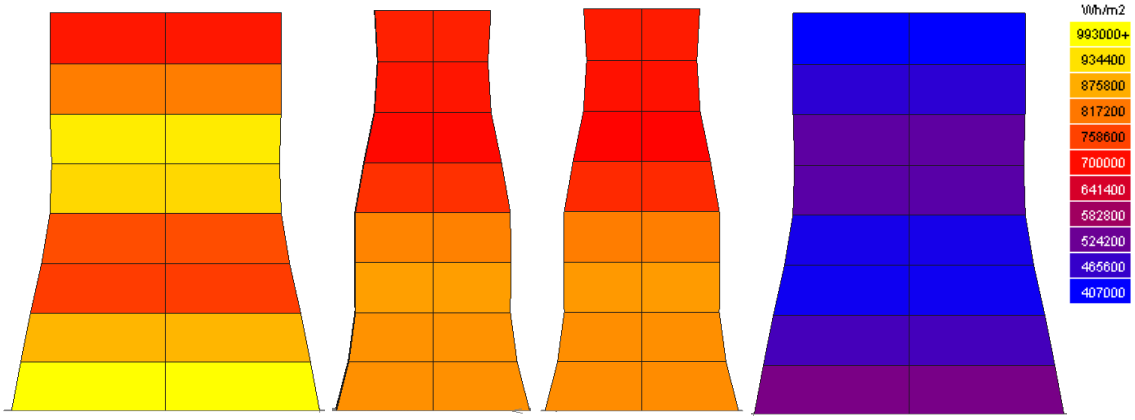
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.5d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	46%	0	80175	429880704
Feb	193958	47%	0	66694	357598304
Mar	186675	48%	0	65972	353731232
Apr	149291	49%	0	56280	301760608
May	116615	49%	0	45908	246146944
Jun	93206	48%	0	37235	199643952
Jul	97979	49%	0	38661	207292112
Aug	148497	49%	0	55585	298034496
Sep	96085	49%	0	41267	221267008
Oct	179179	47%	0	65705	352295648
Nov	200125	47%	0	71972	385899264
Dec	216384	47%	0	74122	397429184
TOTALS	1908995		0	699575	3750979328

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.5d



Planta baixa – Forma 1.5d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.5d

FORMA 1.5e

Variáveis:

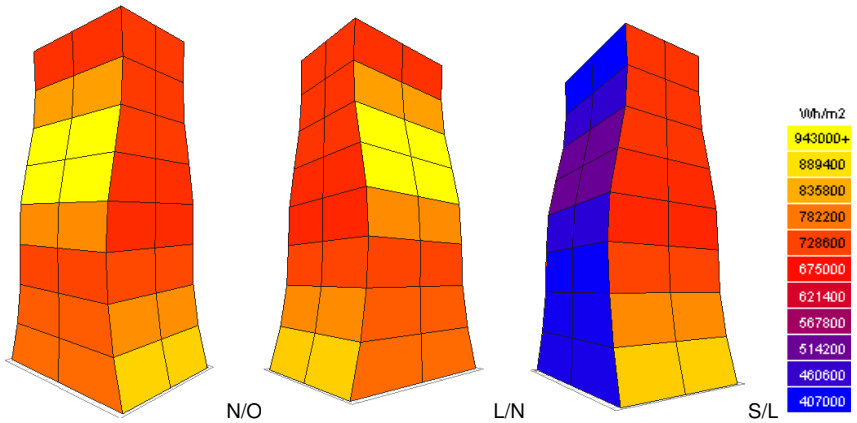
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 25m Curva1 Lb= 20m
  Curva2 La= 20m Curva2 Lb= 20m
  Curva3 La= 20m Curva3 Lb= 20m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 20m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4034.9 m² e 64 planos
-



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.5e

- Radiação solar incidente anual = 669,0 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 377,9 MWh

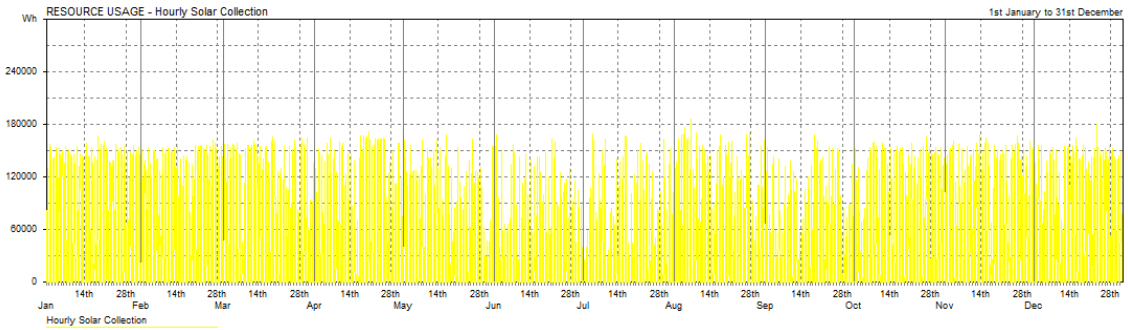


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.5e

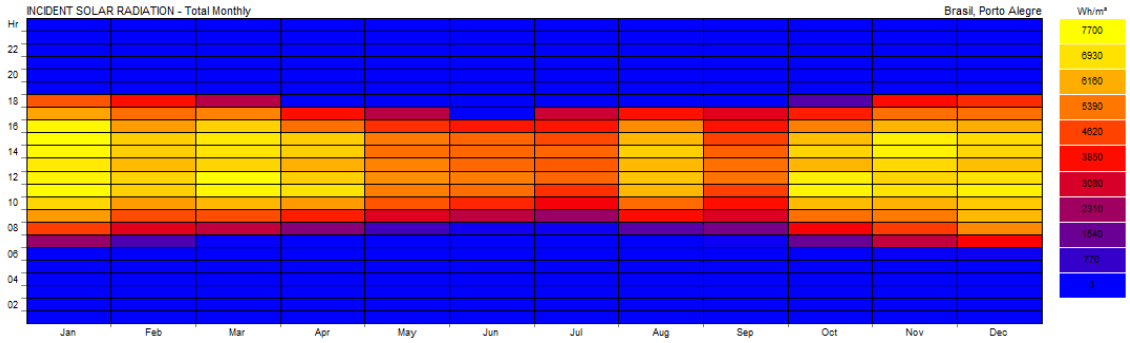
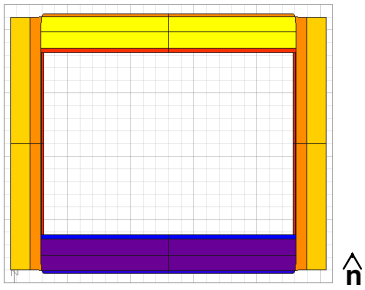


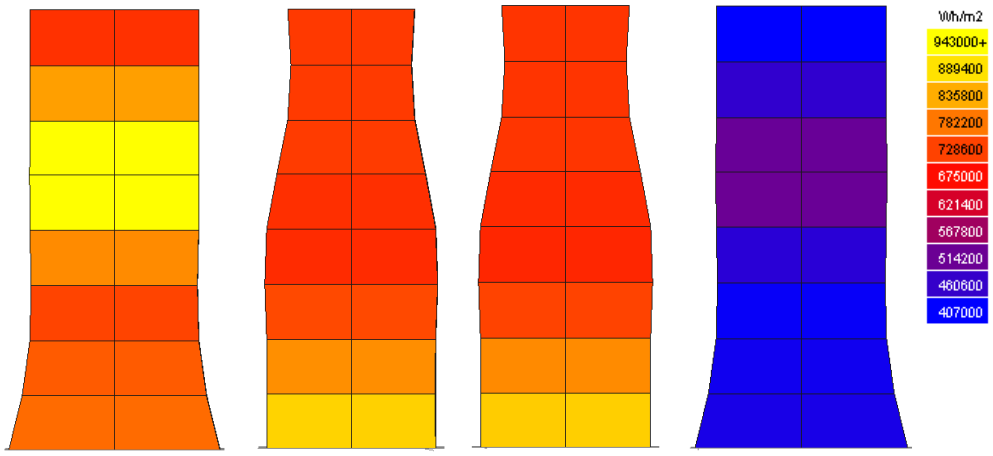
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.5e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	48%	0	76058	306884768
Feb	193958	48%	0	63376	255714784
Mar	186675	49%	0	62971	254082528
Apr	149291	49%	0	54081	218210448
May	116615	49%	0	44332	178875600
Jun	93206	49%	0	36016	145319776
Jul	97979	49%	0	37401	150909008
Aug	148497	49%	0	53533	216001280
Sep	96085	50%	0	39743	160357072
Oct	179179	49%	0	62731	253113568
Nov	200125	48%	0	68524	276487392
Dec	216384	48%	0	70253	283463680
TOTALS	1908995		0	669021	2699419904

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.5e



Planta baixa – Forma 1.5e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.5e

Etapa 6 – shear (translação)

FORMA 1.6a

Variáveis:

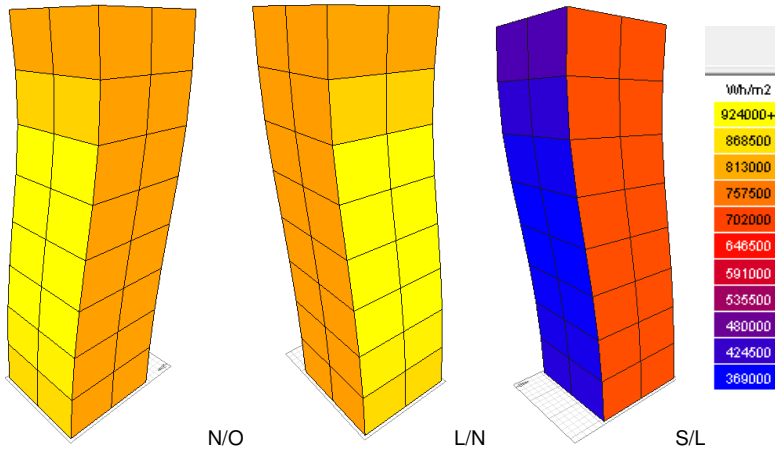
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 5; Curva2 e= 4; Curva3 e= 2; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3130.9 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.6a

- Radiação solar incidente anual = 652,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 286,1 MWh

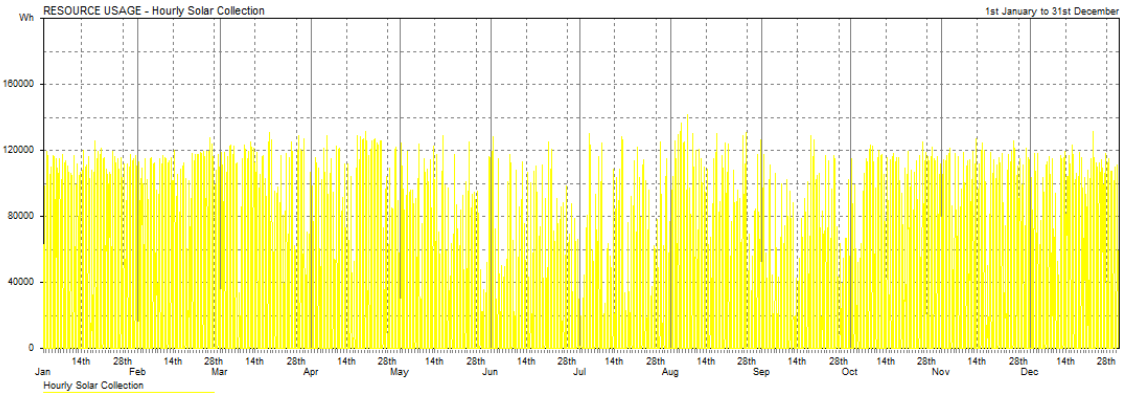


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.6a

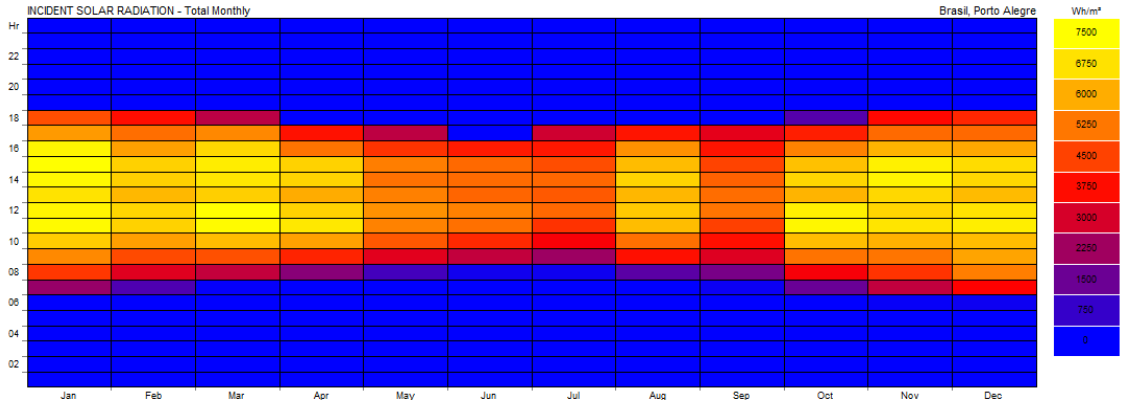
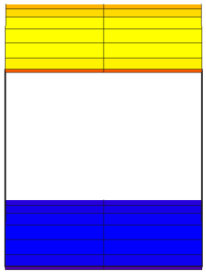


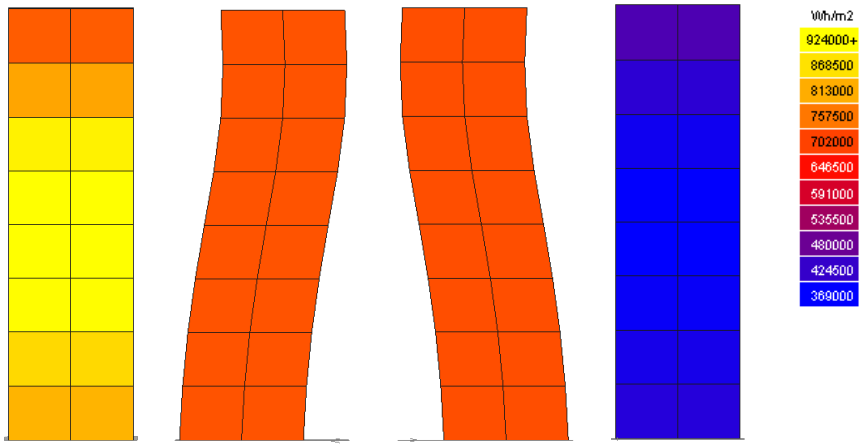
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.6a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	49%	0	73272	229406064
Feb	193958	49%	0	61888	193762704
Mar	186675	50%	0	61859	193671632
Apr	149291	50%	0	53149	166403888
May	116615	50%	0	43549	136347008
Jun	93206	50%	0	35353	110685344
Jul	97979	50%	0	36750	115060808
Aug	148497	50%	0	52696	164984992
Sep	96085	50%	0	38806	121495304
Oct	179179	49%	0	61336	192034688
Nov	200125	49%	0	66517	208255488
Dec	216384	49%	0	67489	211298112
TOTALS	1908995		0	652664	2043406080

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.6a



Planta baixa – Forma 1.6a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.6a

FORMA 1.6b

Variáveis:

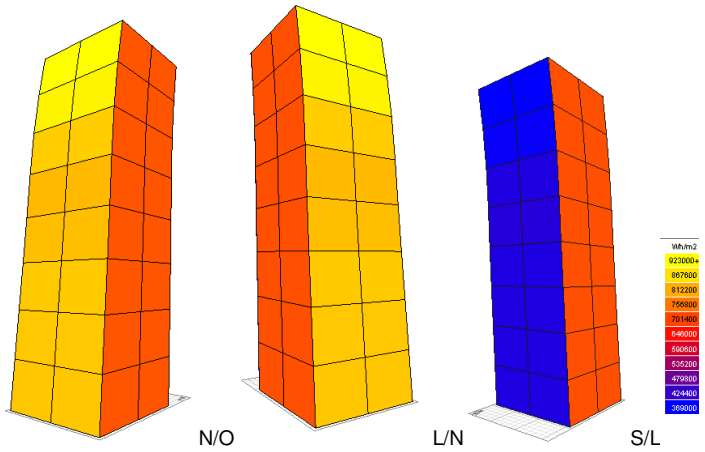
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 5; Curva2 e= 4; Curva3 e= 3; Curva4 e= 2; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3128.2m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.6b

- Radiação solar incidente anual = 652,1 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 285,6 MWh

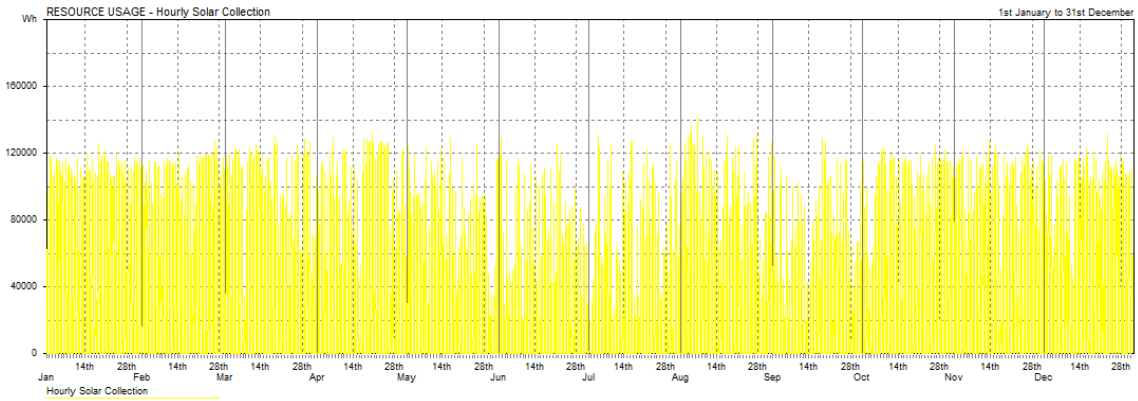
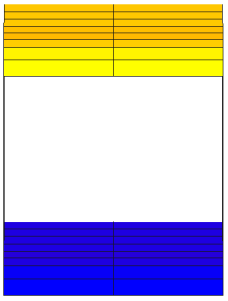


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.6b

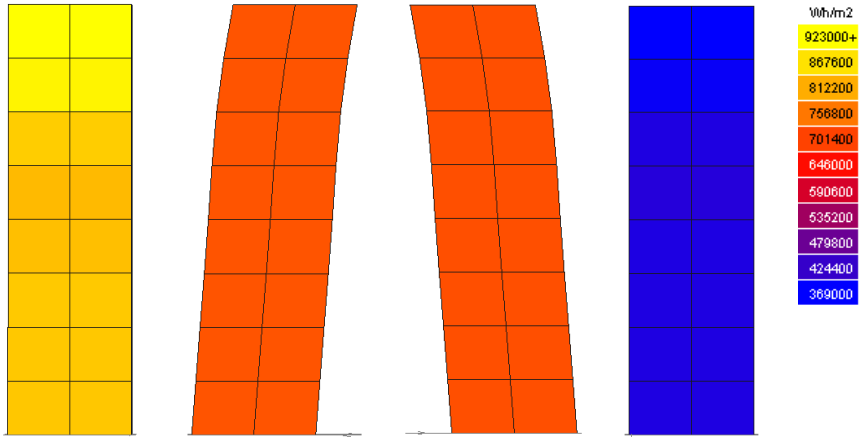
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.6b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	49%	0	73130	228762064
Feb	193958	49%	0	61810	193349456
Mar	186675	50%	0	61850	193477040
Apr	149291	50%	0	53134	166210352
May	116615	50%	0	43538	136192400
Jun	93206	50%	0	35344	110560080
Jul	97979	50%	0	36744	114941168
Aug	148497	50%	0	52693	164830800
Sep	96085	50%	0	38776	121296616
Oct	179179	50%	0	61306	191775712
Nov	200125	49%	0	66411	207743536
Dec	216384	49%	0	67382	210780512
TOTALS	1908995		0	652117	2039919744

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.6b



Planta baixa – Forma 1.6a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.6a

FORMA 1.6c

Variáveis:

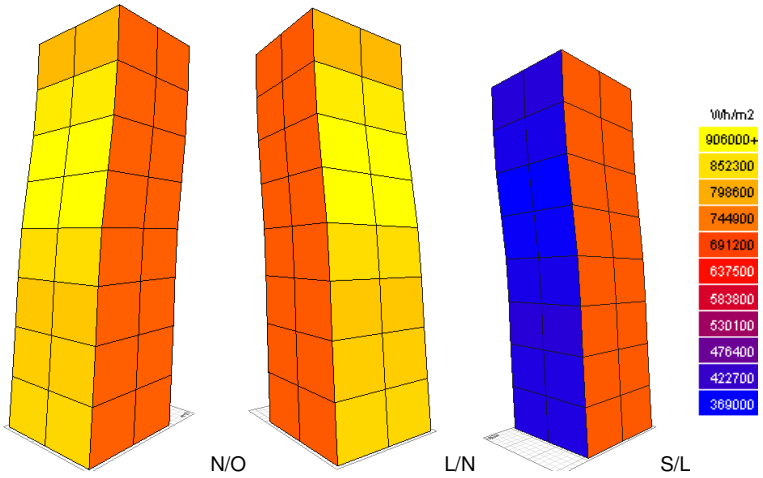
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 5; Curva2 e= 4; Curva3 e= 3; Curva4 e= 1; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3128,2 m² e 64 planos
-



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.6c

- Radiação solar incidente anual = 651,6 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 285,4 MWh

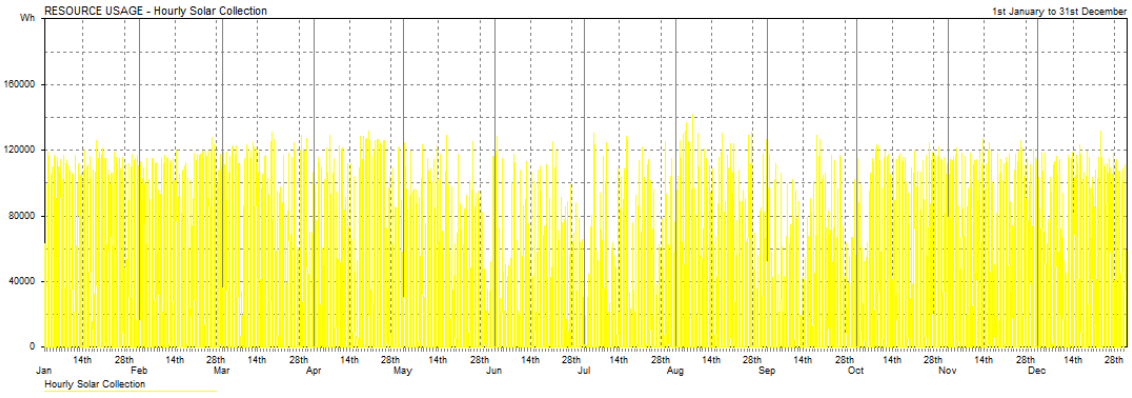


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.6c

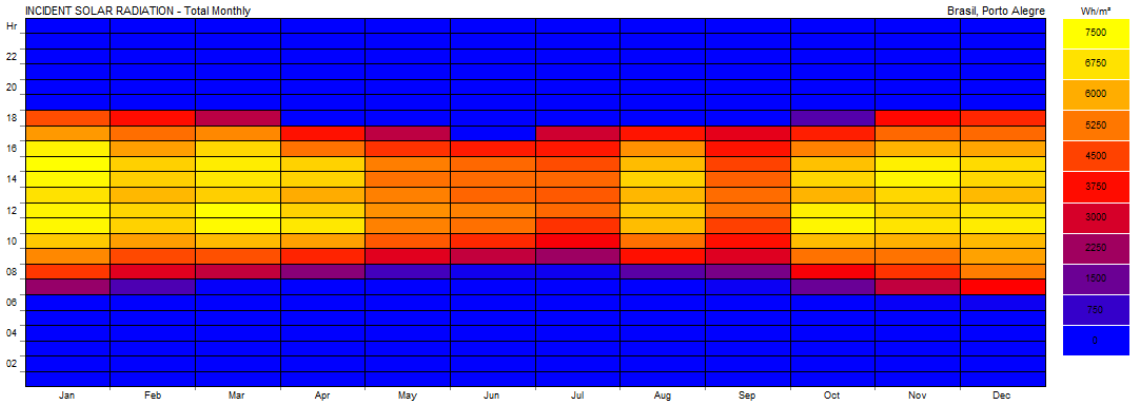
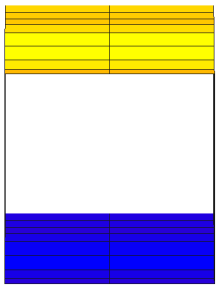


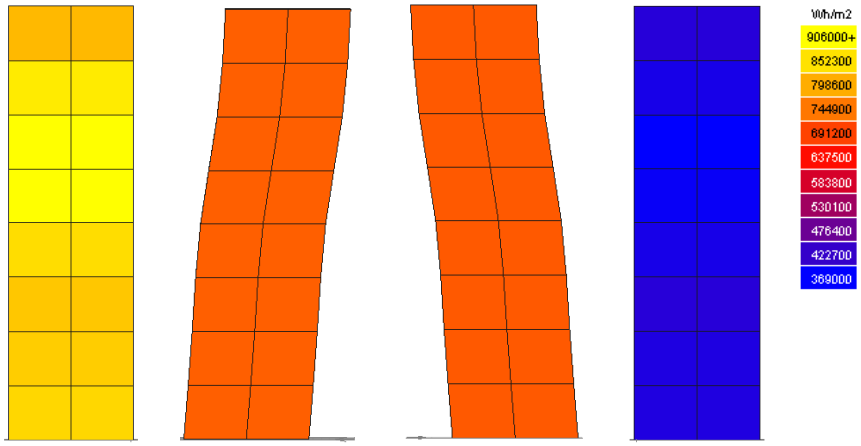
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.6c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	49%	0	73077	228598112
Feb	193958	49%	0	61779	193257152
Mar	186675	50%	0	61803	193332352
Apr	149291	50%	0	53099	166103760
May	116615	50%	0	43506	136095440
Jun	93206	50%	0	35325	110504080
Jul	97979	50%	0	36724	114880288
Aug	148497	50%	0	52658	164723680
Sep	96085	50%	0	38740	121186408
Oct	179179	50%	0	61250	191602096
Nov	200125	49%	0	66358	207581536
Dec	216384	49%	0	67307	210550800
TOTALS	1908995		0	651627	2038415872

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.6c



Planta baixa – Forma 1.6c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.6c

FORMA 1.6d

Variáveis:

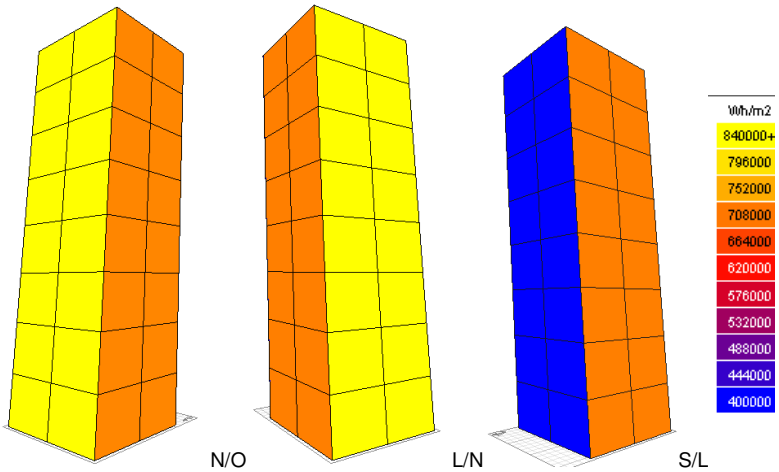
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 5; Curva2 e= 4; Curva3 e= 3; Curva4 e= 2; Curva5 e= 1
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3124.6 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.6d

- Radiação solar incidente anual = 649,9 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 284,3 MWh

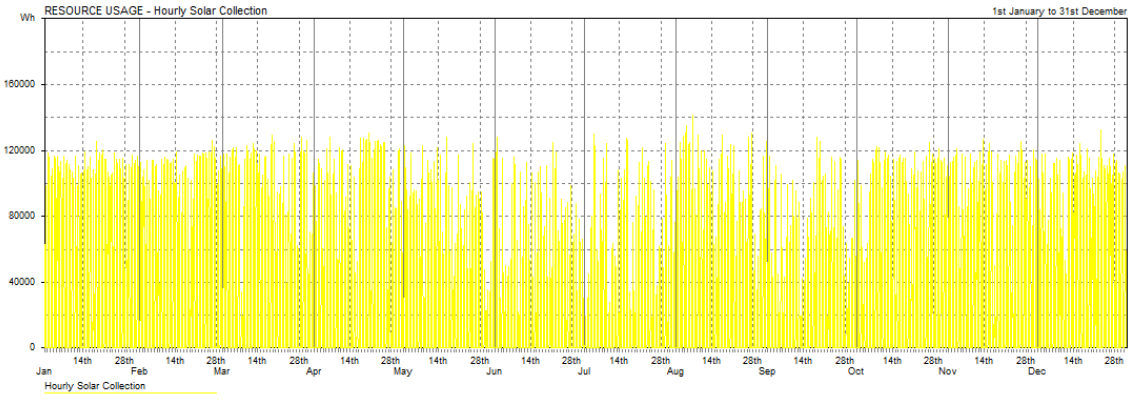


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.6d

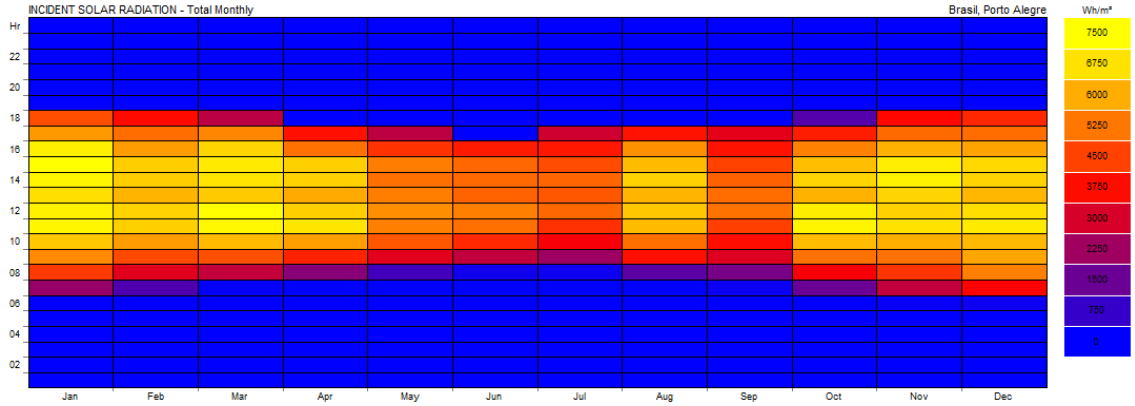
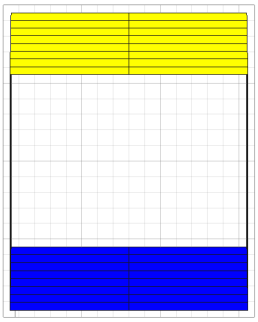


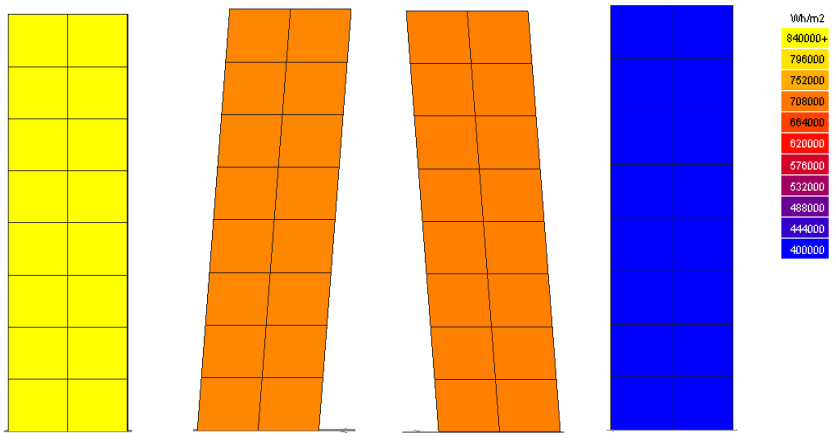
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.6d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	49%	0	72913	227825536
Feb	193958	48%	0	61520	192224608
Mar	186675	50%	0	61551	192323648
Apr	149291	50%	0	52920	165355360
May	116615	50%	0	43416	135658464
Jun	93206	50%	0	35269	110200952
Jul	97979	50%	0	36659	114543768
Aug	148497	50%	0	52482	163984656
Sep	96085	50%	0	38704	120935248
Oct	179179	50%	0	61089	190879168
Nov	200125	49%	0	66190	206819424
Dec	216384	50%	0	67218	210030656
TOTALS	1908995		0	649931	2030781568

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.6d



Planta baixa – Forma 1.6d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.6d

FORMA 1.6e

Variáveis:

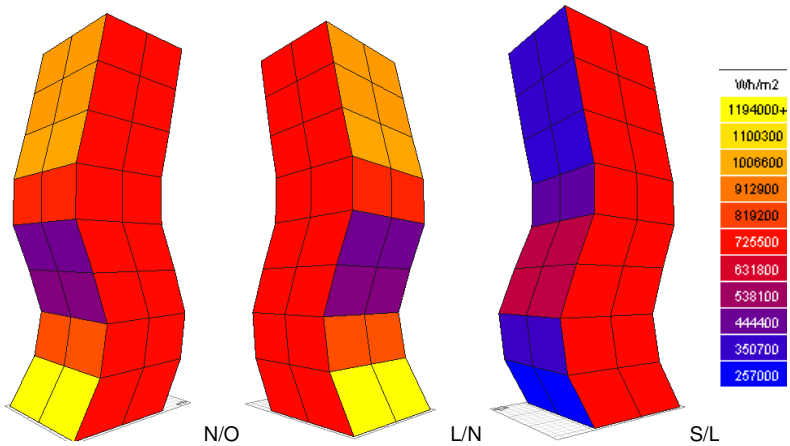
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 5; Curva2 e= 0; Curva3 e= 5; Curva4 e= 3; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3201.1 m² e 64 planos
-



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.6e

- Radiação solar incidente anual = 650,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 291,6 MWh

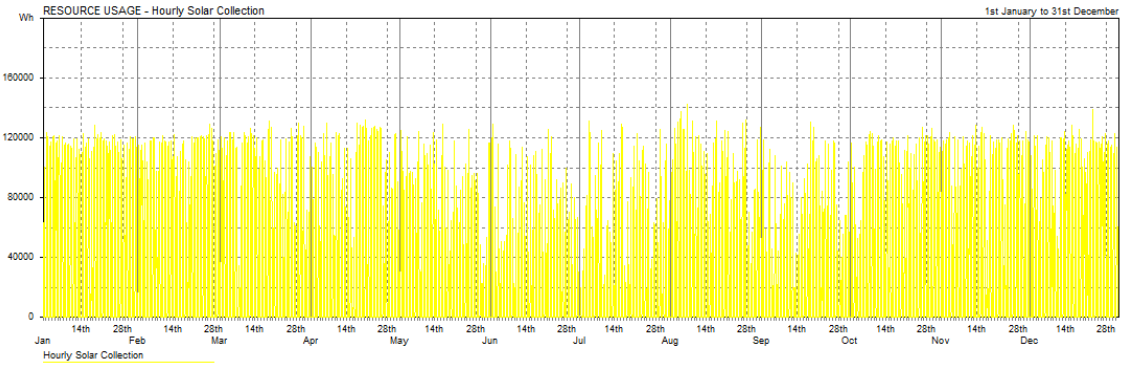


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.6e

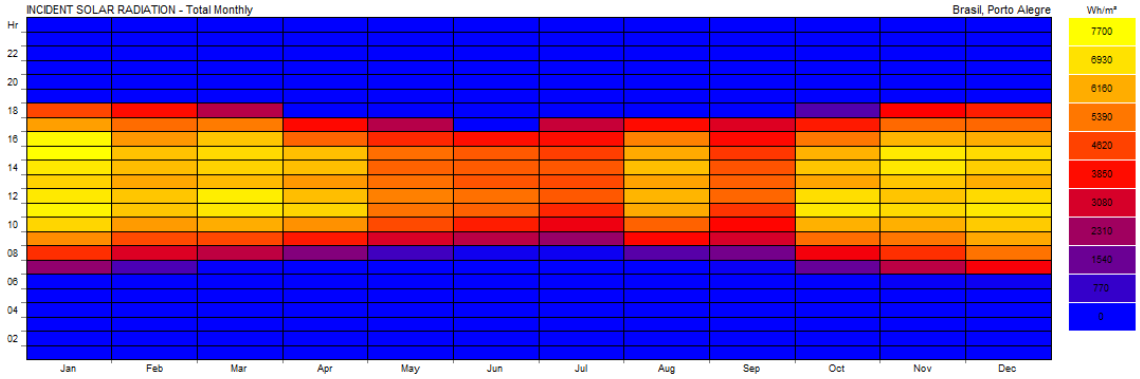
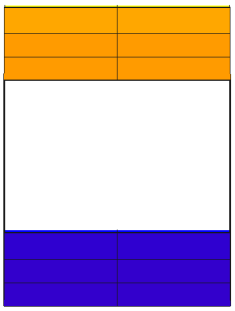


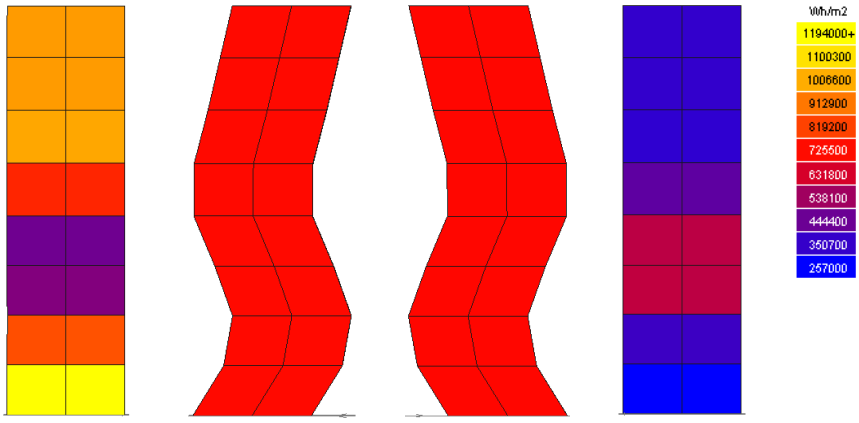
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.6e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	53%	0	74378	238091584
Feb	193958	53%	0	62026	198549840
Mar	186675	50%	0	61138	195708032
Apr	149291	50%	0	52305	167432320
May	116615	50%	0	42841	137139040
Jun	93206	50%	0	34751	111240080
Jul	97979	50%	0	36126	115642800
Aug	148497	50%	0	51795	165801392
Sep	96085	50%	0	38399	122918936
Oct	179179	51%	0	61173	195819568
Nov	200125	53%	0	67046	214622192
Dec	216384	53%	0	68704	219926704
TOTALS	1908995		0	650681	2082892416

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) –Forma 1.6e



Planta baixa – Forma 1.6e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.6e

Etapa 7 – twisting (rotação)

FORMA 1.7a

Variáveis:

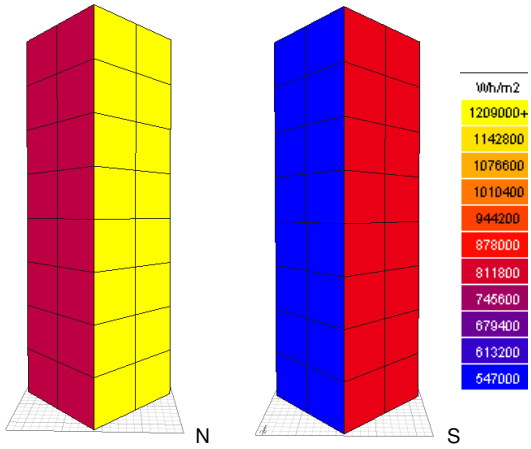
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 45°; Curva2 a= 45°; Curva3 a= 45°; Curva4 a= 45°; Curva5 a= 45°

Resultados:

- Área: 3120,0 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.7a

- Radiação solar incidente anual = 822,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade = 359,4 MWh

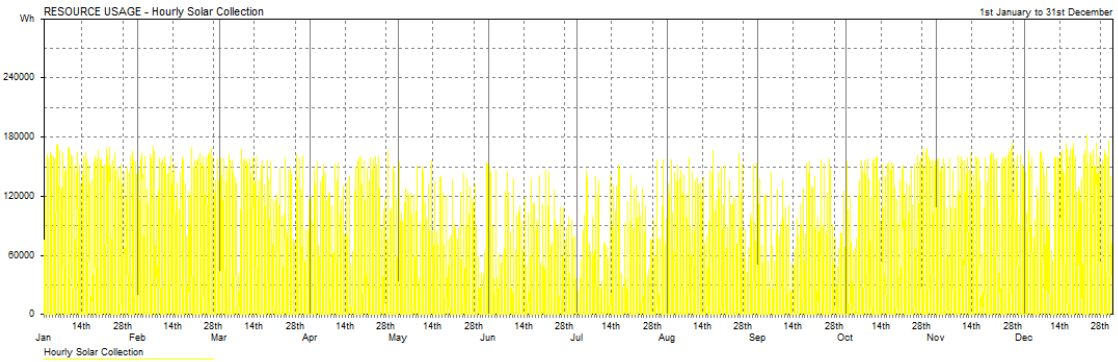


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.7a

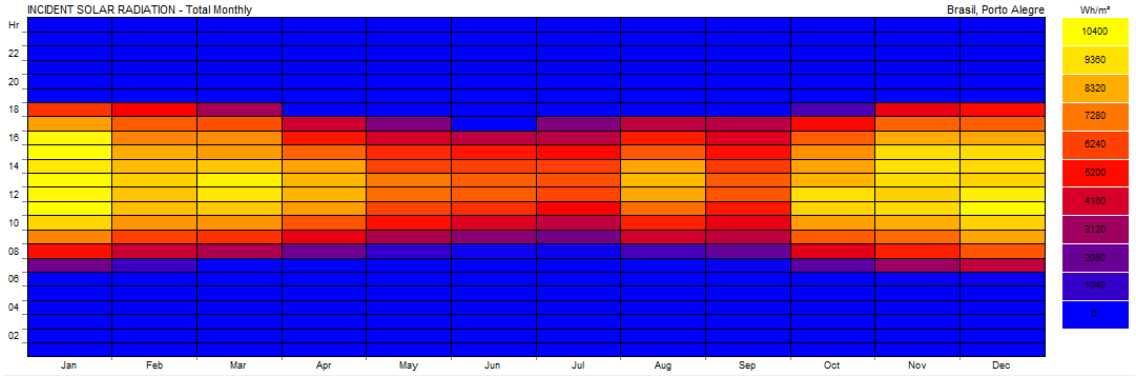
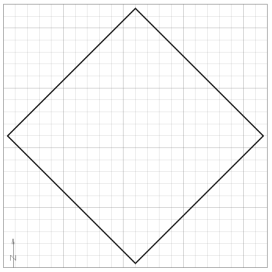


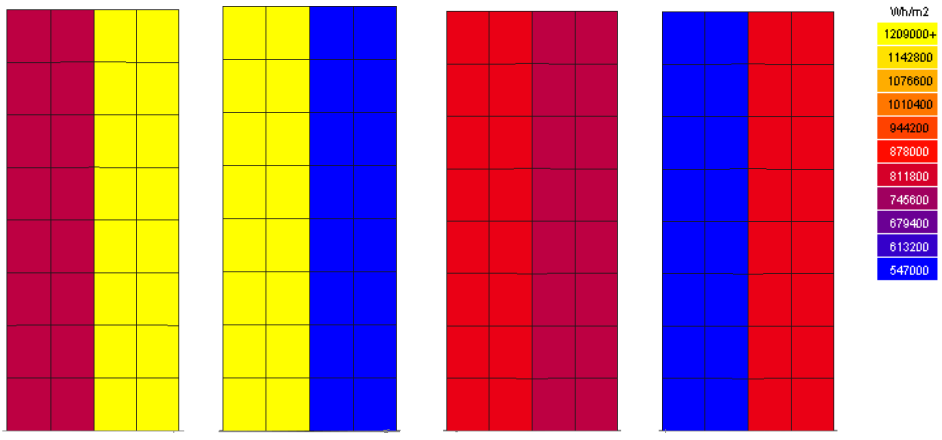
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.7a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	50%	0	99916	311737696
Feb	193958	50%	0	82165	256354464
Mar	186675	50%	0	77807	242756448
Apr	149291	50%	0	62694	195603776
May	116615	50%	0	49756	155238992
Jun	93206	50%	0	40482	126305096
Jul	97979	50%	0	41689	130070560
Aug	148497	50%	0	60730	189476864
Sep	96085	50%	0	47117	147005008
Oct	179179	50%	0	79318	247472592
Nov	200125	50%	0	88708	276767936
Dec	216384	50%	0	92351	288134304
TOTALS	1908995		0	822732	2566923776

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.7ª



Planta baixa – Forma 1.6a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.7a

ORMA 1.7b

Variáveis:

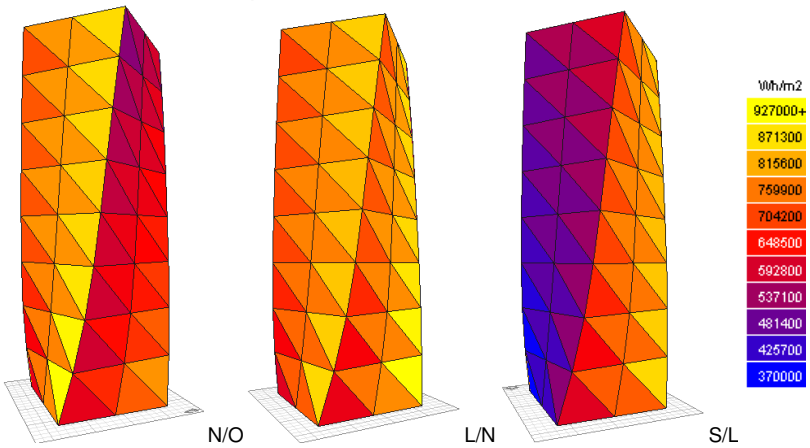
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 18°; Curva3 a= 28°; Curva4 a= 36°; Curva5 a= 45°

Resultados:

- Área: 3128.0 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.7b

- Radiação solar incidente anual = 644,6 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 282,3 MWh

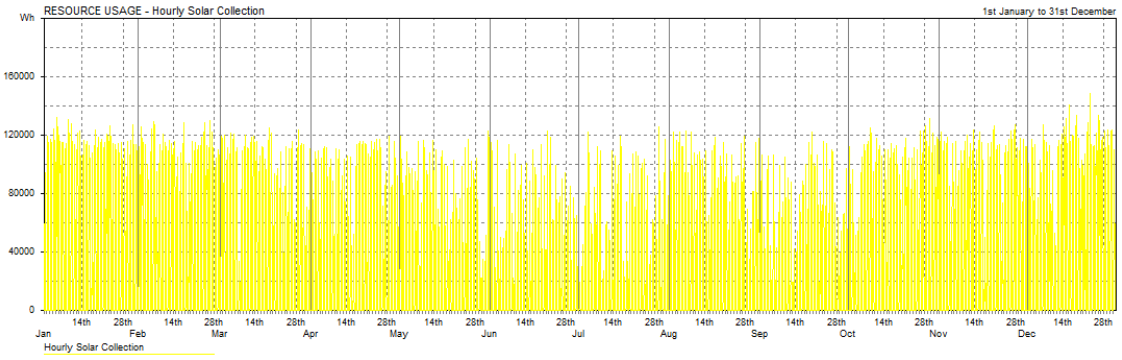


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.7b

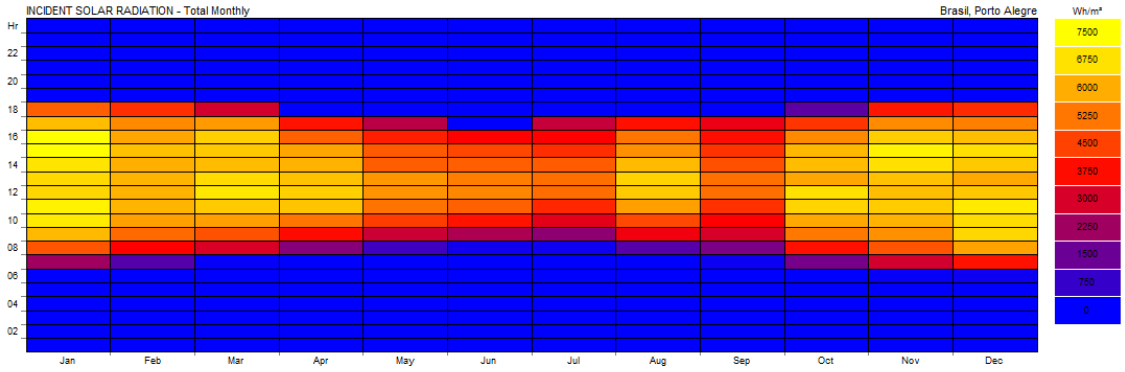
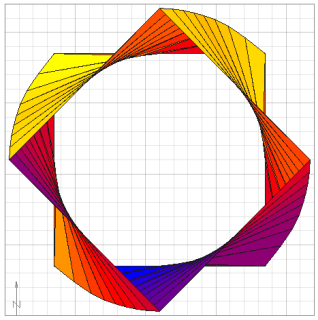


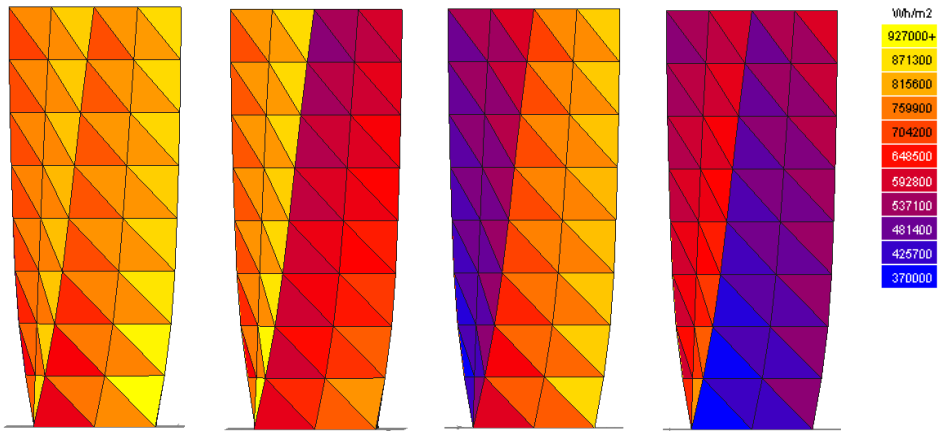
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.7b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	52%	0	75038	234718560
Feb	193958	52%	0	62091	194220704
Mar	186675	51%	0	60291	188589696
Apr	149291	50%	0	50570	158184144
May	116615	50%	0	41710	130468864
Jun	93206	50%	0	34068	106566624
Jul	97979	50%	0	35399	110727888
Aug	148497	50%	0	50091	156685616
Sep	96085	51%	0	37975	118785696
Oct	179179	51%	0	60828	190271168
Nov	200125	52%	0	67315	210563120
Dec	216384	53%	0	69256	216634544
TOTALS	1908995		0	644632	2016416768

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.7b



Planta baixa – Forma 1.6c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.7c

FORMA 1.7c

Variáveis:

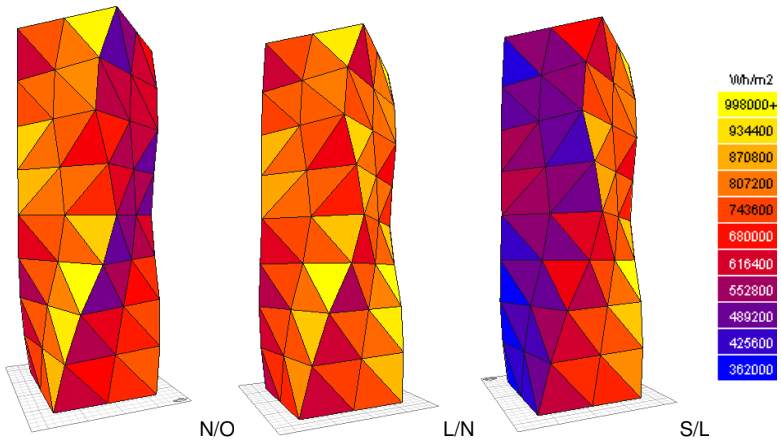
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 20°; Curva3 a= 45°; Curva4 a= 30°; Curva5 a= 45°

Resultados:

- Área: 3139.1 m² e 128 planos
-



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.7c

- Radiação solar incidente anual = 642,2 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 282,2 MWh

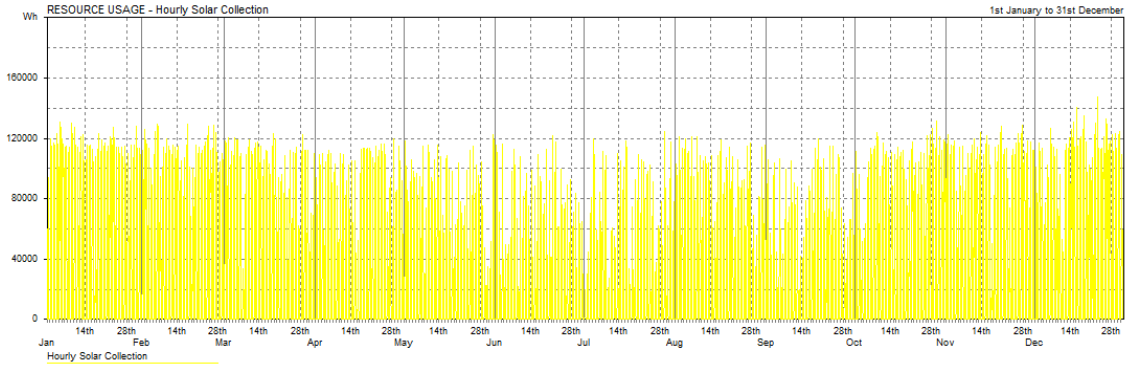


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.7c

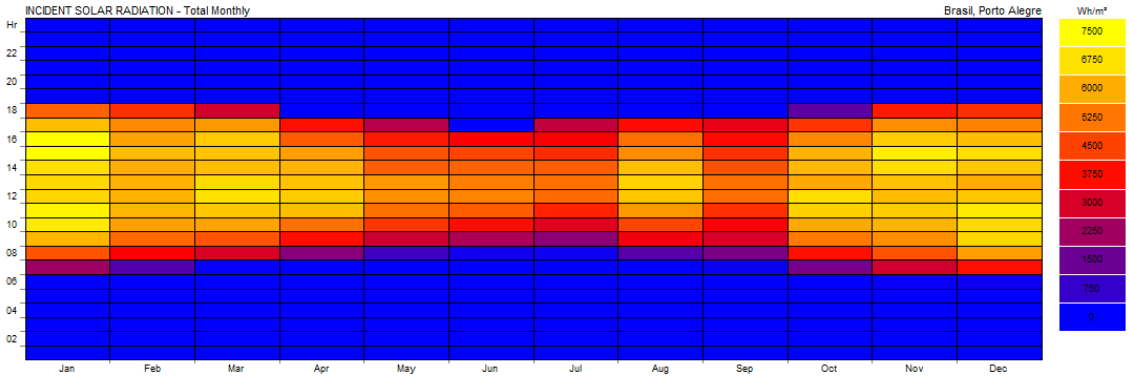
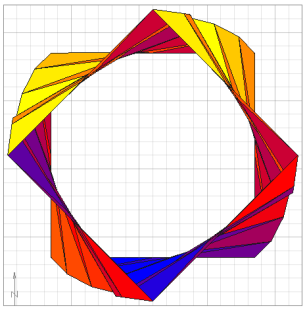


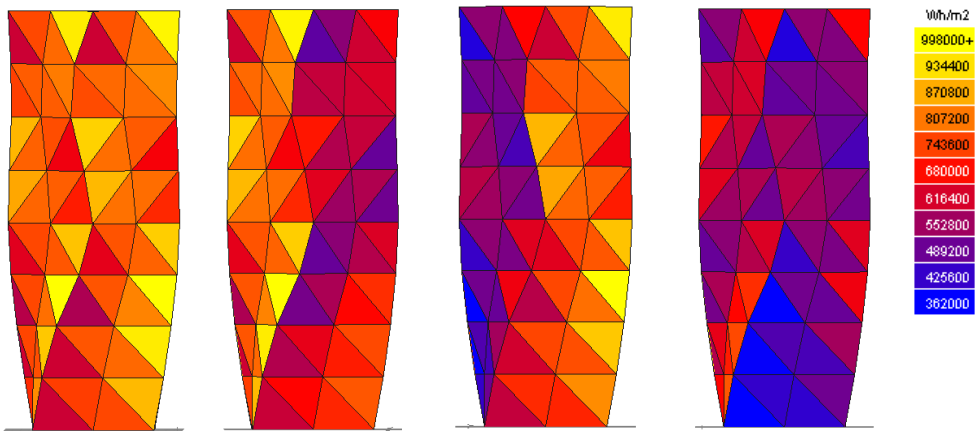
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.7c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	53%	0	74945	235260208
Feb	193958	52%	0	62029	194717120
Mar	186675	52%	0	60085	188613312
Apr	149291	51%	0	50264	157784496
May	116615	51%	0	41358	129825736
Jun	93206	51%	0	33794	106083624
Jul	97979	50%	0	35112	110218872
Aug	148497	51%	0	49706	156032816
Sep	96085	51%	0	37797	118648408
Oct	179179	52%	0	60688	190505920
Nov	200125	53%	0	67254	211117904
Dec	216384	53%	0	69201	217230800
TOTALS	1908995		0	642234	2016039296

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.7c



Planta baixa – Forma 1.6c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.7c

FORMA 1.7d

Variáveis:

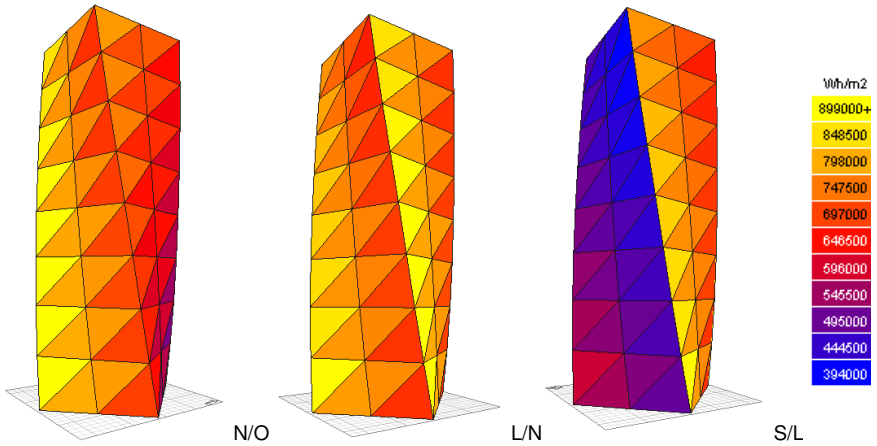
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e=0; Curva2 e=0; Curva3 e=0; Curva4 e=0; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 45°; Curva2 a= 32°; Curva3 a= 21°; Curva4 a= 10°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3128.9 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.7d

- Radiação solar incidente anual = 642,9 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 281,6 MWh

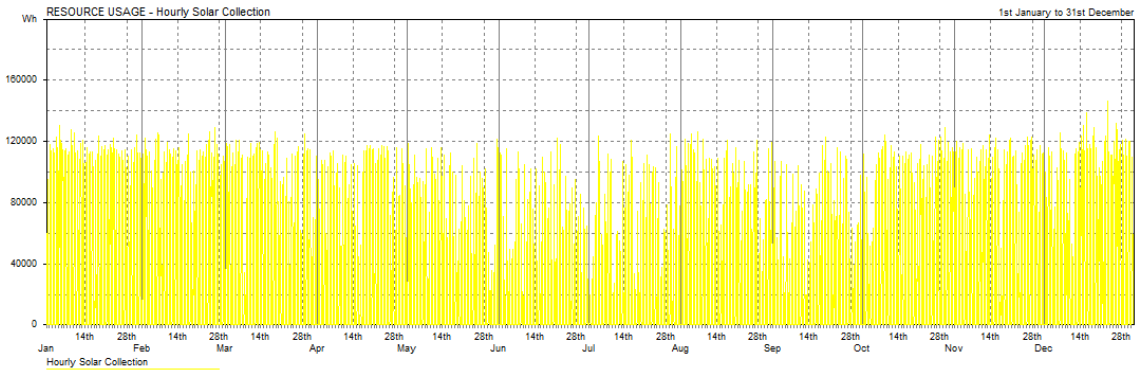


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.7d

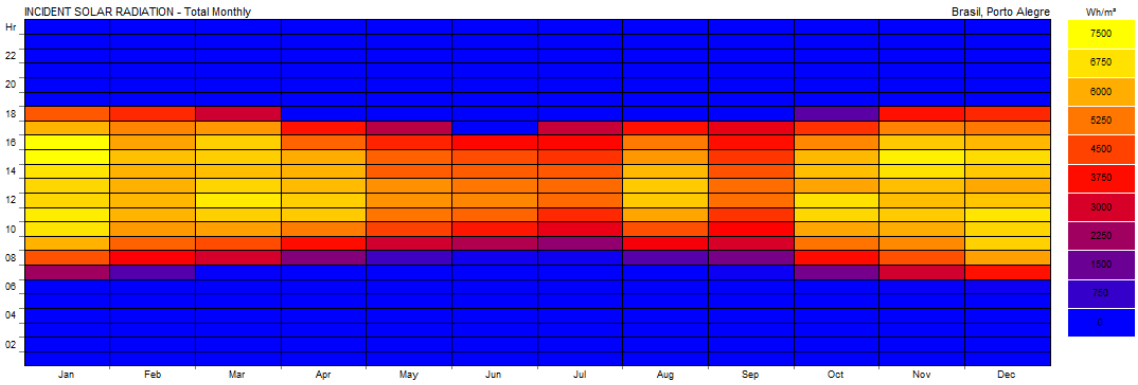
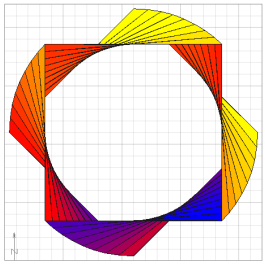


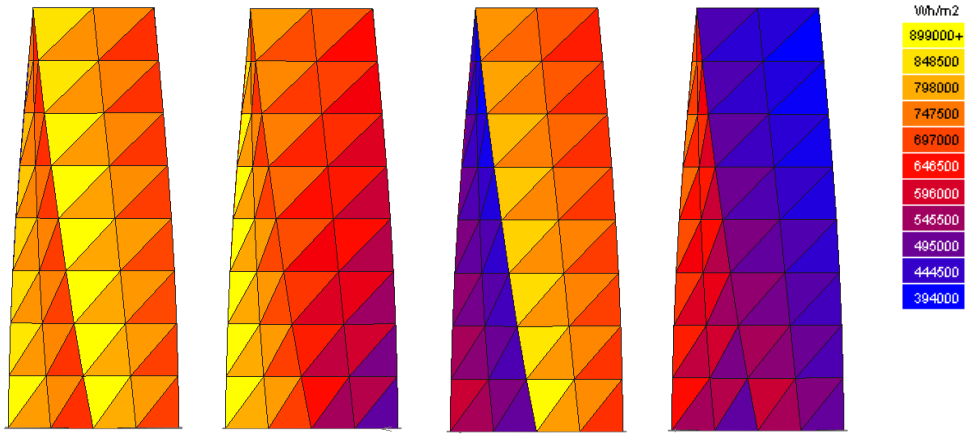
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.7d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	52%	0	74347	232622624
Feb	193958	51%	0	61673	192964896
Mar	186675	51%	0	60184	188307680
Apr	149291	50%	0	50797	158935760
May	116615	50%	0	41923	131172592
Jun	93206	50%	0	34199	107002904
Jul	97979	50%	0	35530	111168664
Aug	148497	50%	0	50364	157583376
Sep	96085	51%	0	37974	118816536
Oct	179179	51%	0	60512	189334608
Nov	200125	52%	0	66768	208909120
Dec	216384	52%	0	68605	214655472
TOTALS	1908995		0	642878	2011474176

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.7d



Planta baixa – Forma 1.6d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.7d

FORMA 1.7e

Variáveis:

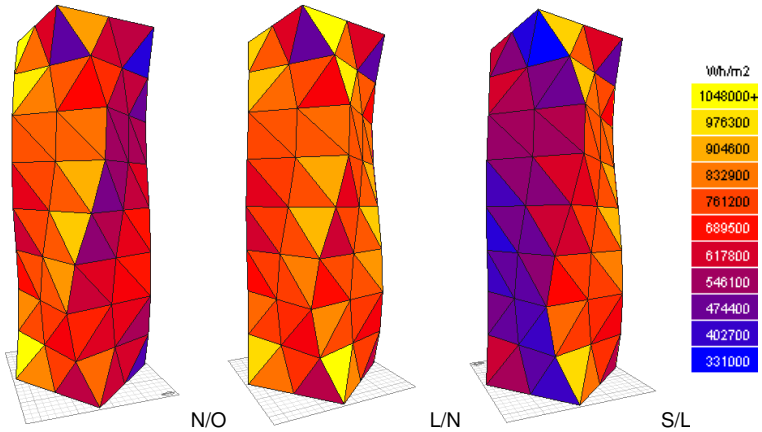
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 40°; Curva2 a= 16°; Curva3 a= 33°; Curva4 a= 45°; Curva5 a= 10°

Resultados:

- Área: 3132.9 m² e 128 planos
-



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 1.7e

- Radiação solar incidente anual = 642,3 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 281,7 MWh

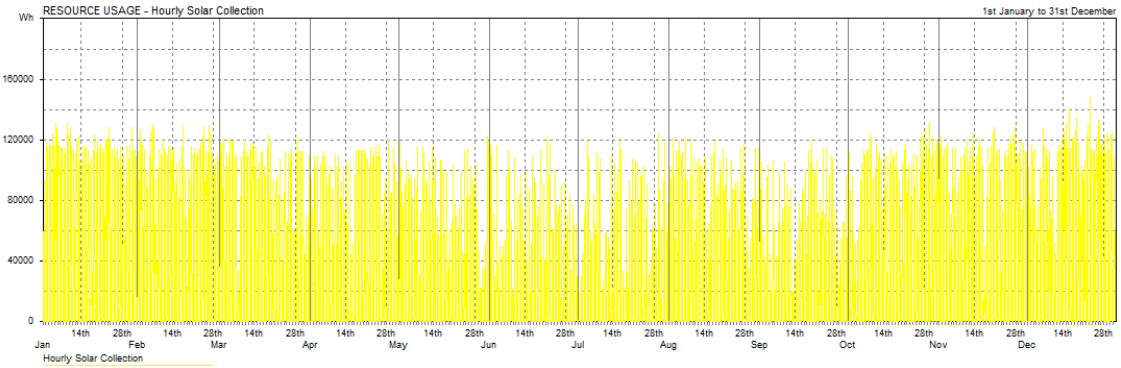


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 1.7e

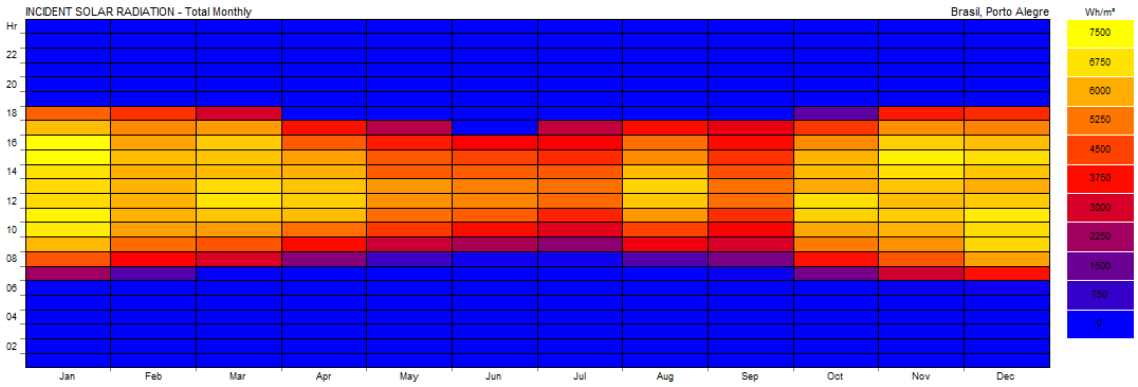
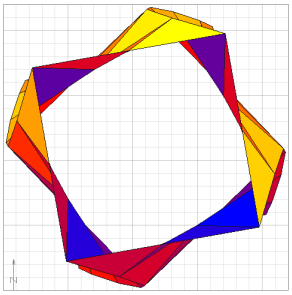


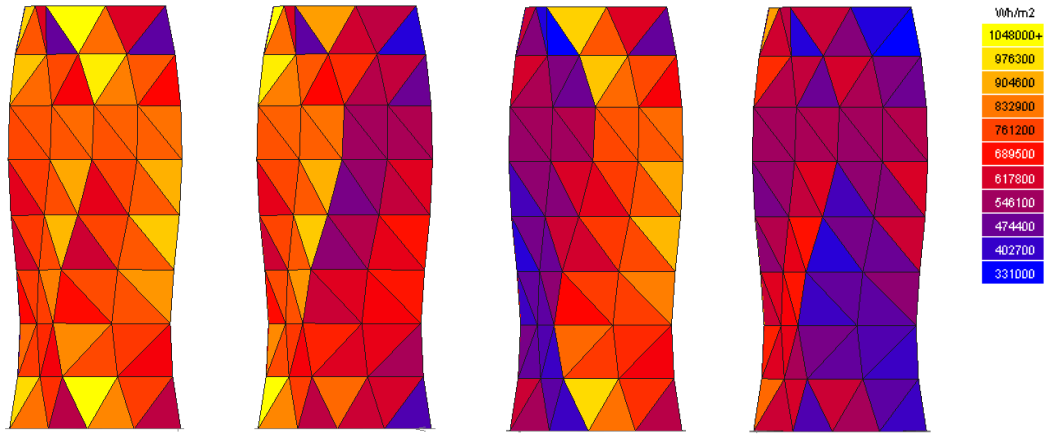
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 1.7e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	53%	0	75154	235450560
Feb	193958	53%	0	62094	194536848
Mar	186675	52%	0	59993	187954304
Apr	149291	51%	0	50133	157063472
May	116615	51%	0	41305	129404072
Jun	93206	51%	0	33742	105710272
Jul	97979	50%	0	35062	109846592
Aug	148497	51%	0	49609	155421776
Sep	96085	52%	0	37743	118246576
Oct	179179	52%	0	60733	190272688
Nov	200125	53%	0	67392	211134928
Dec	216384	53%	0	69330	217204224
TOTALS	1908995		0	642291	2012246400

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 1.7e



Planta baixa – Forma 1.7e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 1.7e

Segunda Fase Geracional – Base Fixa (15 X 30m)

Etapa 1 – twisting + tapering + shear (rotação + escala + translação)

FORMA 2.1a

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

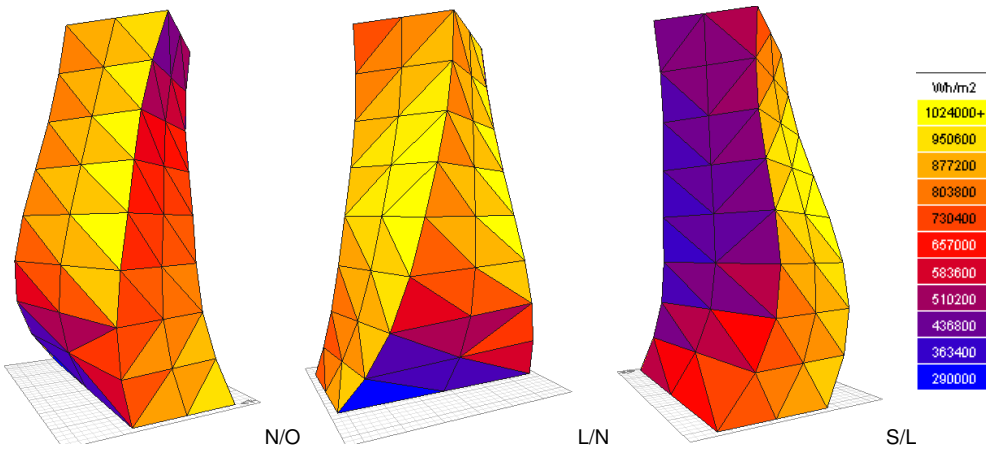
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e=0; Curva2 e=5; Curva3 e=4; Curva4 e=2; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 25m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 20m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a=15°; Curva3 a=25°; Curva4 a=35°; Curva5 a=45°

Resultados:

- Área: 3804.0 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) - Forma 2.1a

- Radiação solar incidente anual = 690,9 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 367,9 MWh

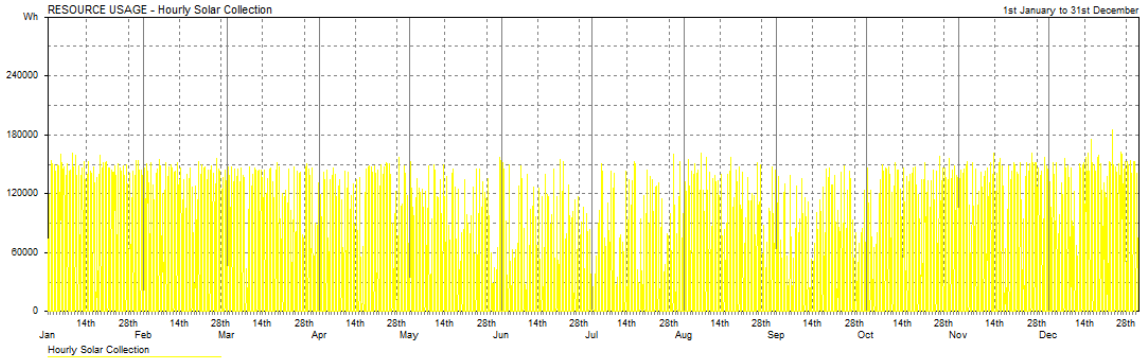


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) –Forma 2.1a

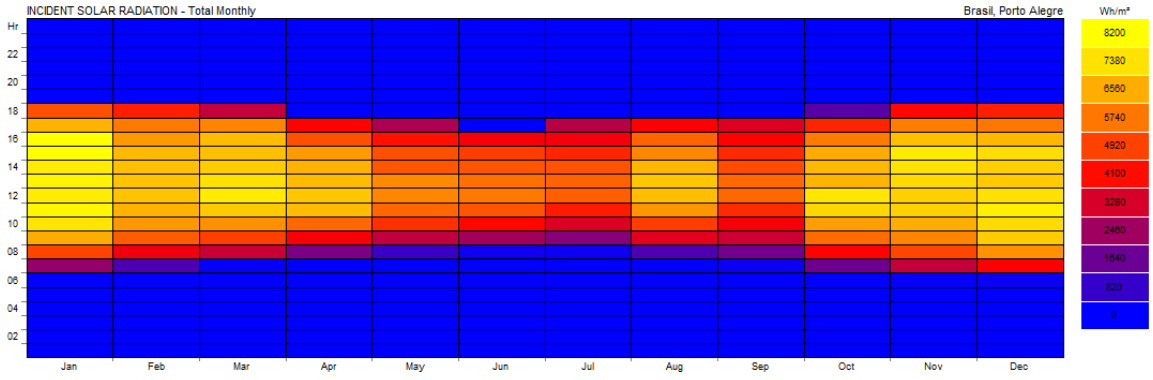
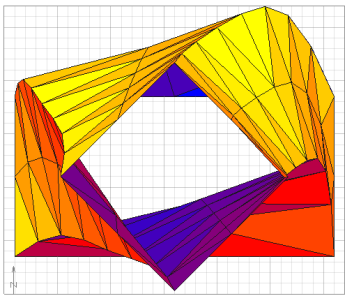


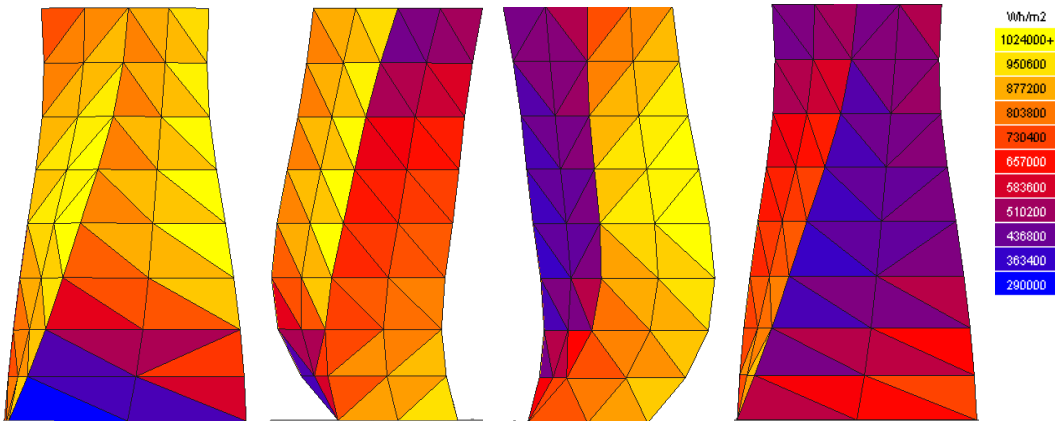
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.1a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	51%	0	81634	310536128
Feb	193958	51%	0	67127	255353168
Mar	186675	50%	0	64506	245381008
Apr	149291	48%	0	53629	204006032
May	116615	48%	0	43945	167167392
Jun	93206	48%	0	35840	136334976
Jul	97979	49%	0	37220	141584096
Aug	148497	48%	0	52933	201358960
Sep	96085	49%	0	40176	152831280
Oct	179179	51%	0	65360	248631216
Nov	200125	51%	0	72844	277101824
Dec	216384	51%	0	75644	287750944
TOTALS	1908995		0	690858	2628037376

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.1a



Planta baixa – Forma 2.1a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.1a

FORMA 2.1b

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

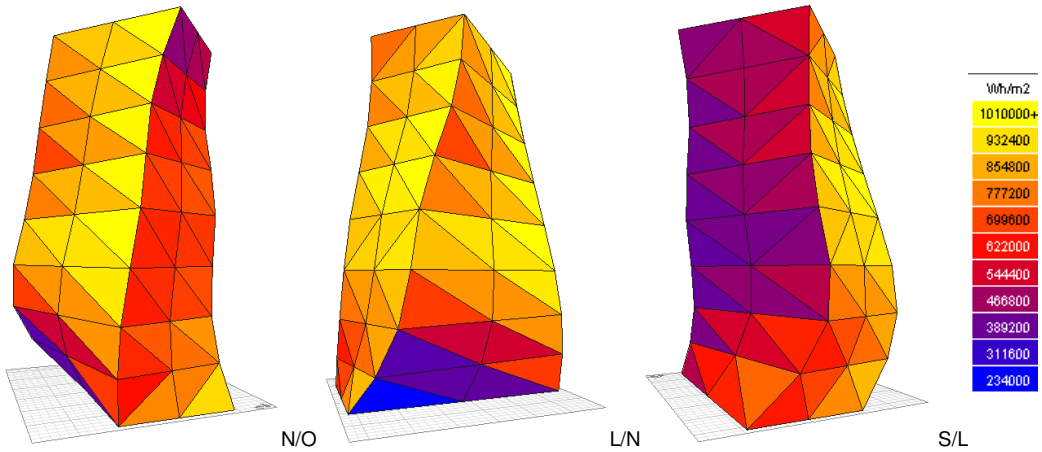
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e=0; Curva2 e=5; Curva3 e=3; Curva4 e=2; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 28m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 25m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 20m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a= 20°; Curva3 a= 25°; Curva4 a= 35°; Curva5 a= 45°

Resultados:

- Área: 4219.6 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.1b

- Radiação solar incidente anual = 674,5 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 398,5 MWh

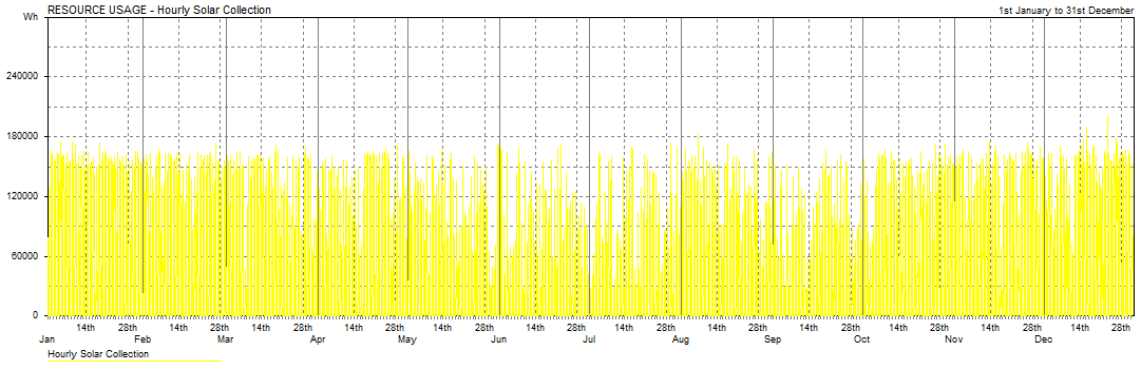


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.1b

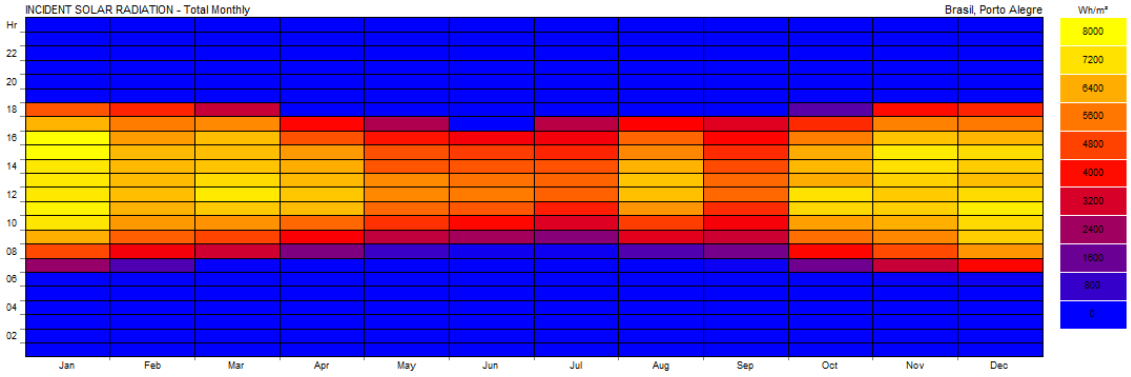
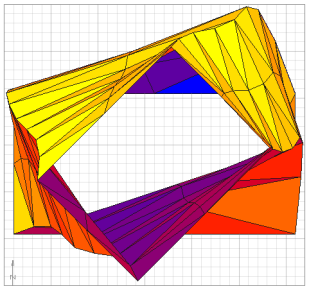


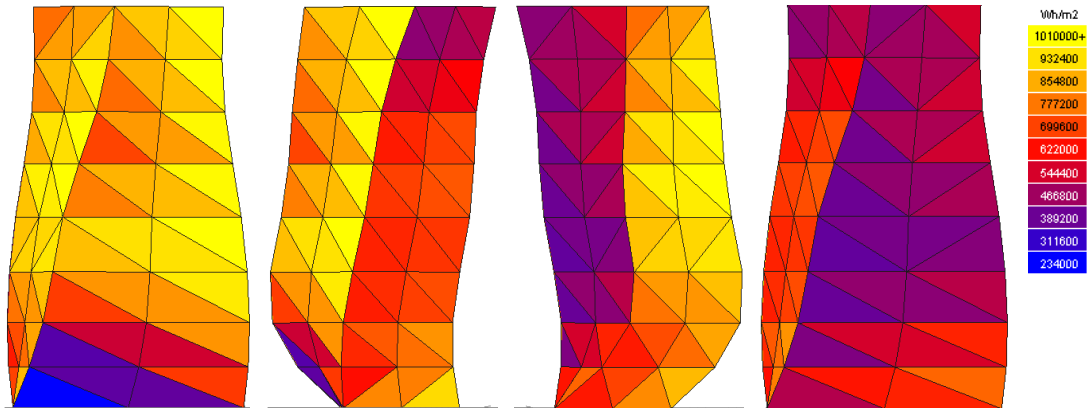
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.1b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	52%	0	79579	335790880
Feb	193958	52%	0	65525	276488032
Mar	186675	51%	0	63035	265982080
Apr	149291	50%	0	52349	220890240
May	116615	49%	0	42949	181229296
Jun	93206	49%	0	35036	147839056
Jul	97979	49%	0	36397	153580736
Aug	148497	49%	0	51686	218093824
Sep	96085	51%	0	39327	165944240
Oct	179179	52%	0	63870	269504352
Nov	200125	52%	0	71122	300106912
Dec	216384	52%	0	73640	310730688
TOTALS	1908995		0	674516	2846179840

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.1b



Planta baixa – Forma 2.1b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.1b

FORMA 2.1c

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

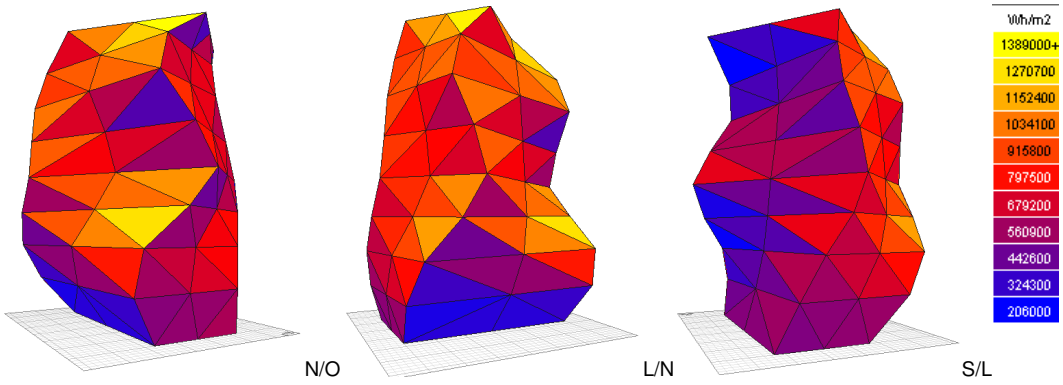
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e=0; Curva2 e=5; Curva3 e=2; Curva4 e=5; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 35m Curva2 Lb= 20m
  Curva3 La= 33m Curva3 Lb= 18m
  Curva4 La= 30m Curva4 Lb= 16m
  Curva5 La= 25m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a= 10°; Curva3 a= 40°; Curva4 a= 20°; Curva5 a= 45°

Resultados:

- Área: 5441.2 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.1c

- Radiação solar incidente anual = 655,8 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 499,6 MWh

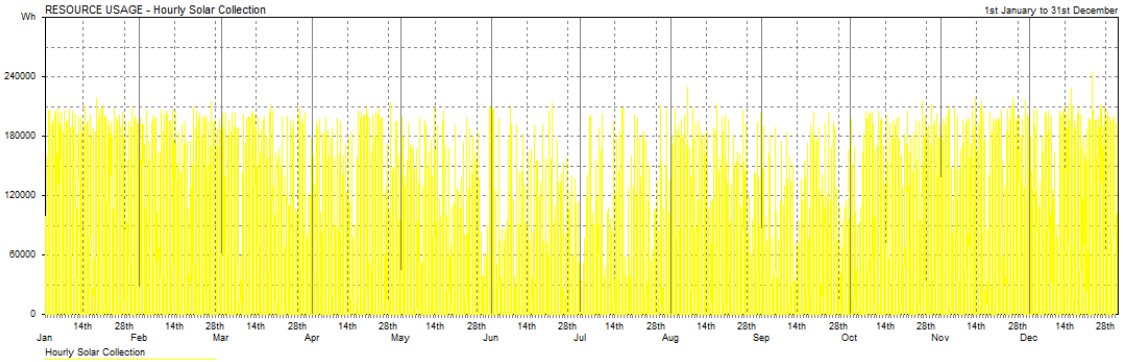


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.1c

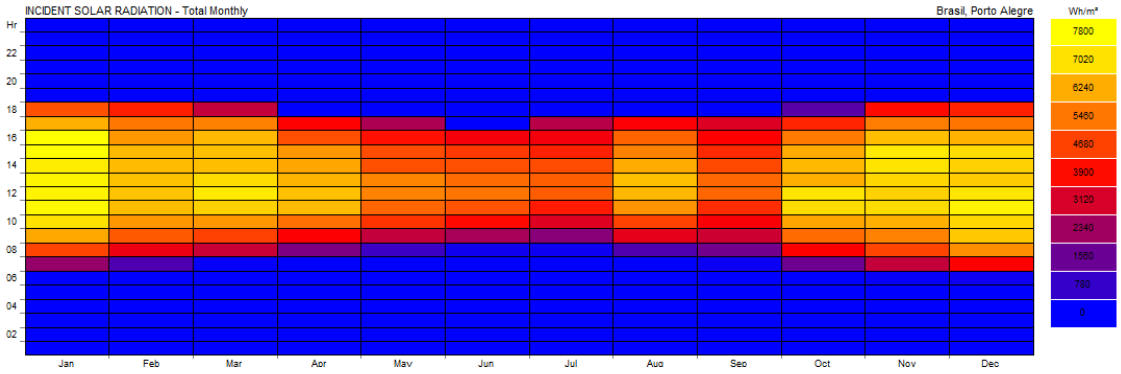
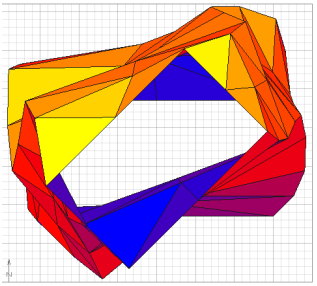


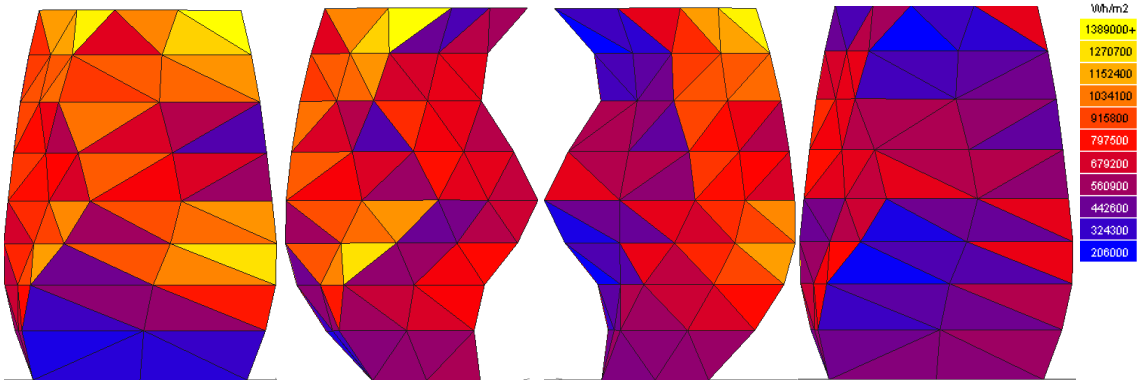
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.1c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	56%	0	77629	422394720
Feb	193958	55%	0	63884	347605952
Mar	186675	55%	0	61221	333117888
Apr	149291	52%	0	50733	276050720
May	116615	50%	0	41549	226075648
Jun	93206	50%	0	33871	184296896
Jul	97979	50%	0	35140	191202400
Aug	148497	51%	0	49994	272029504
Sep	96085	53%	0	38246	208103824
Oct	179179	55%	0	62252	338726784
Nov	200125	55%	0	69403	377634400
Dec	216384	55%	0	71898	391209248
TOTALS	1908995		0	655820	3568448000

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.1c



Planta baixa – Forma 2.1c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.1c

FORMA 2.1d

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

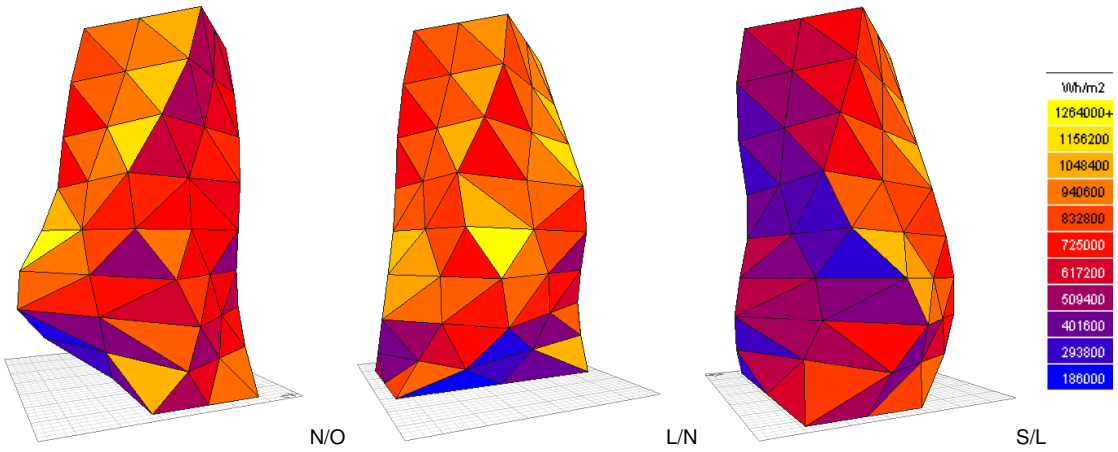
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e=0; Curva2 e=5; Curva3 e=3; Curva4 e=1; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 28m Curva2 Lb= 18m
  Curva3 La= 23m Curva3 Lb= 19m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 18m
  Curva5 La= 18m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a= 40°; Curva3 a=10°; Curva4 a= 30°; Curva5 a= 45°.

Resultados:

- Área: 4512.3 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.1d

- Radiação solar incidente anual = 669,3 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 422,8 MWh

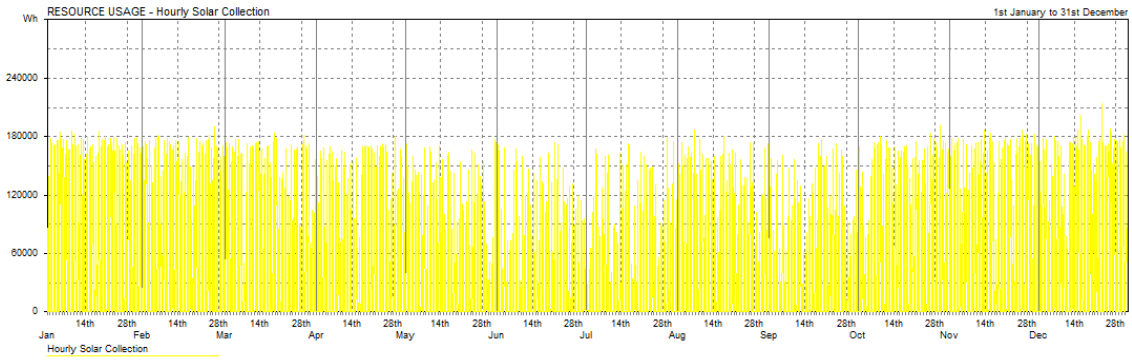


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.1d

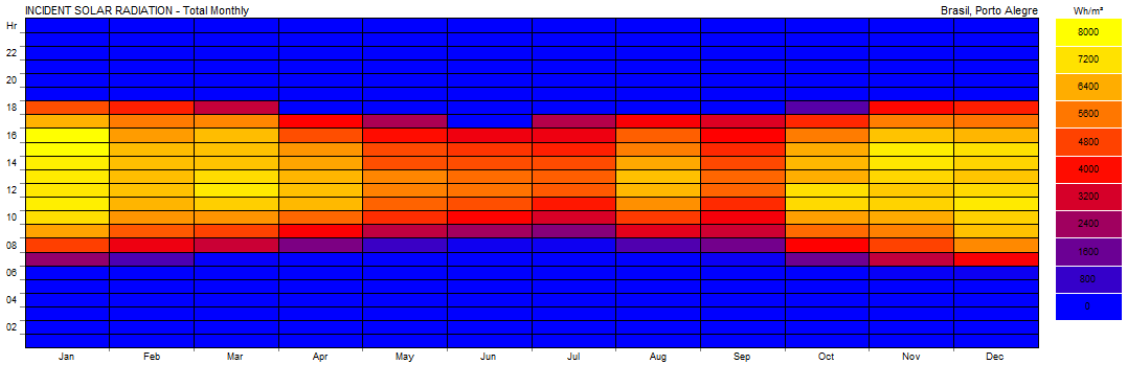
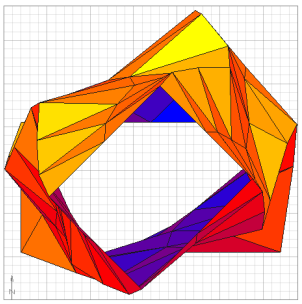


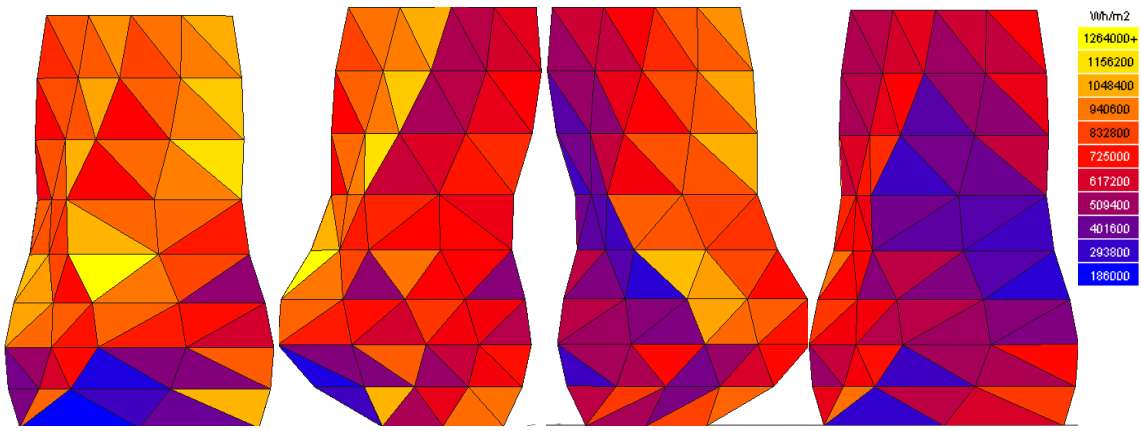
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.1d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	54%	0	79080	356831296
Feb	193958	54%	0	65431	295244416
Mar	186675	52%	0	62932	283967680
Apr	149291	52%	0	51825	233849728
May	116615	51%	0	42242	190606864
Jun	93206	50%	0	34401	155227440
Jul	97979	51%	0	35733	161238176
Aug	148497	52%	0	50926	229794016
Sep	96085	52%	0	39053	176217056
Oct	179179	53%	0	63705	287453696
Nov	200125	53%	0	70866	319768096
Dec	216384	54%	0	73086	329783072
TOTALS	1908995		0	669280	3019981568

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.1d



Planta baixa – Forma 2.1d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.1d

FORMA 2.1e

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

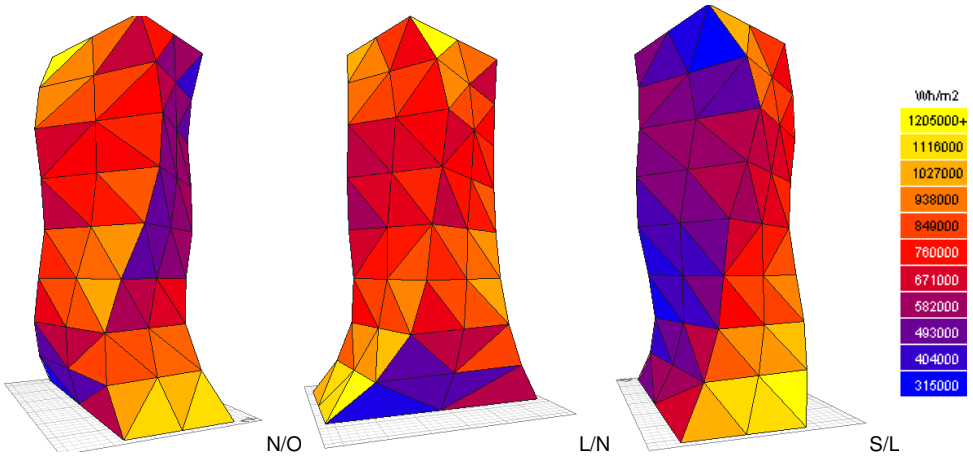
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e=0; Curva2 e=3; Curva3 e=1; Curva4 e=2; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 16m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 17m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 19m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 18m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a= 20°; Curva3 a= 35°; Curva4 a= 45°; Curva5 a= 23°

Resultados:

- Área: 3615.1 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.1e

- Radiação solar incidente anual = 676,0 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 342,1 MWh

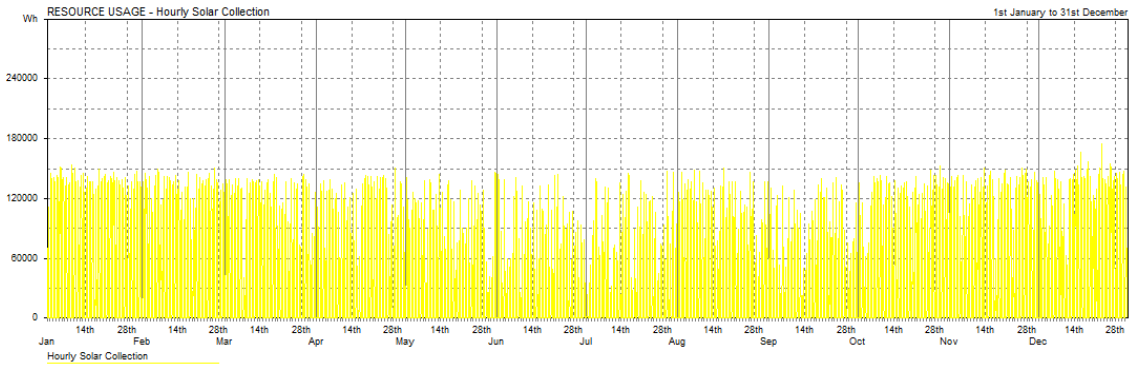


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.1e

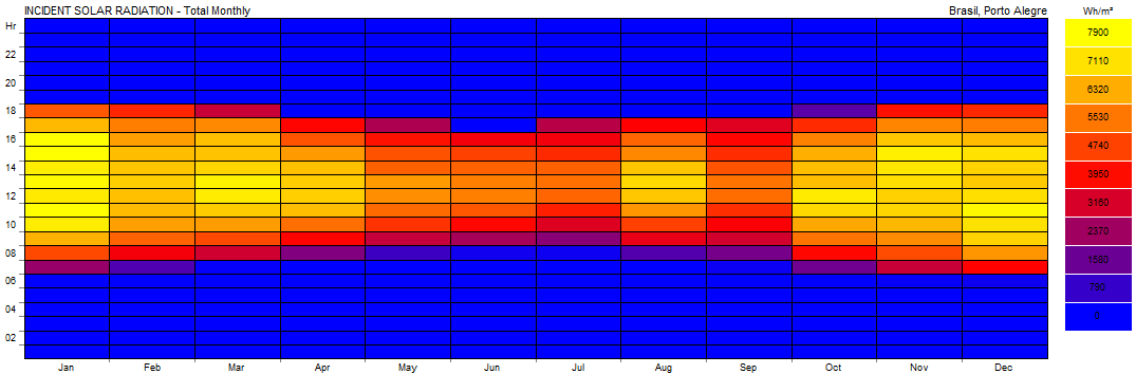
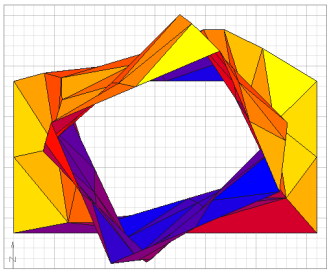


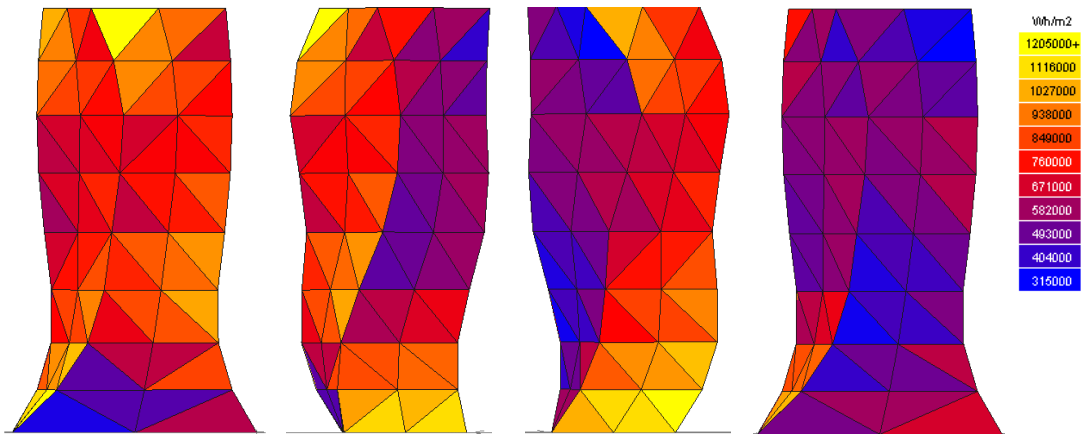
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.1e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	53%	0	79600	287757760
Feb	193958	53%	0	65608	237175216
Mar	186675	51%	0	63168	228354256
Apr	149291	50%	0	52667	190395248
May	116615	49%	0	43088	155765488
Jun	93206	49%	0	35181	127181496
Jul	97979	49%	0	36530	132057840
Aug	148497	50%	0	51959	187834144
Sep	96085	50%	0	39442	142585600
Oct	179179	52%	0	63984	231305520
Nov	200125	53%	0	71193	257365328
Dec	216384	54%	0	73623	266151296
TOTALS	1908995		0	676042	2443929088

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.1e



Planta baixa – Forma 2.1e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.1e

Etapa 2 – twisting + tapering (rotação + escala)

FORMA 2.2a

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

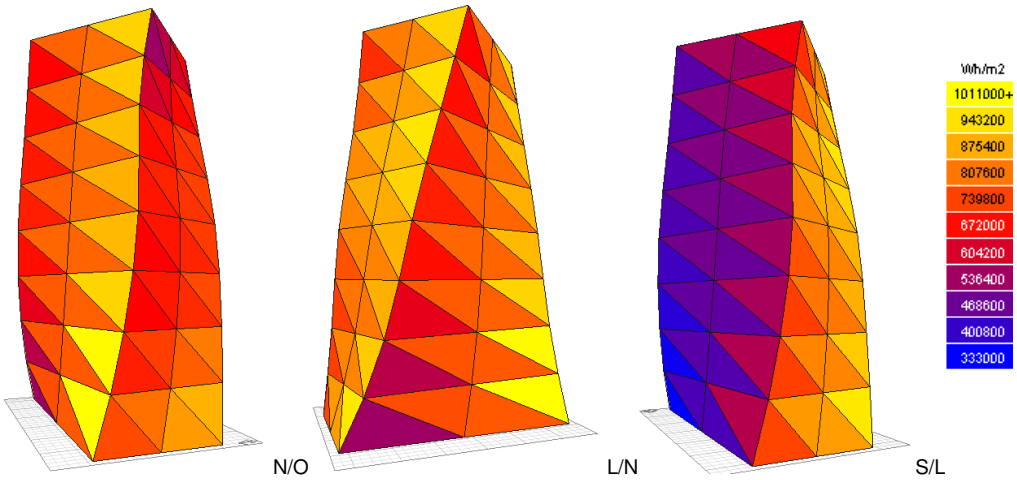
- Tapering (escala): 15m. ≤ La ≤ 40m
  15m. ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação) 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e=0; Curva 2 e=0; Curva 3 e=0; Curva4 e=0; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 26m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 24m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 18m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a=15°; Curva3 a=24°; Curva4 a=32°; Curva5 a=45°

Resultados:

- Área: 4032.6 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.2a

- Radiação solar incidente anual = 682,2 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 385,1 MWh

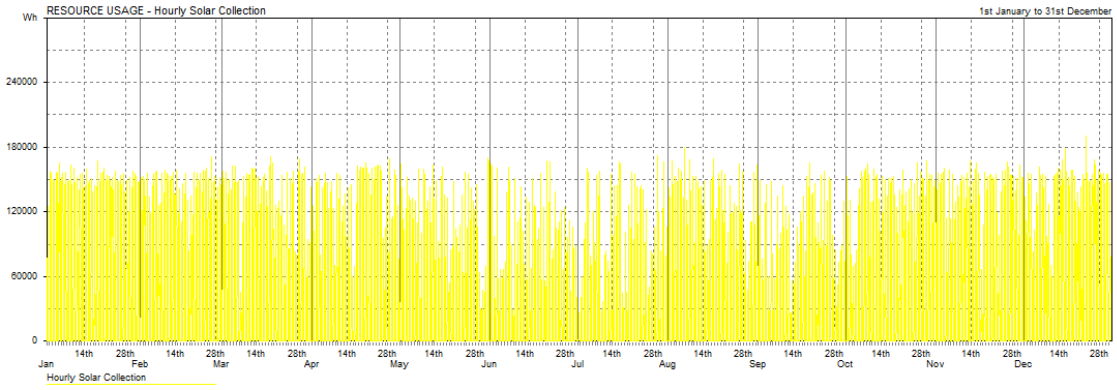
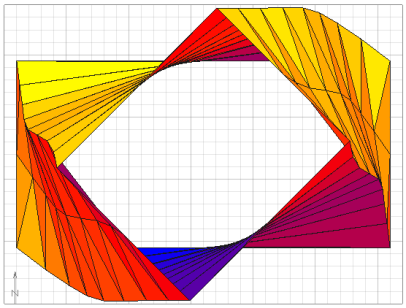


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.2a

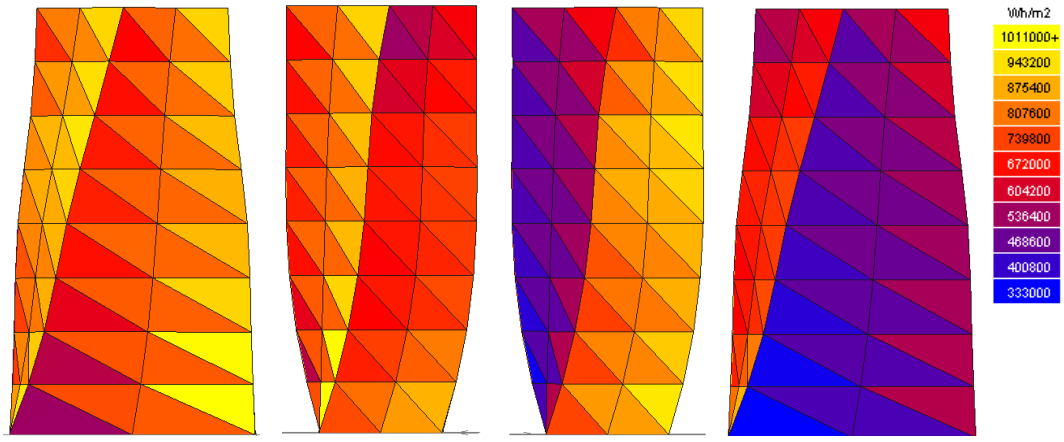
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.2a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	51%	0	79773	321692416
Feb	193958	51%	0	65979	266065568
Mar	186675	50%	0	63954	257900464
Apr	149291	49%	0	53430	215463152
May	116615	49%	0	43805	176648896
Jun	93206	48%	0	35691	143928928
Jul	97979	49%	0	37085	149550624
Aug	148497	49%	0	52778	212833152
Sep	96085	49%	0	39937	161050320
Oct	179179	50%	0	64466	259965904
Nov	200125	51%	0	71463	288181280
Dec	216384	51%	0	73849	297801696
TOTALS	1908995		0	682210	2751082496

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.2ª



Planta baixa – Forma 2.2a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.2a

2.2b – Etapa 2 e Amostra b

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

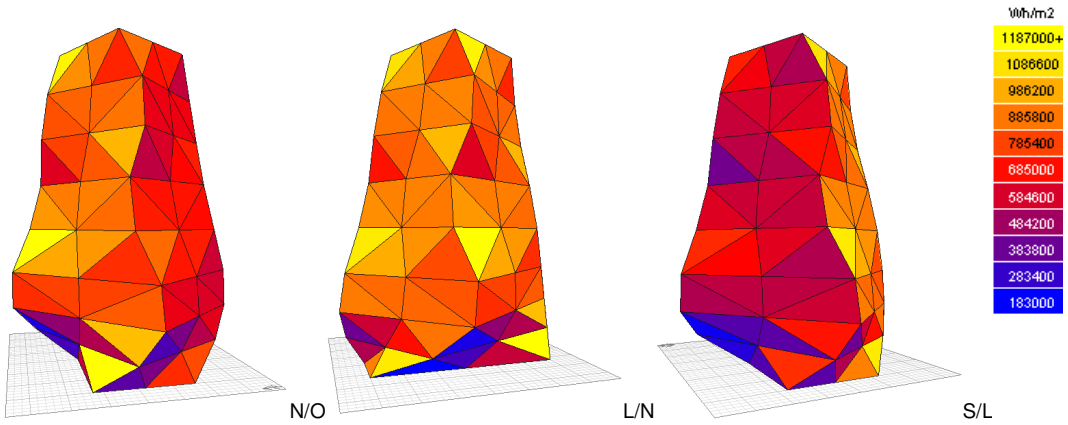
- Tapering (escala): 15m. ≤ La ≤ 40m
  15m. ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação) 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva 2 e= 0; Curva 3 e= 0; Curva4 e=0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 29m Curva2 Lb= 24m
  Curva3 La= 23m Curva3 Lb= 19m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 18m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a=45°; Curva3 a=30°; Curva4 a=45°; Curva5 a=30°

Resultados:

- Área: 4692.2 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.2a

- Radiação solar incidente anual = 678,4 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 401,4 MWh

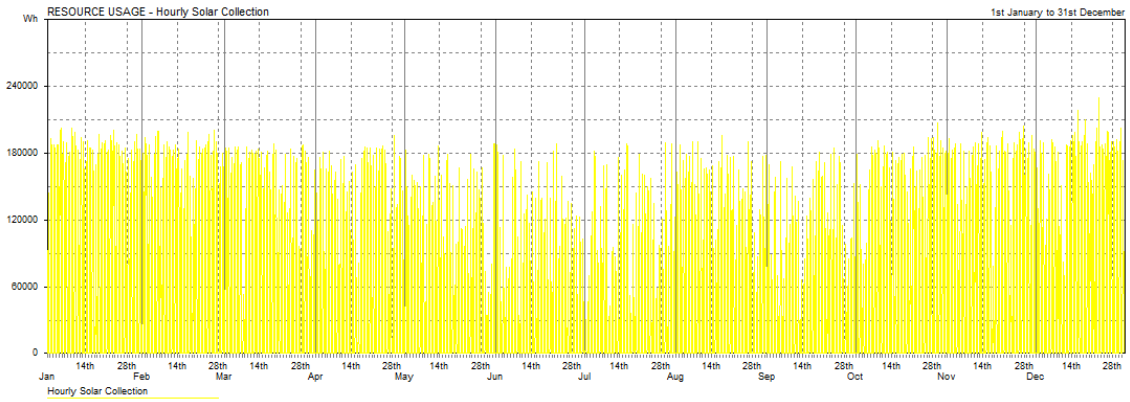


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.2b

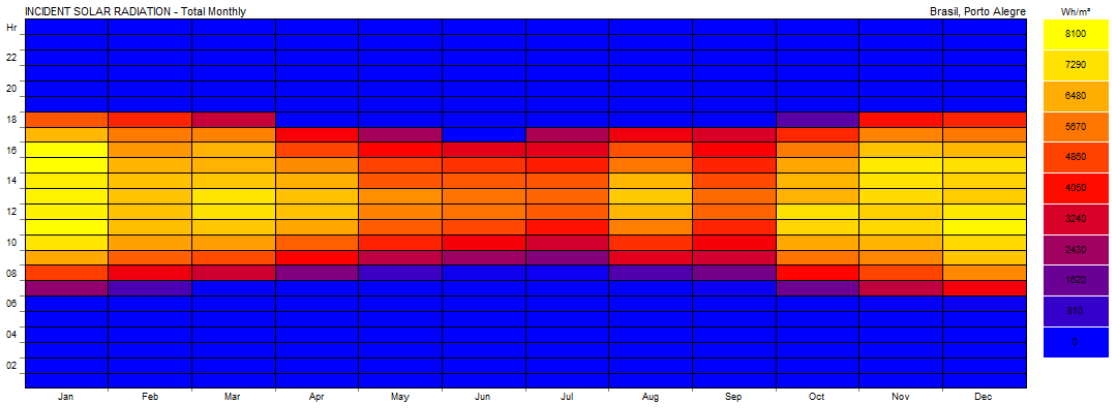
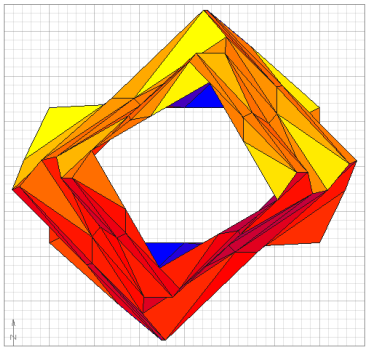


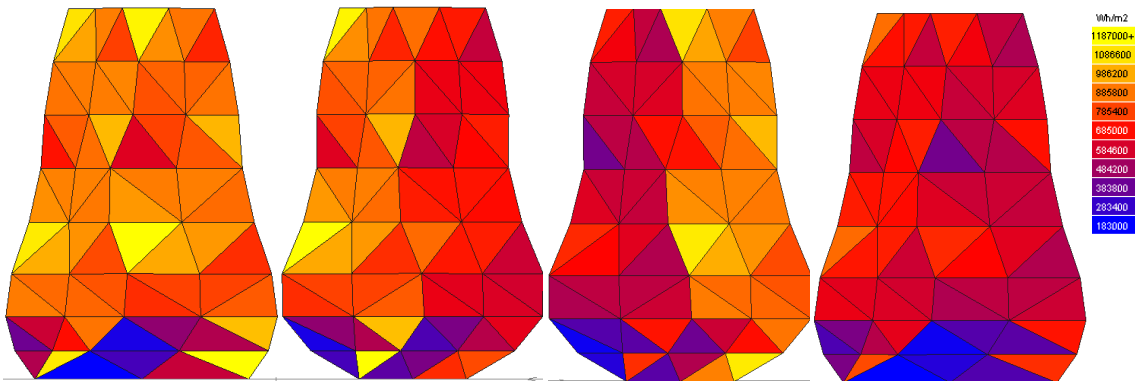
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.2b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	52%	0	80832	379278144
Feb	193958	52%	0	66702	312974784
Mar	186675	52%	0	63607	298456224
Apr	149291	51%	0	52140	244649360
May	116615	51%	0	42341	198670704
Jun	93206	50%	0	34581	162259264
Jul	97979	50%	0	35875	168331568
Aug	148497	51%	0	51076	239655312
Sep	96085	51%	0	39459	185149904
Oct	179179	51%	0	64783	303973248
Nov	200125	52%	0	72247	338994112
Dec	216384	52%	0	74732	350654848
TOTALS	1908995		0	678376	3183047680

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.2b



Planta baixa – Forma 2.2b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.2b

FORMA 2.2c

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

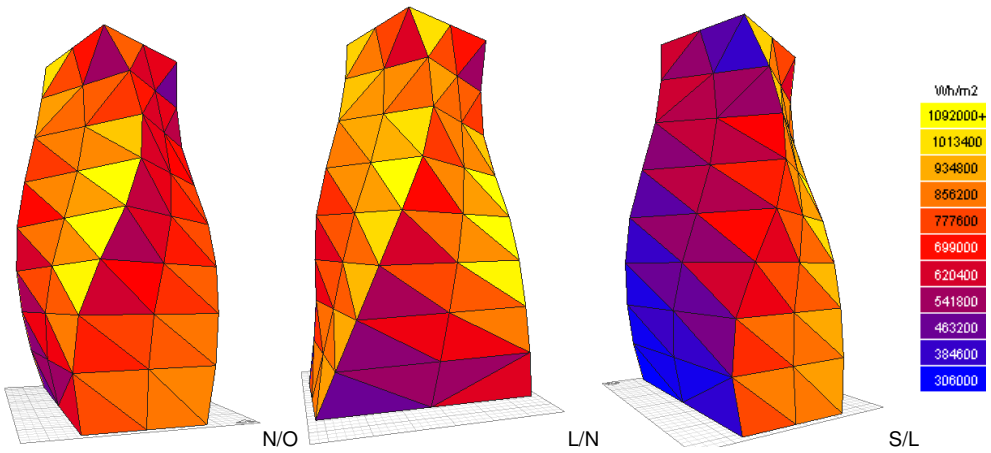
- Tapering (escala): 15m. ≤ La ≤ 40m
  15m. ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação) 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva 2 e= 0; Curva 3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 25m Curva2 Lb= 20m
  Curva3 La= 23m Curva3 Lb= 18m
  Curva4 La= 18m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a=10°; Curva3 a=30°; Curva4 a=45°; Curva5 a=24°

Resultados:

- Área: 4155.1 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.2c

- Radiação solar incidente anual = 690,0 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 401,4 MWh

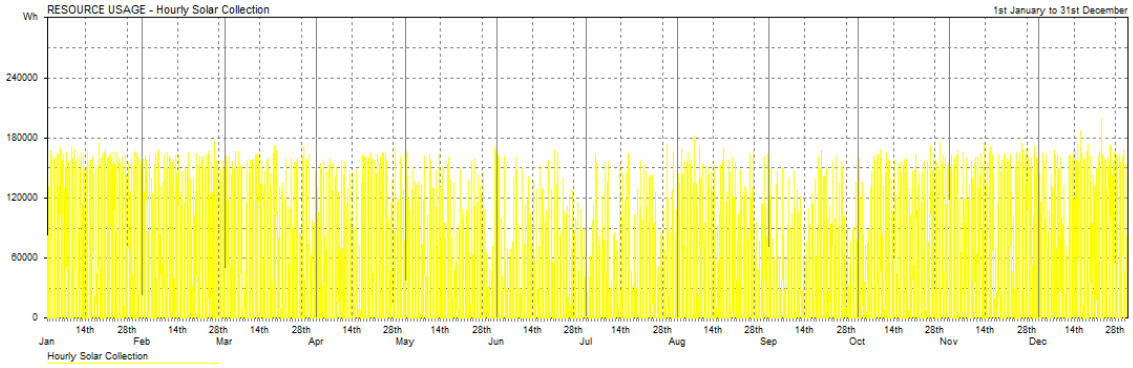


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.2c

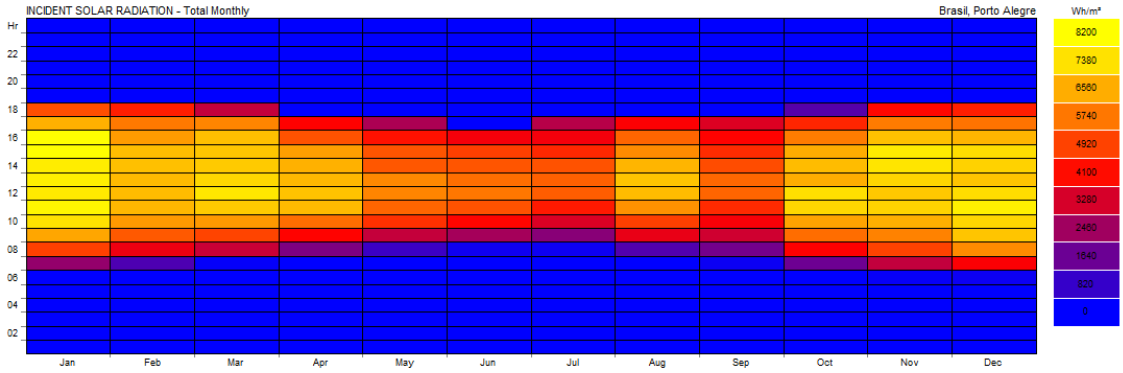
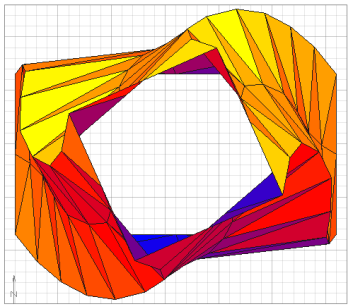


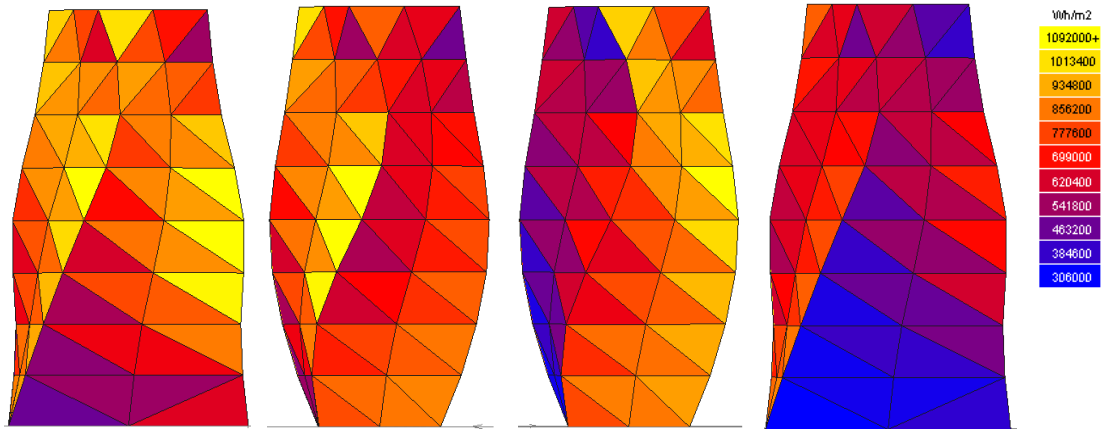
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.2c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	53%	0	81265	337668256
Feb	193958	52%	0	66972	278280256
Mar	186675	50%	0	64658	268663008
Apr	149291	48%	0	53826	223656160
May	116615	48%	0	43967	182689344
Jun	93206	49%	0	35777	148658288
Jul	97979	49%	0	37165	154424384
Aug	148497	48%	0	53055	220453152
Sep	96085	49%	0	40266	167310000
Oct	179179	51%	0	65299	271326752
Nov	200125	53%	0	72603	301676960
Dec	216384	53%	0	75137	312206432
TOTALS	1908995		0	689991	2867012864

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.2c



Planta baixa – Forma 2.2c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.2c

FORMA 2.2d

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

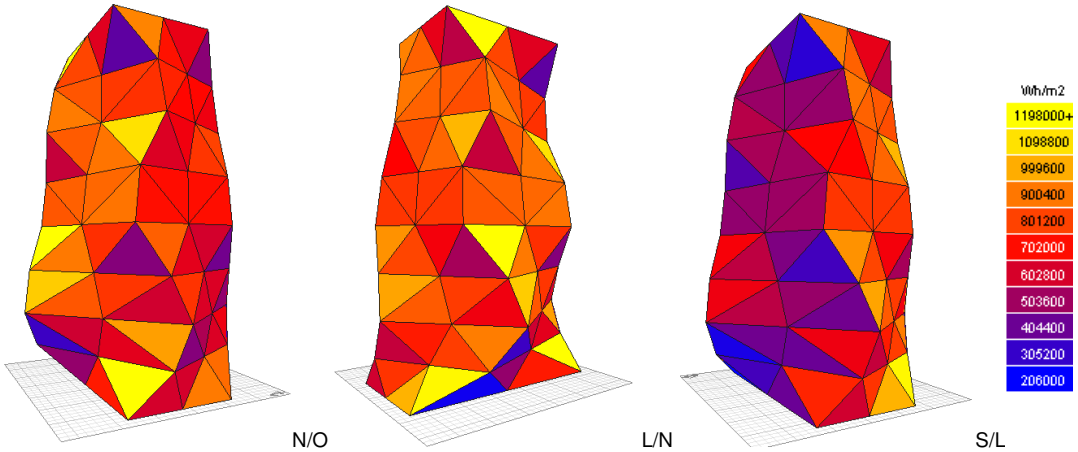
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação) 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva 2 e= 0; Curva 3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 25m Curva2 Lb= 20m
  Curva3 La= 25m Curva3 Lb= 18m
  Curva4 La= 22m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 20m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a=40°; Curva3 a=10°; Curva4 a=30°; Curva5 a=0°

Resultados:

- Área: 3854.1 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.2d

- Radiação solar incidente anual = 662,3 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 410,6 MWh

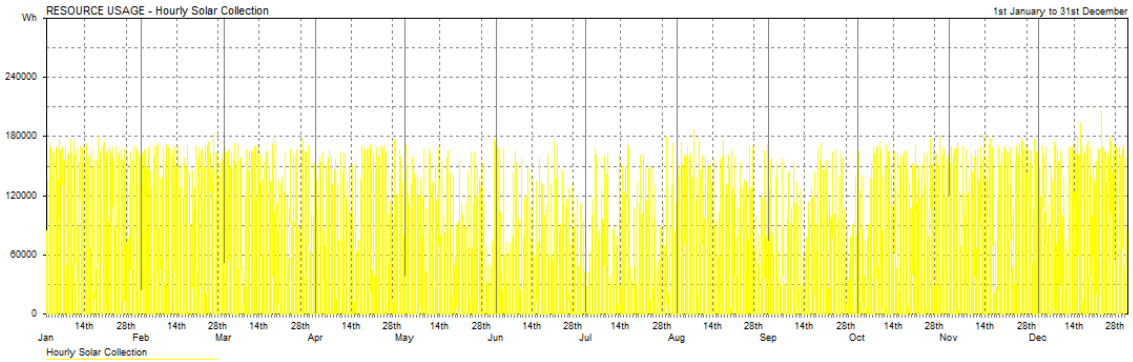


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.2d

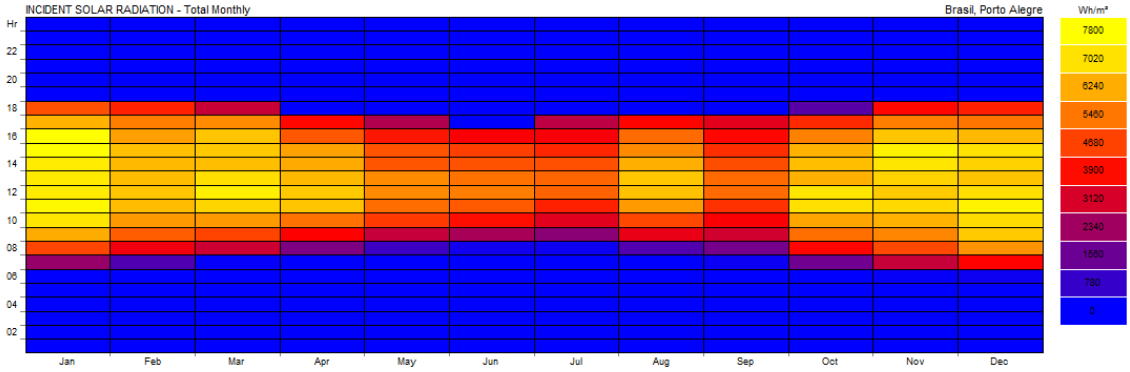
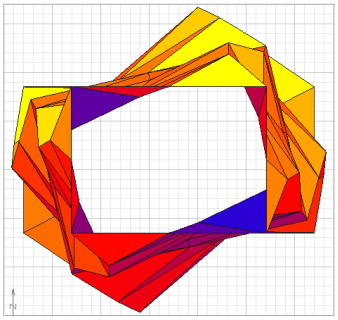


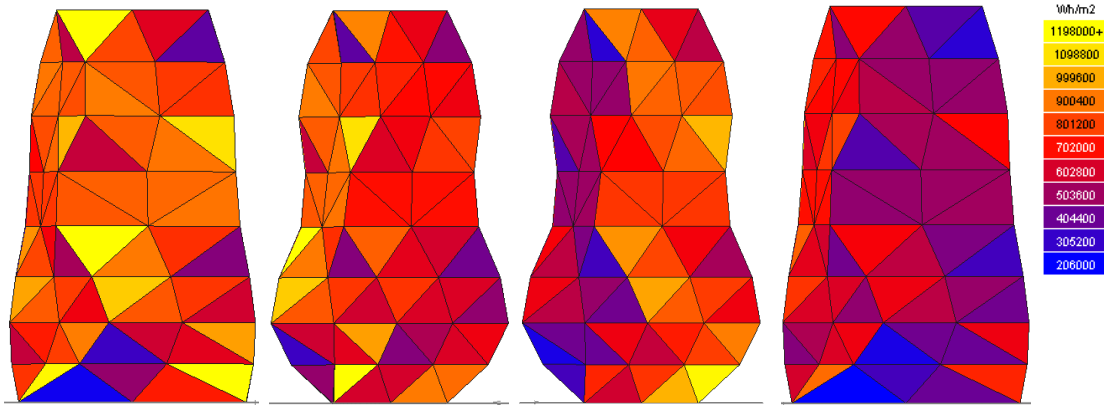
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.2d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	54%	0	77738	344290816
Feb	193958	54%	0	64250	284552224
Mar	186675	53%	0	62028	274710272
Apr	149291	52%	0	51610	228570288
May	116615	51%	0	42304	187356272
Jun	93206	50%	0	34479	152702960
Jul	97979	50%	0	35796	158532640
Aug	148497	52%	0	50923	225529776
Sep	96085	53%	0	38753	171629168
Oct	179179	53%	0	62843	278320768
Nov	200125	54%	0	69626	308360640
Dec	216384	54%	0	71998	318867040
TOTALS	1908995		0	662346	2933422848

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.2d



Planta baixa – Forma 2.2d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.2d

FORMA 2.2e

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

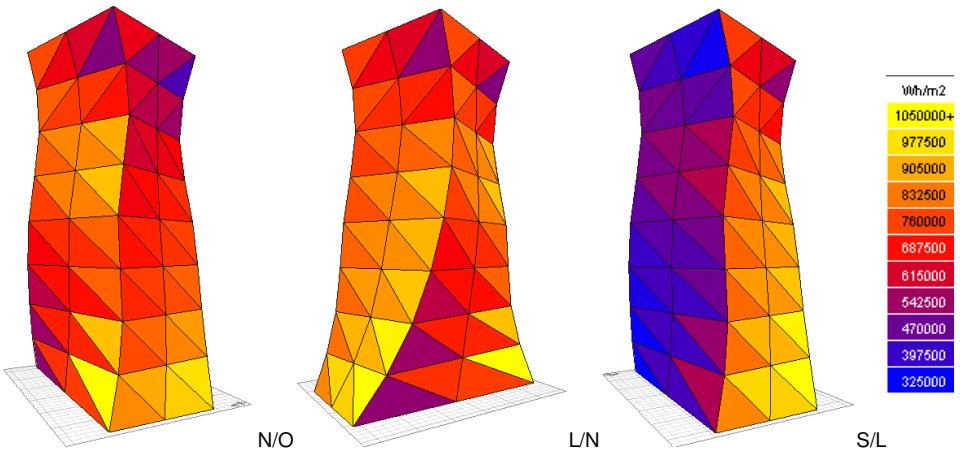
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Twisting (rotação) 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva 2 e= 0; Curva 3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e=0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 22m Curva2 Lb= 16m
  Curva3 La= 18m Curva3 Lb= 18m
  Curva4 La= 16m Curva4 Lb= 16m
  Curva5 La= 19m Curva5 Lb= 19m
- Twisting: Curva1 a=0°; Curva2 a=16°; Curva3 a=23°; Curva4 a=31°; Curva5 a=20°

Resultados:

- Área: 3854.1 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.2e

- Radiação solar incidente anual = 664,8 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 358,7 MWh

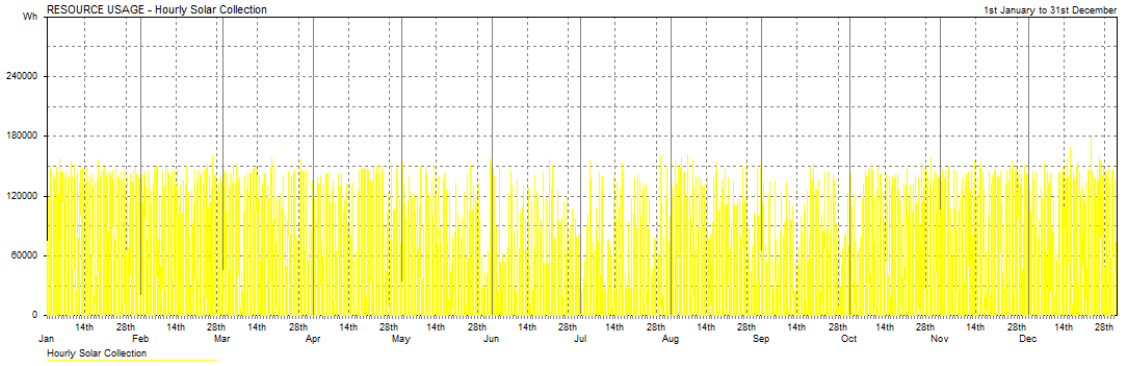


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.2e

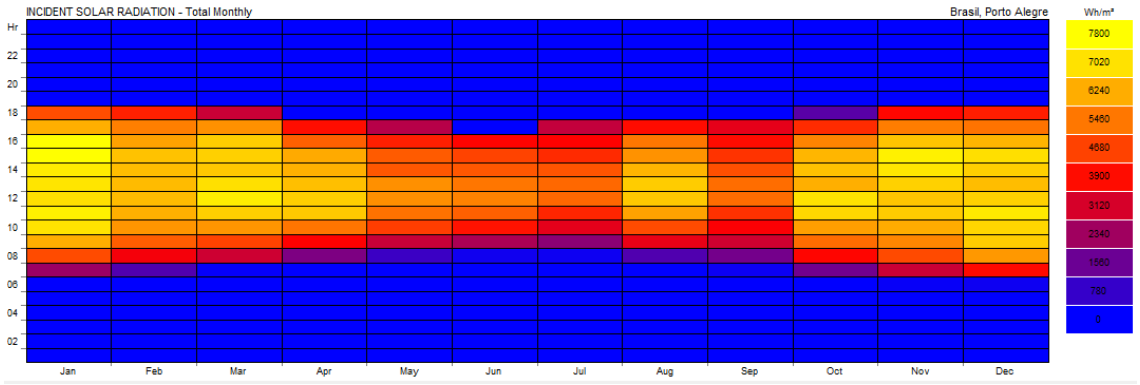
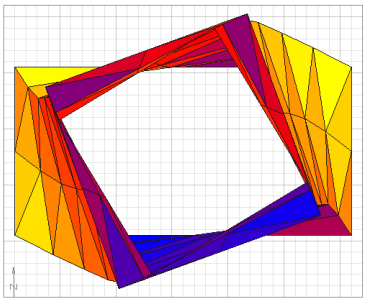


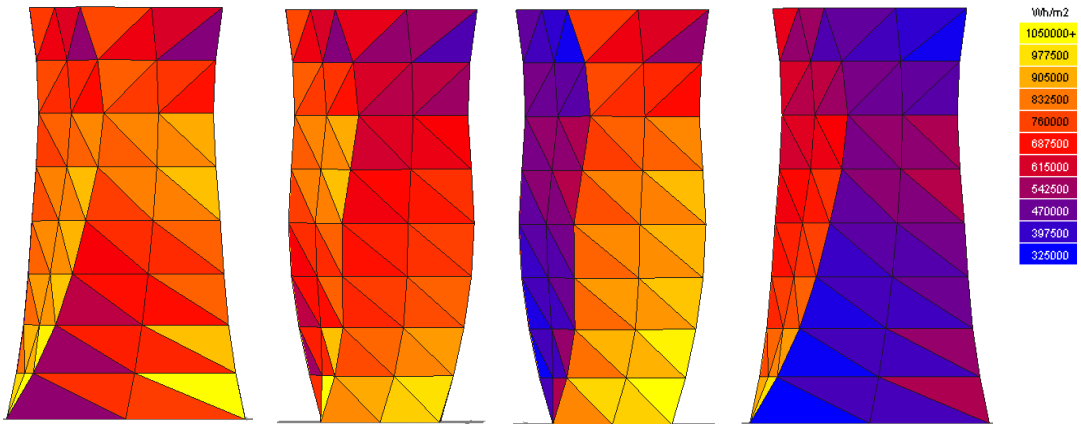
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.2e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	54%	0	77324	298019296
Feb	193958	53%	0	64049	246855008
Mar	186675	51%	0	62332	240235792
Apr	149291	49%	0	52281	201497184
May	116615	49%	0	43006	165751488
Jun	93206	49%	0	35049	135082320
Jul	97979	49%	0	36430	140406160
Aug	148497	49%	0	51763	199500432
Sep	96085	50%	0	39037	150452480
Oct	179179	52%	0	62675	241556848
Nov	200125	53%	0	69307	267120880
Dec	216384	54%	0	71508	275603584
TOTALS	1908995		0	664760	2562081536

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.2e



Planta baixa – Forma 2.2e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.2e

Etapa 3 - tapering + shear (escala + translação)

FORMA 2.3a

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

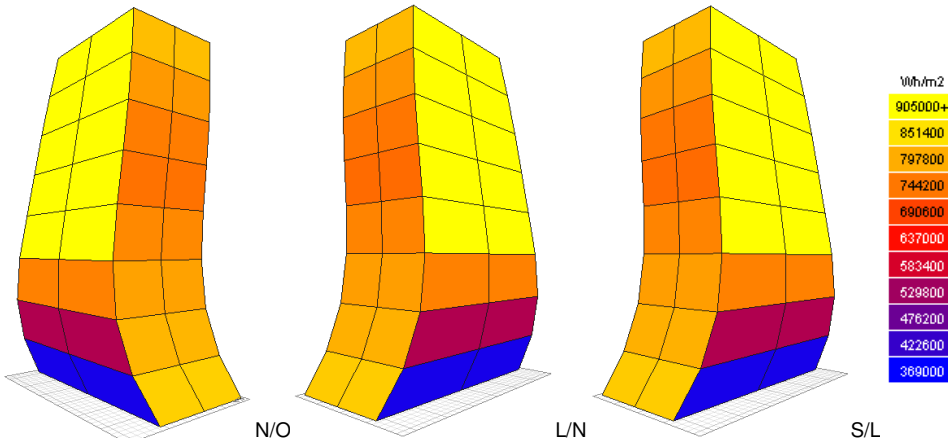
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m (e= distanciamento do eixo primitivo)

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 4; Curva4 e= 2; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 26m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 24m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 23m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 20m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4190.7 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.3a

- Radiação solar incidente anual = 673,6 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 395,2 MWh

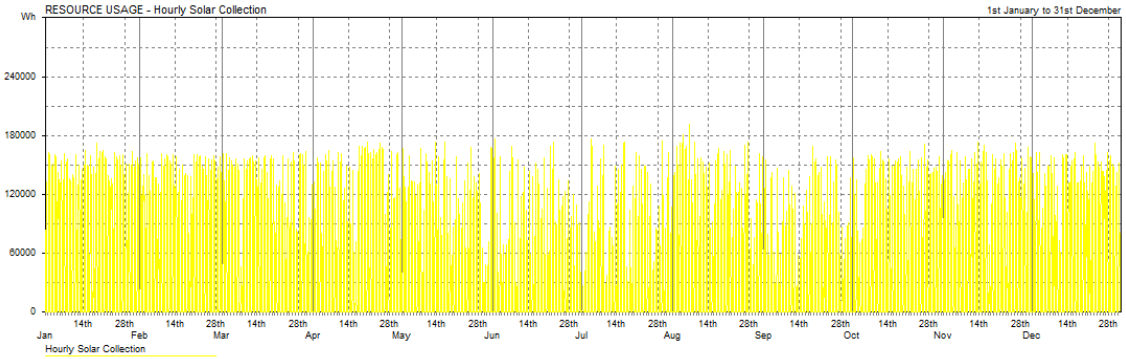


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.3a

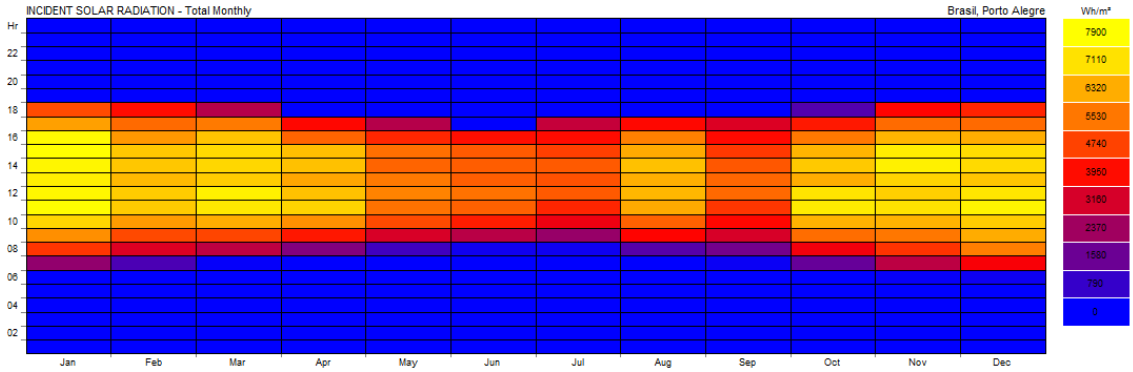
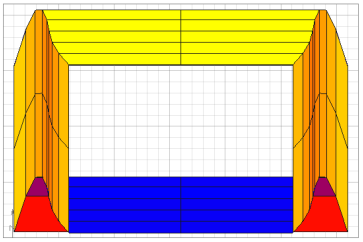


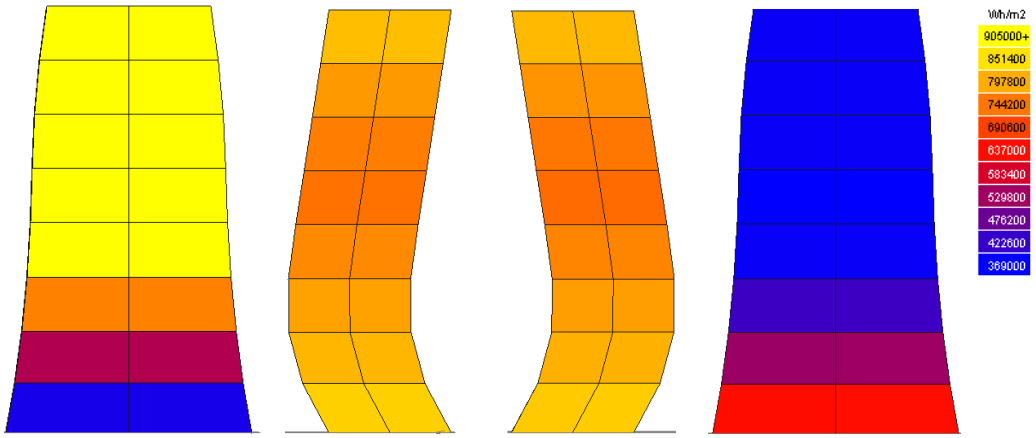
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.3a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	49%	0	77650	325407328
Feb	193958	50%	0	64293	269434336
Mar	186675	49%	0	63058	264256256
Apr	149291	47%	0	53891	225842976
May	116615	47%	0	44138	184967264
Jun	93206	47%	0	35840	150195168
Jul	97979	48%	0	37213	155948080
Aug	148497	48%	0	53286	223306288
Sep	96085	48%	0	39674	166261536
Oct	179179	50%	0	63158	264677888
Nov	200125	52%	0	69675	291985376
Dec	216384	50%	0	71745	300662208
TOTALS	1908995		0	673621	2822945024

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.3ªa



Planta baixa – Forma 2.3a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.3a

FORMA 2.3b

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

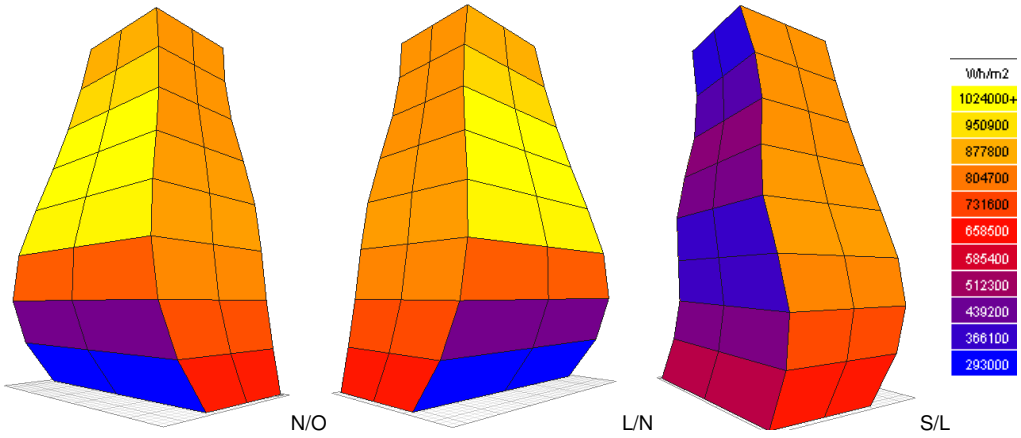
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m (e= distanciamento do eixo primitivo)

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 3; Curva4 e= 2; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva2 Lb= 20m
  Curva3 La= 25m Curva3 Lb= 20m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4509.0 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.3b

- Radiação solar incidente anual = 691,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 436,6 MWh

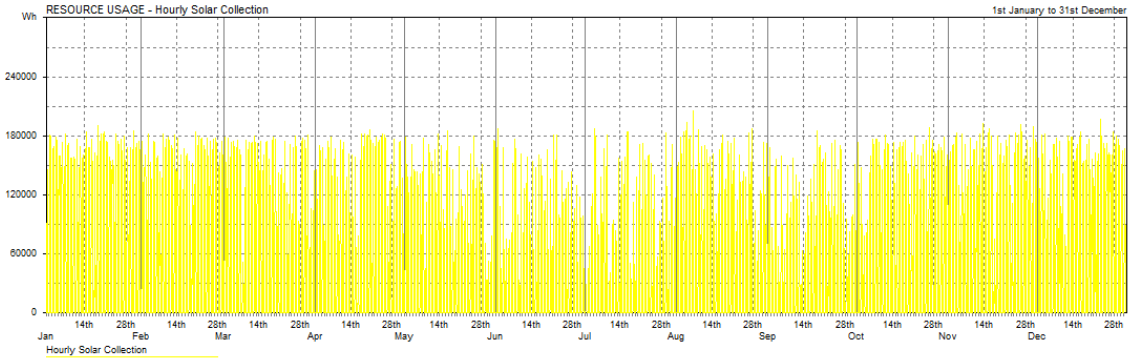


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.3b

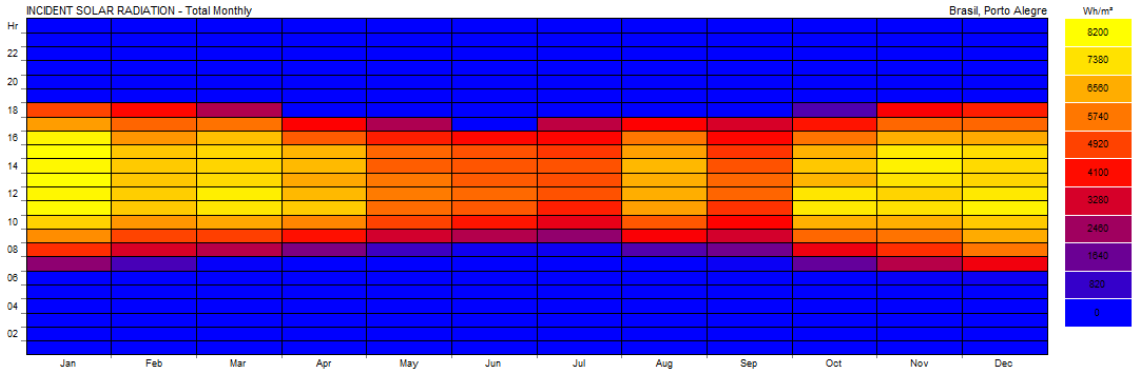
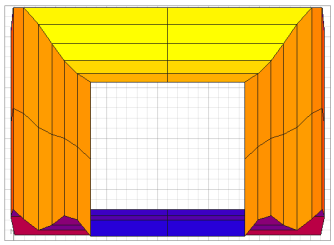


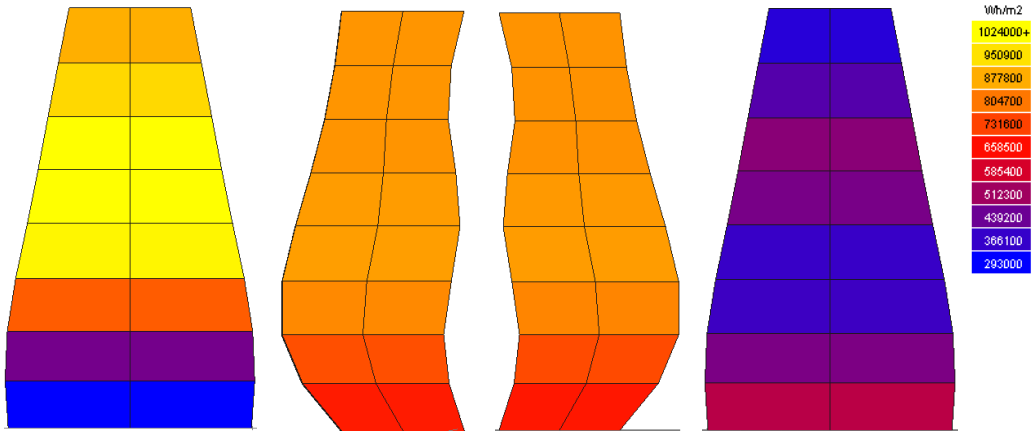
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.3b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	50%	0	80316	362140160
Feb	193958	51%	0	66546	300051520
Mar	186675	51%	0	64949	292853344
Apr	149291	49%	0	54843	247283824
May	116615	48%	0	44774	201883632
Jun	93206	48%	0	36314	163738848
Jul	97979	48%	0	37702	169997200
Aug	148497	48%	0	54084	243863488
Sep	96085	50%	0	40602	183071360
Oct	179179	51%	0	65235	294142432
Nov	200125	49%	0	72020	324732992
Dec	216384	49%	0	74313	335072768
TOTALS	1908995		0	691697	3118831616

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.3b



Planta baixa – Forma 2.3b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.3b

FORMA 2.3c

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

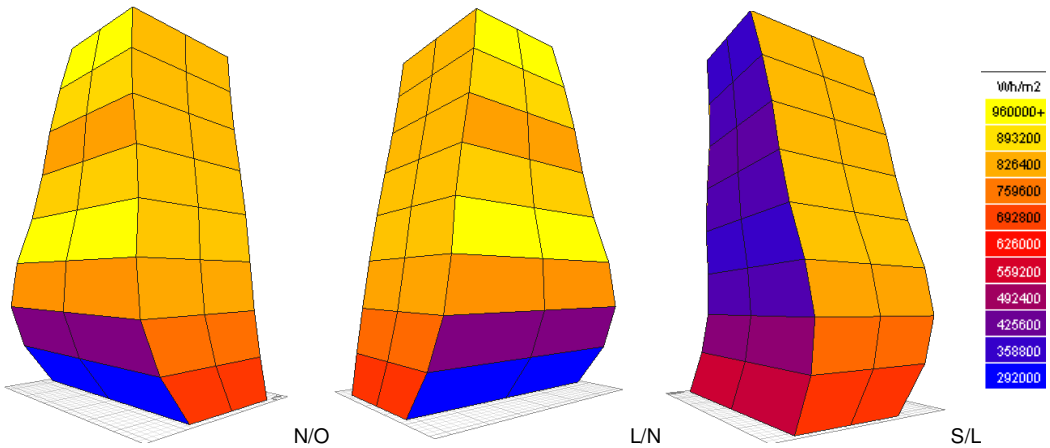
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m (e= distanciamento do eixo primitivo)

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 3; Curva4 e= 1; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva2 Lb= 20m
  Curva3 La= 25m Curva3 Lb= 20m
  Curva4 La= 20m Curva4 Lb= 20m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 20m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4699.5 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.3c

- Radiação solar incidente anual = 676,5 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 445,1 MWh

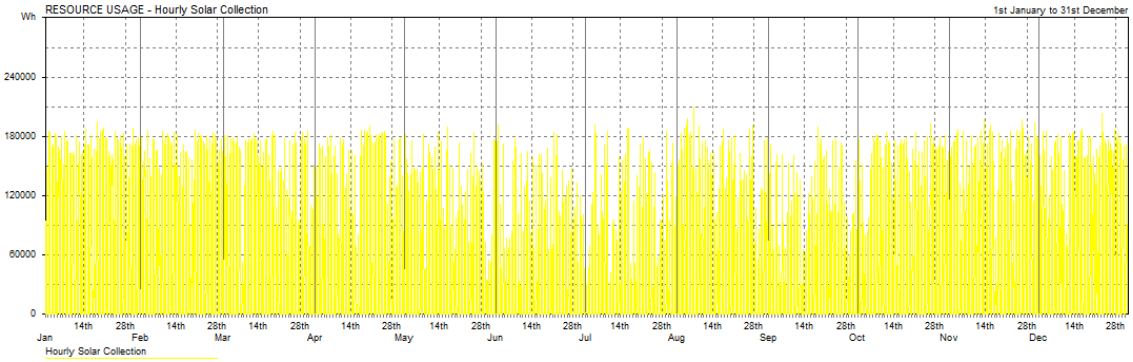


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.3c

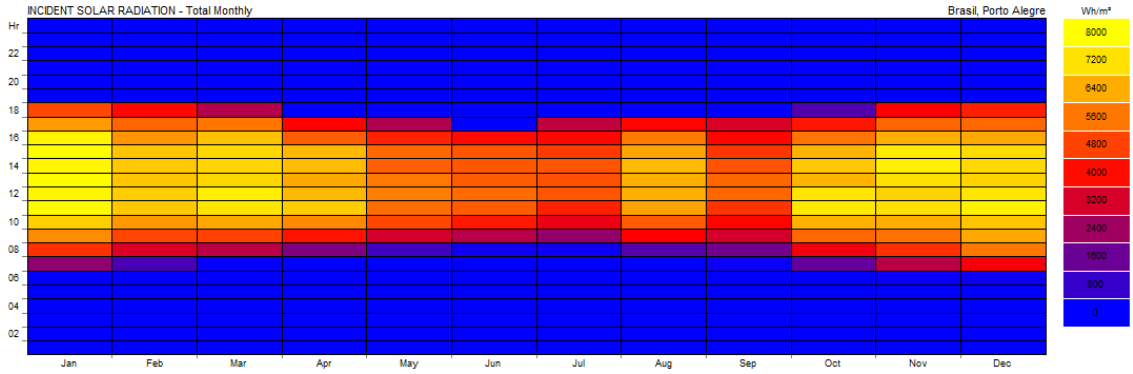
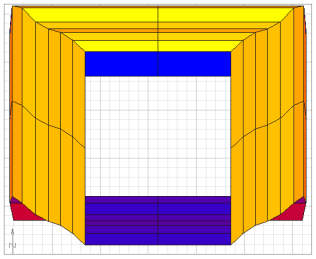


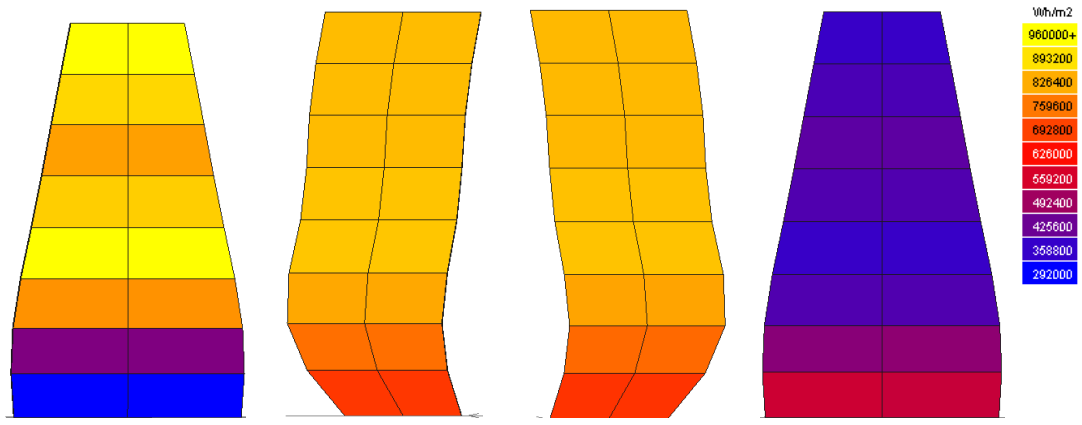
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.3c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	51%	0	78170	367363168
Feb	193958	52%	0	64902	305009504
Mar	186675	51%	0	63518	298503200
Apr	149291	49%	0	53811	252884672
May	116615	48%	0	44030	206920848
Jun	93206	48%	0	35737	167947616
Jul	97979	48%	0	37109	174394128
Aug	148497	48%	0	53129	249679792
Sep	96085	50%	0	39820	187133376
Oct	179179	51%	0	63733	299516960
Nov	200125	50%	0	70219	329997280
Dec	216384	50%	0	72301	339781344
TOTALS	1908995		0	676478	3179131904

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.3c



Planta baixa – Forma 2.3c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.3c

FORMA 2.3d

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m (e= distanciamento do eixo primitivo)

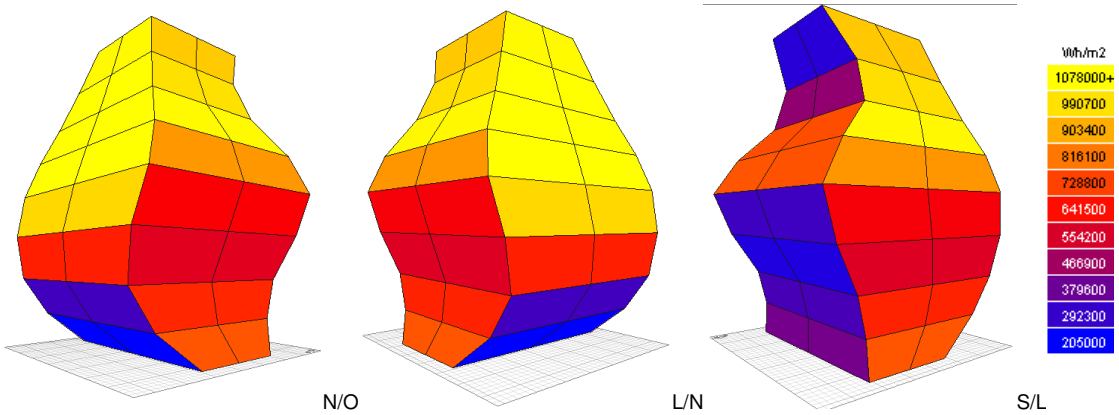
Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 1; Curva4 e= 4; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva2 Lb= 30m
  Curva3 La= 35m Curva3 Lb= 35m
  Curva4 La= 25m Curva4 Lb= 20m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 20m

Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 6130.4 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.3d

- Radiação solar incidente anual = 693,0 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 594,8 MWh

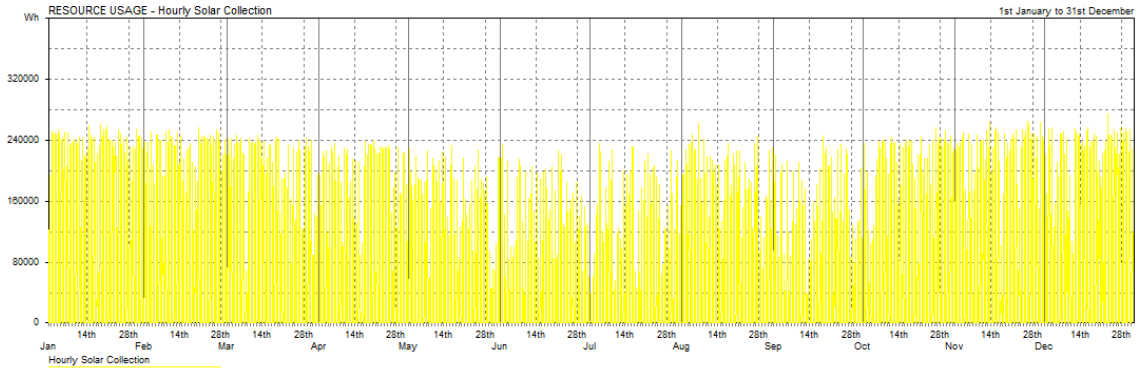


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.3d

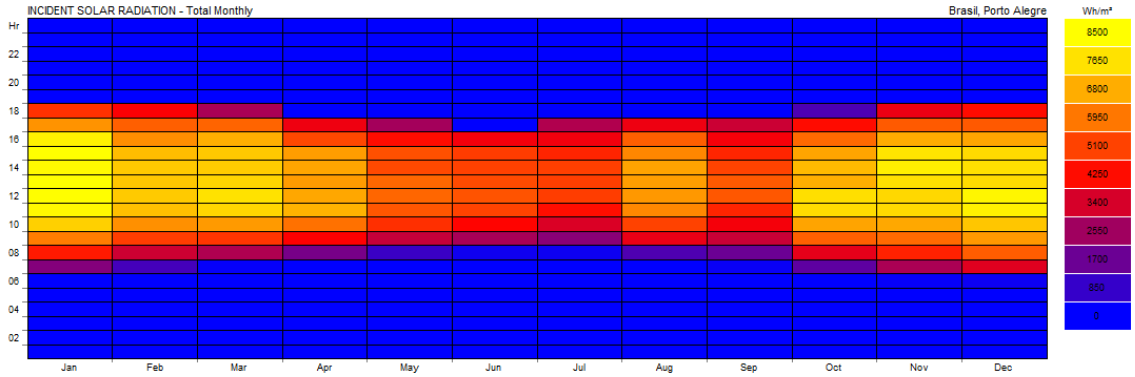
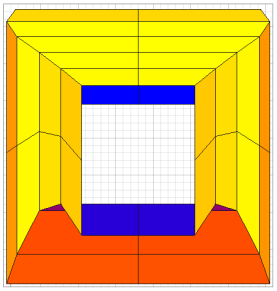


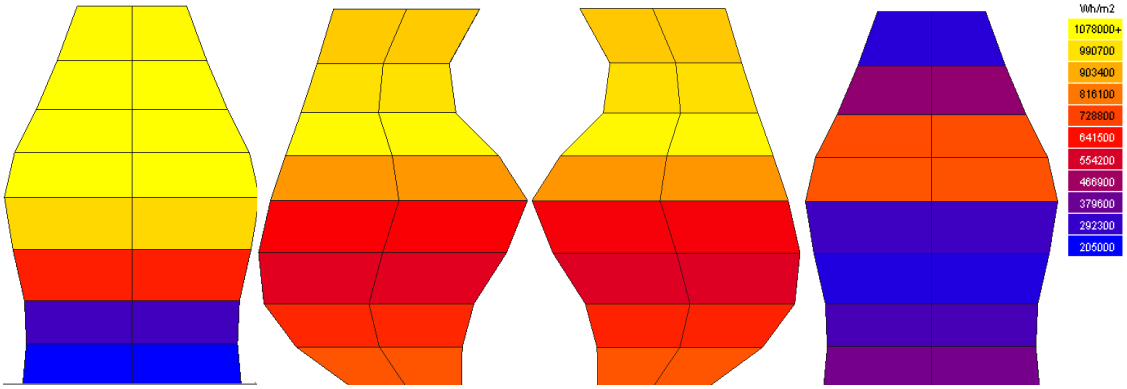
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.3d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	51%	0	81933	502281504
Feb	193958	50%	0	67755	415364096
Mar	186675	51%	0	65259	400064608
Apr	149291	51%	0	54029	331222240
May	116615	51%	0	43762	268277232
Jun	93206	50%	0	35423	217156208
Jul	97979	50%	0	36780	225473968
Aug	148497	50%	0	52990	324847904
Sep	96085	51%	0	40224	246587520
Oct	179179	51%	0	65949	404298080
Nov	200125	50%	0	73169	448554624
Dec	216384	51%	0	75779	464555264
TOTALS	1908995		0	693049	4248683008

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.3d



Planta baixa – Forma 2.3d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.3d

FORMA 2.3e

Variáveis Curva 2/ 3/ 4 e 5:

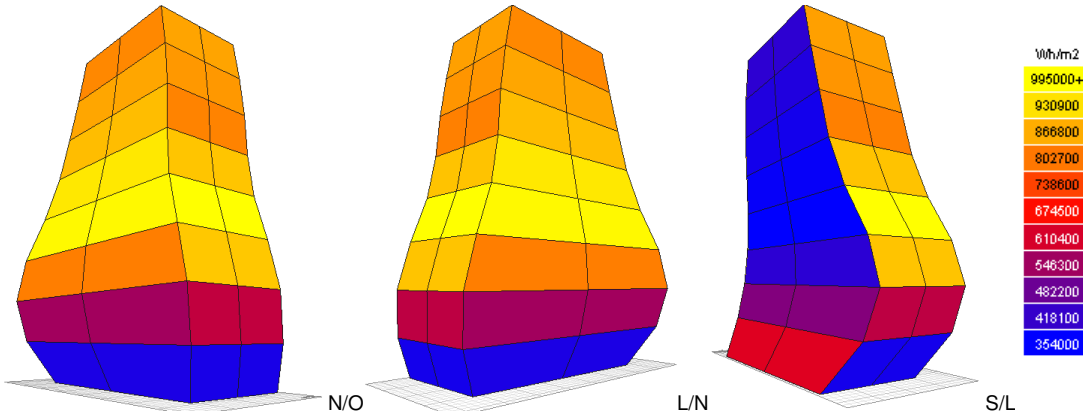
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m (e= distanciamento do eixo primitivo)

Regras:

- Shear: Curva1 e= 5; Curva2 e= 3; Curva3 e= 1; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 40m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 25m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 20m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4900.6 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.3e

- Radiação solar incidente anual = 673,5 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 462,1 MWh

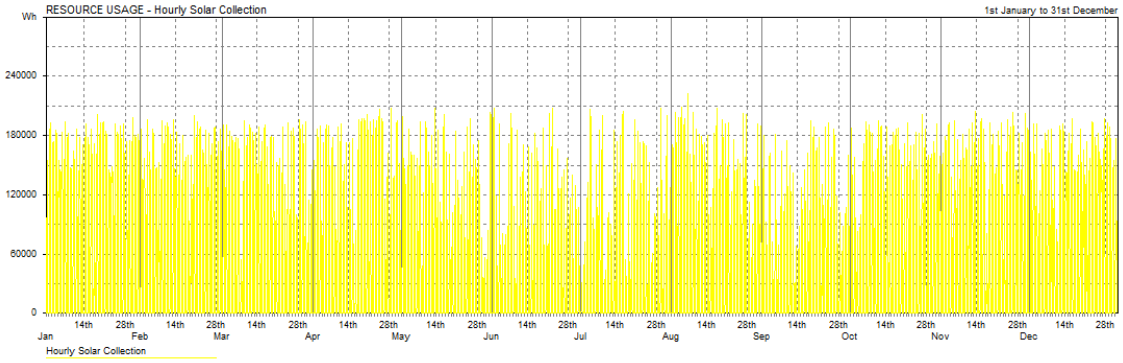


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.3e

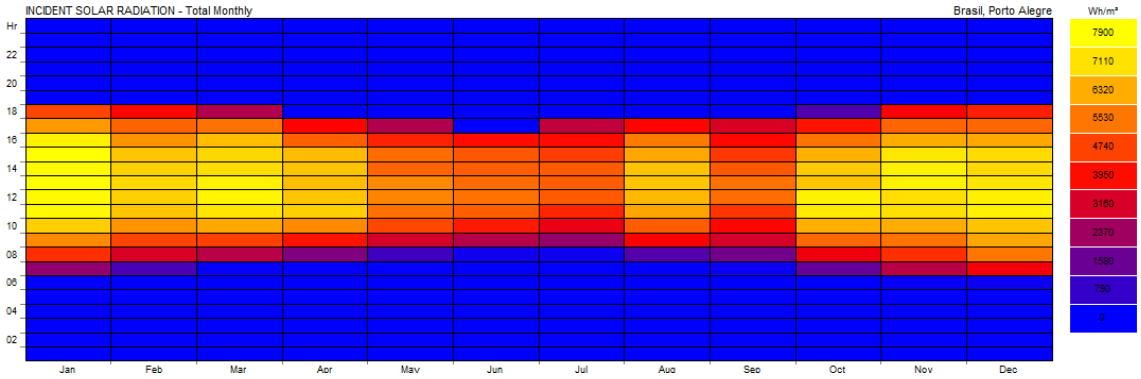
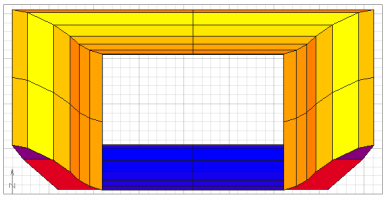


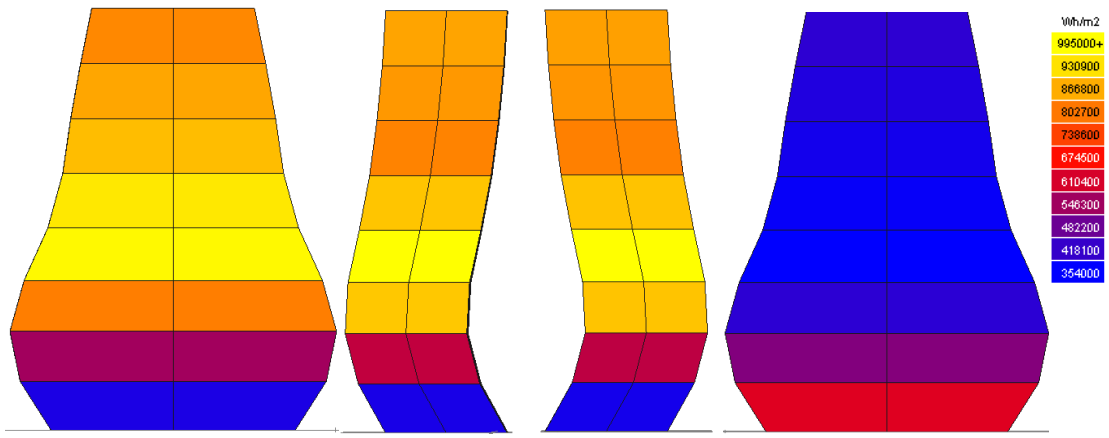
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.3e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	52%	0	77475	379670336
Feb	193958	52%	0	64287	315044448
Mar	186675	51%	0	63124	309344576
Apr	149291	49%	0	53914	264208880
May	116615	49%	0	44115	216189904
Jun	93206	49%	0	35836	175615680
Jul	97979	49%	0	37201	182306880
Aug	148497	49%	0	53269	261048560
Sep	96085	49%	0	39711	194609072
Oct	179179	51%	0	63268	310048160
Nov	200125	52%	0	69633	341240704
Dec	216384	51%	0	71679	351270144
TOTALS	1908995		0	673512	3300597504

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.3e



Planta baixa – Forma 2.3e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.3e

Etapa 4 – shear + twisting (translação + rotação)

FORMA 2.4a

Variáveis:

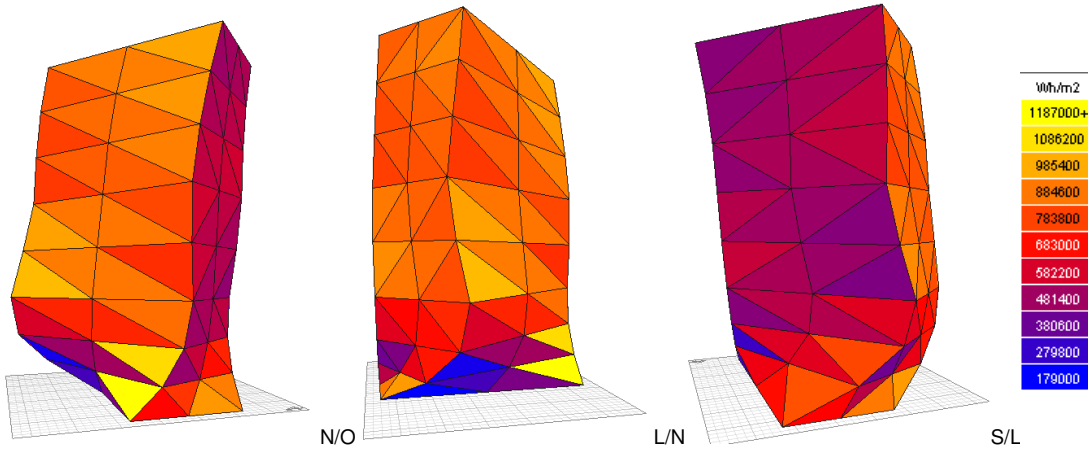
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 3; Curva4 e= 2; Curva5 e= 1
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 45°; Curva3 a= 37°; Curva4 a= 40°; Curva5 a= 45°

Resultados:

- Área: 4845.4 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.4a

- Radiação solar incidente anual = 637,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 432,6 MWh

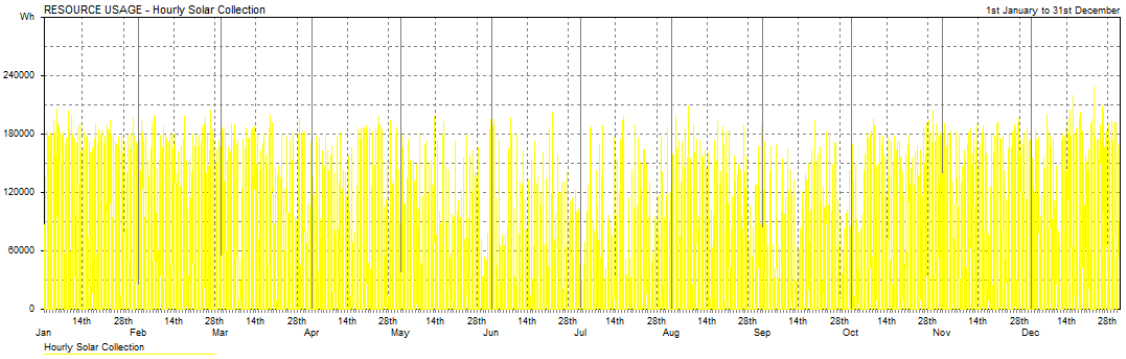


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.4a

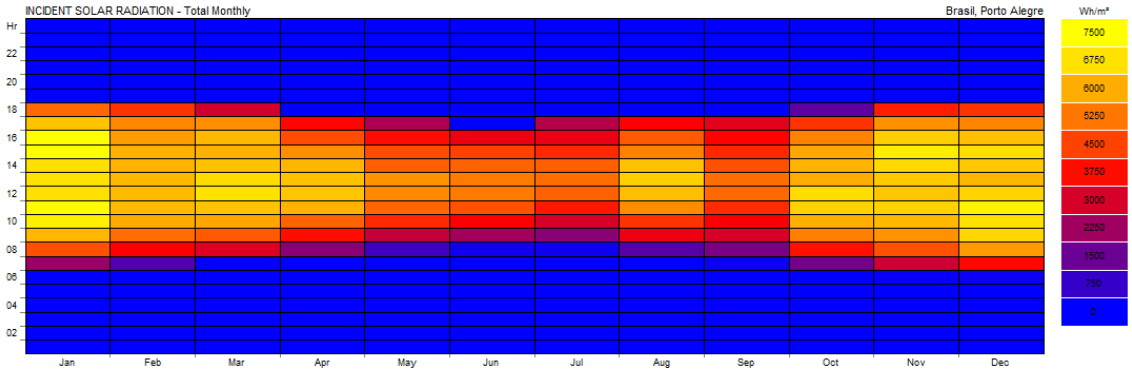
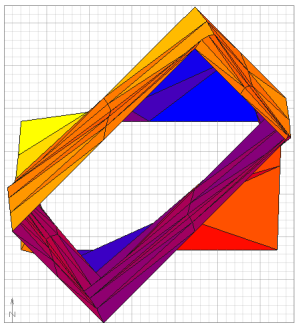


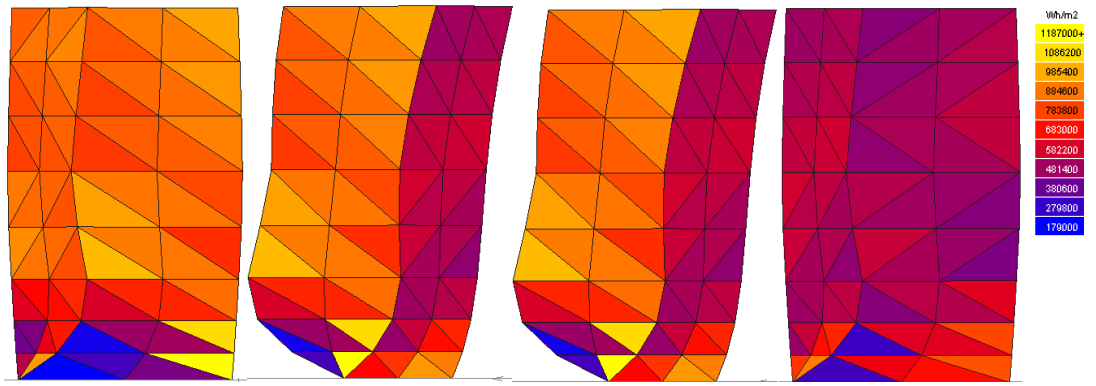
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.4a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	55%	0	75460	365632256
Feb	193958	54%	0	62268	301715840
Mar	186675	53%	0	59582	288697024
Apr	149291	53%	0	49232	238546976
May	116615	52%	0	40278	195163264
Jun	93206	51%	0	32960	159702752
Jul	97979	52%	0	34185	165641184
Aug	148497	53%	0	48462	234816080
Sep	96085	53%	0	37341	180930768
Oct	179179	54%	0	60606	293660736
Nov	200125	54%	0	67586	327484096
Dec	216384	54%	0	69738	337909280
TOTALS	1908995		0	637697	3089900032

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.4a



Planta baixa – Forma 2.4a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.4a

FORMA 2.4b

Variáveis:

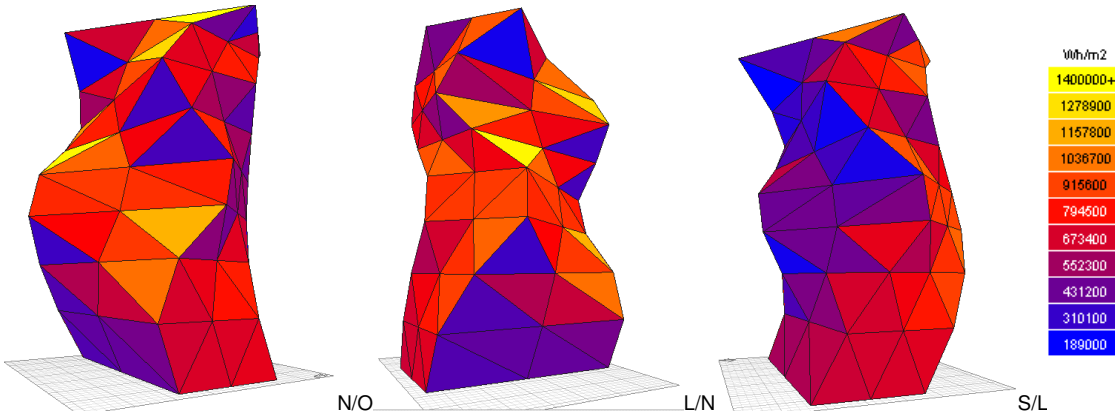
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 4; Curva4 e= 2; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 10°; Curva3 a= 45°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 45°

Resultados:

- Área: 5004.0 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.4b

- Radiação solar incidente anual = 627,5 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 439,6 MWh

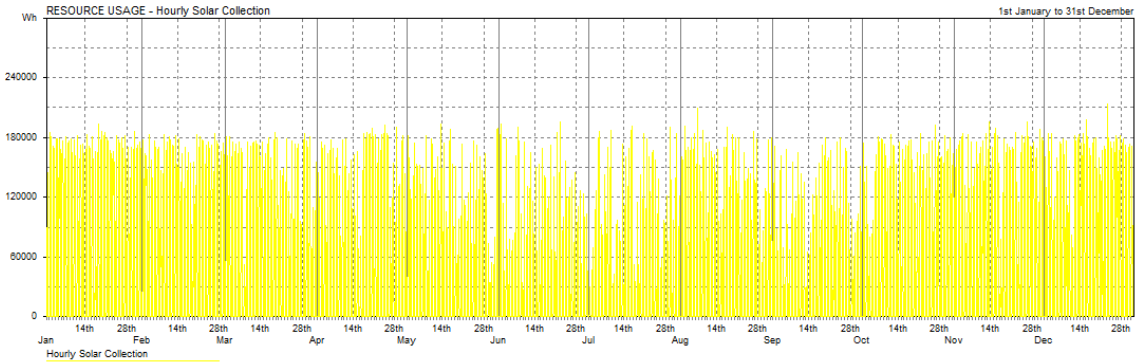


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.4b

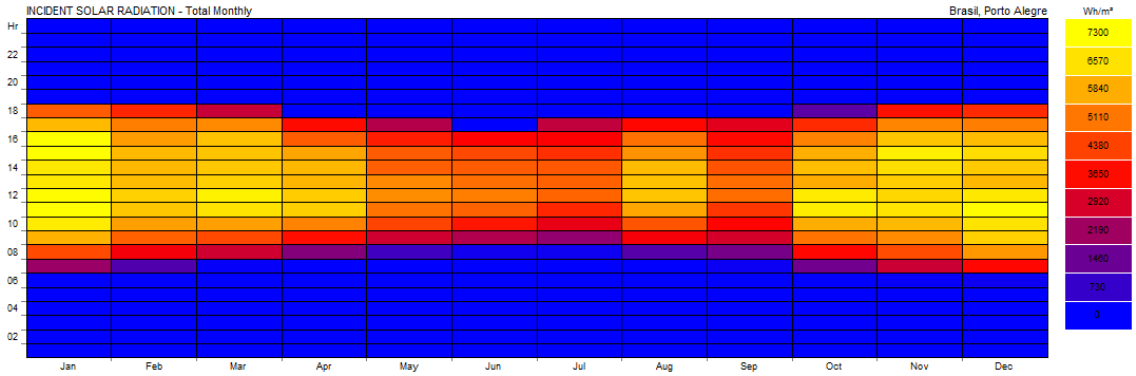
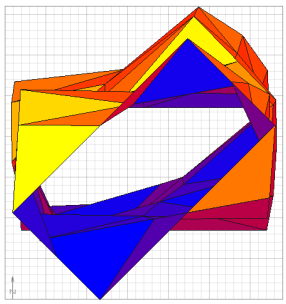


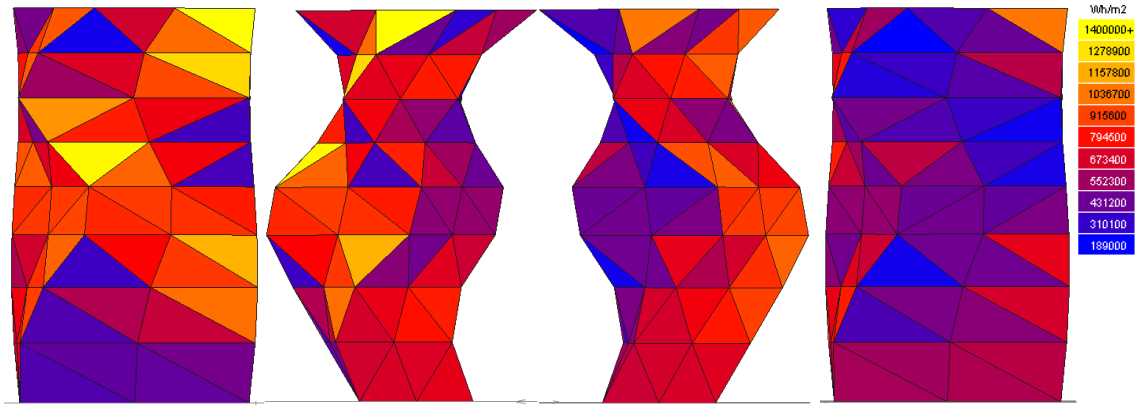
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.4b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	60%	0	73516	367871200
Feb	193958	59%	0	60529	302884160
Mar	186675	56%	0	58277	291614880
Apr	149291	53%	0	49278	246584560
May	116615	52%	0	40420	202258896
Jun	93206	52%	0	32917	164713536
Jul	97979	52%	0	34160	170934000
Aug	148497	52%	0	48667	243530256
Sep	96085	55%	0	36759	183938640
Oct	179179	58%	0	59218	296325632
Nov	200125	59%	0	65816	329343072
Dec	216384	60%	0	67930	339919392
TOTALS	1908995		0	627485	3139918336

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.4b



Planta baixa – Forma 2.4b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.4b

FORMA 2.4c

Variáveis:

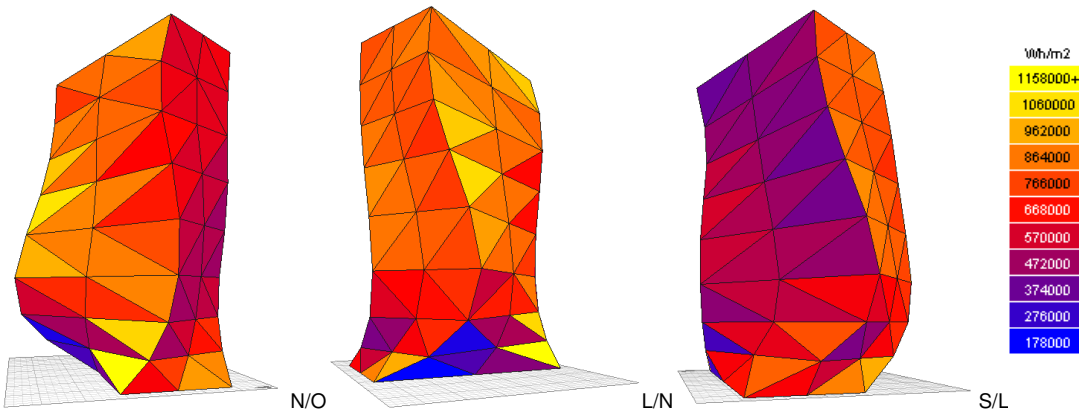
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 4; Curva4 e= 3; Curva5 e= 1
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 43°; Curva3 a= 36°; Curva4 a= 25°; Curva5 a= 28°

Resultados:

- Área: 4844.8 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.4c

- Radiação solar incidente anual =636,1 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 431,4 MWh

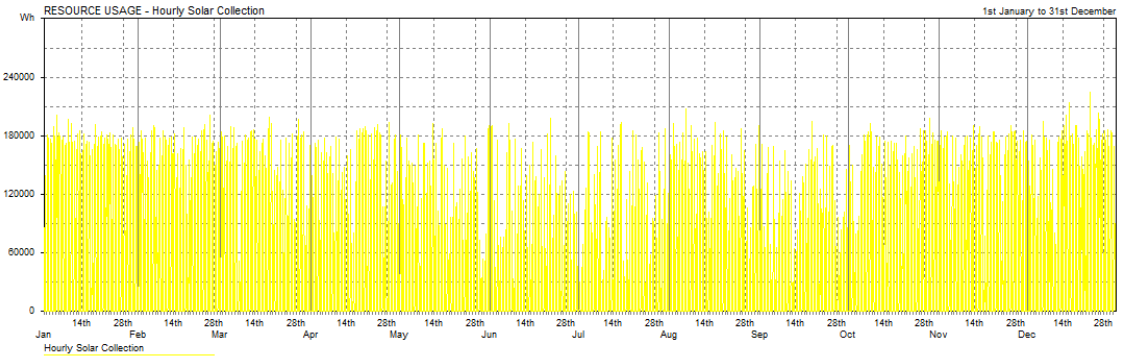


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.4c

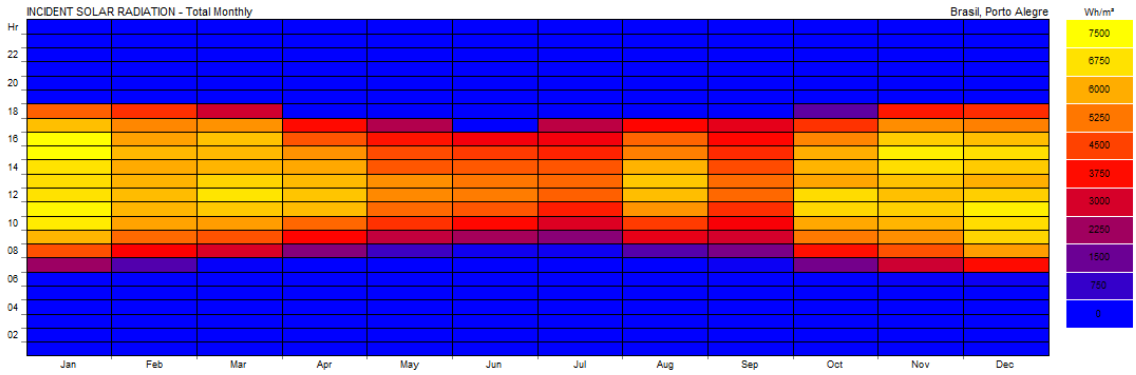
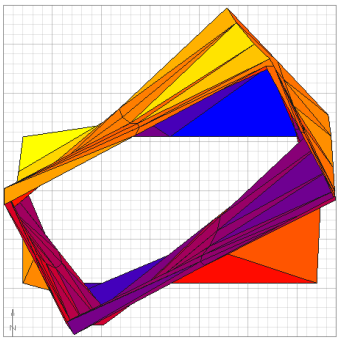


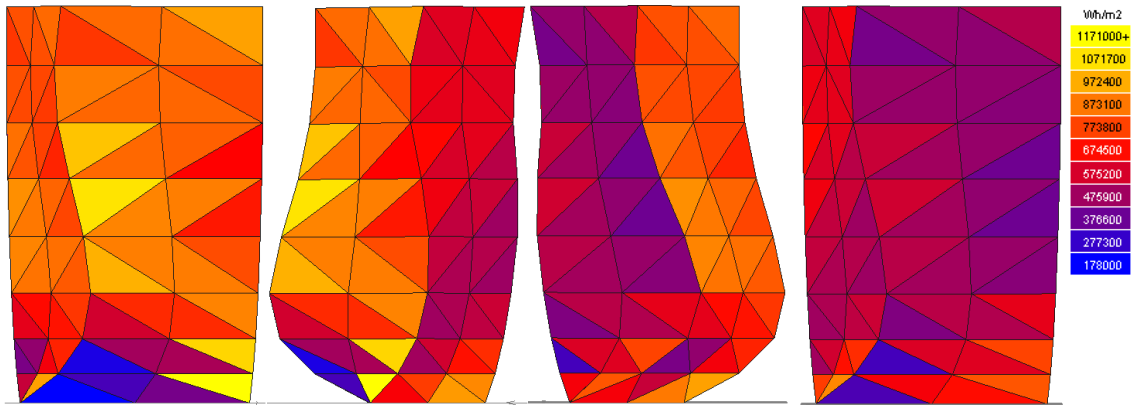
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.4c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	55%	0	75164	364151968
Feb	193958	54%	0	61936	300065984
Mar	186675	53%	0	59443	287990080
Apr	149291	53%	0	49165	238195744
May	116615	52%	0	40348	195474976
Jun	93206	51%	0	32975	159756944
Jul	97979	51%	0	34239	165880240
Aug	148497	53%	0	48486	234905536
Sep	96085	53%	0	37310	180760448
Oct	179179	54%	0	60412	292680512
Nov	200125	55%	0	67218	325655296
Dec	216384	55%	0	69400	336227552
TOTALS	1908995		0	636097	3081745152

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.4c



Planta baixa – Forma 2.4c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.4c

FORMA 2.4d

Variáveis:

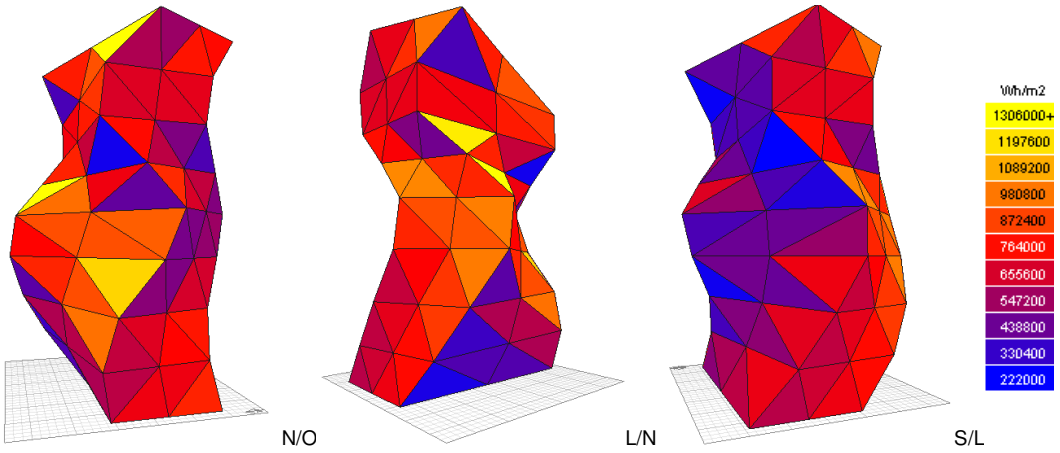
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 3; Curva4 e= 2; Curva5 e= 1
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 20°; Curva3 a= 45°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 25°

Resultados:

- Área: 4951.7 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.4d

- Radiação solar incidente anual = 628,9 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 326,0 MWh

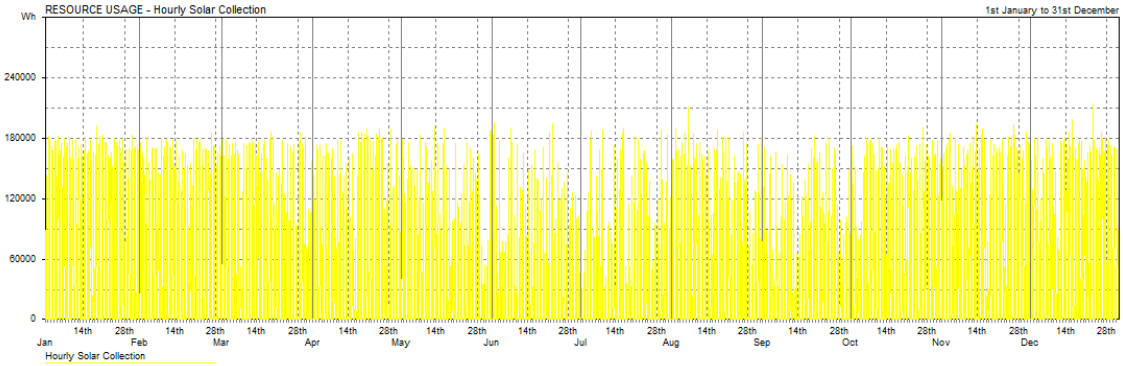


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.4d

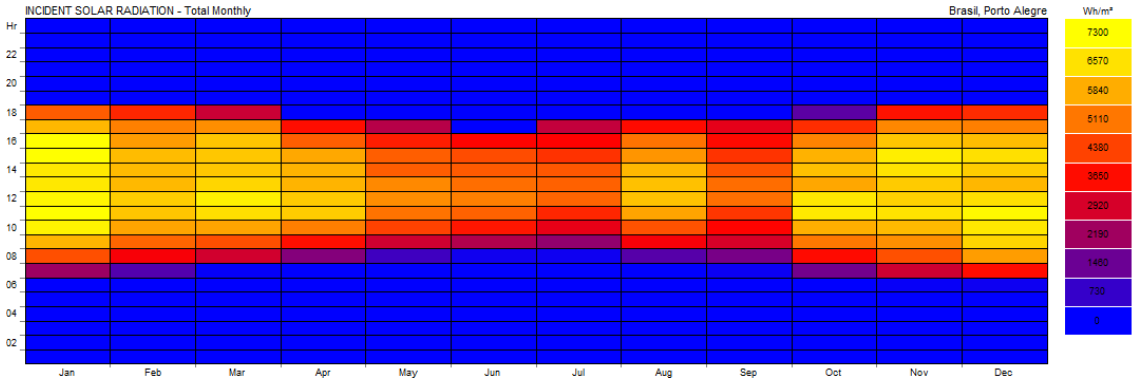
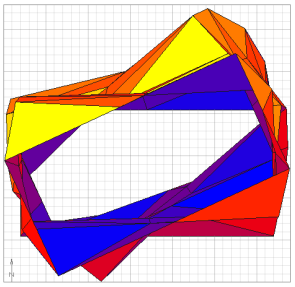


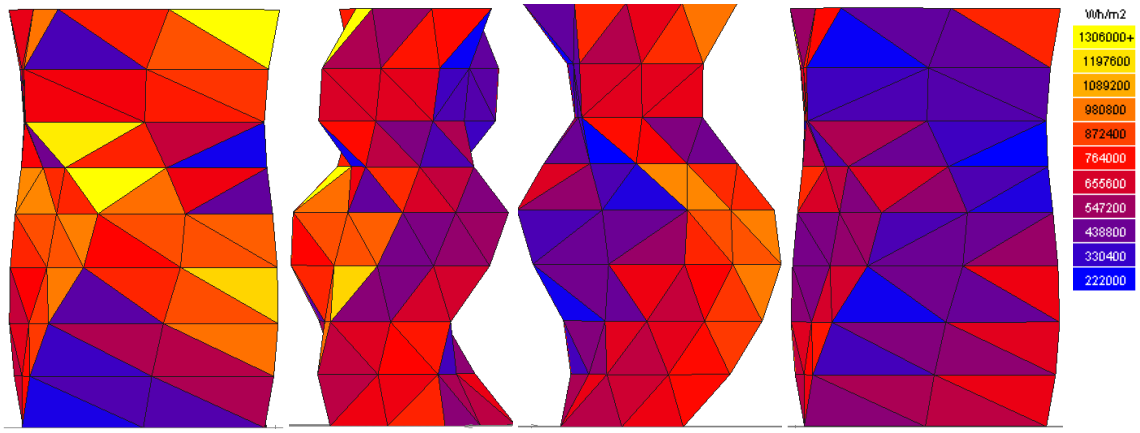
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.4d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	58%	0	73713	365008160
Feb	193958	57%	0	60677	300453568
Mar	186675	55%	0	58630	290321408
Apr	149291	53%	0	49180	243523792
May	116615	52%	0	40466	200377024
Jun	93206	51%	0	33002	163415456
Jul	97979	51%	0	34249	169589488
Aug	148497	52%	0	48615	240727248
Sep	96085	54%	0	36975	183091360
Oct	179179	57%	0	59292	293596384
Nov	200125	58%	0	65938	326506336
Dec	216384	58%	0	68138	337398176
TOTALS	1908995		0	628874	3114008320

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.4d



Planta baixa – Forma 2.4d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.4d

FORMA 2.4e

Variáveis:

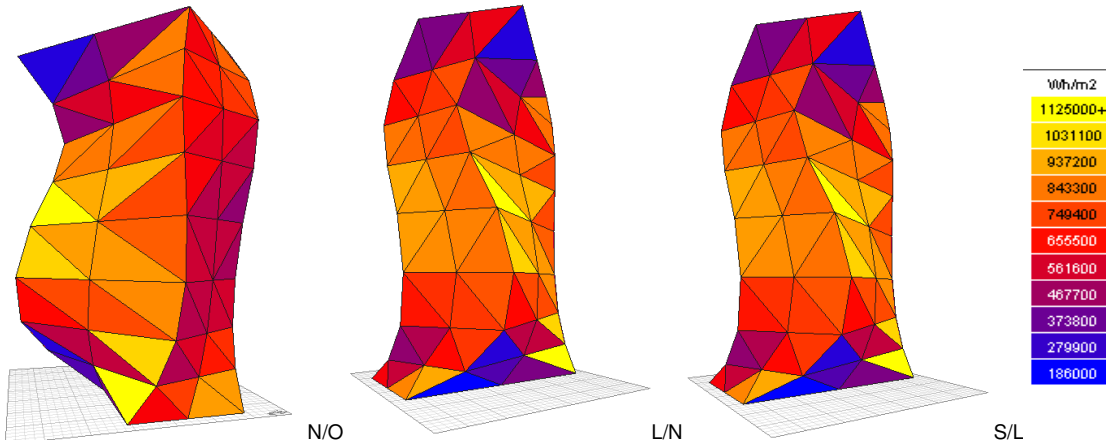
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 3; Curva4 e= 0; Curva5 e= 5
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 40°; Curva3 a= 35°; Curva4 a= 23°; Curva5 a= 45°

Resultados:

- Área: 4929.3 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.4e

- Radiação solar incidente anual = 628,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 433,9 MWh

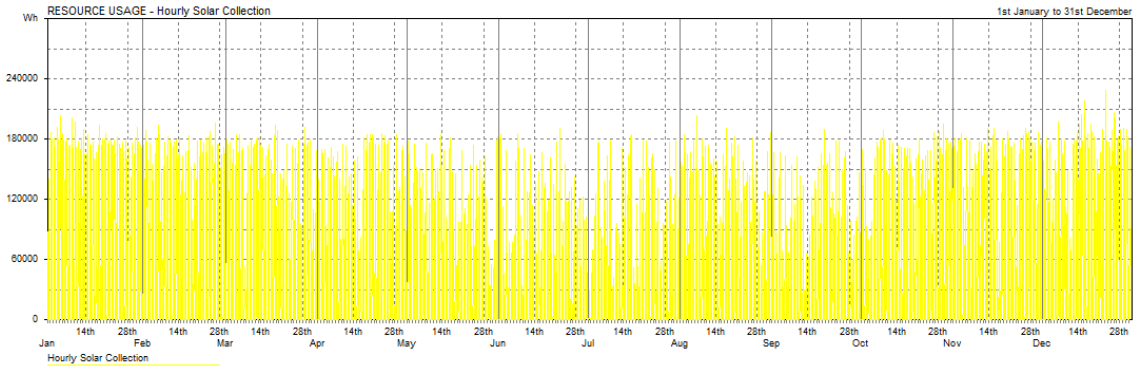


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.4e

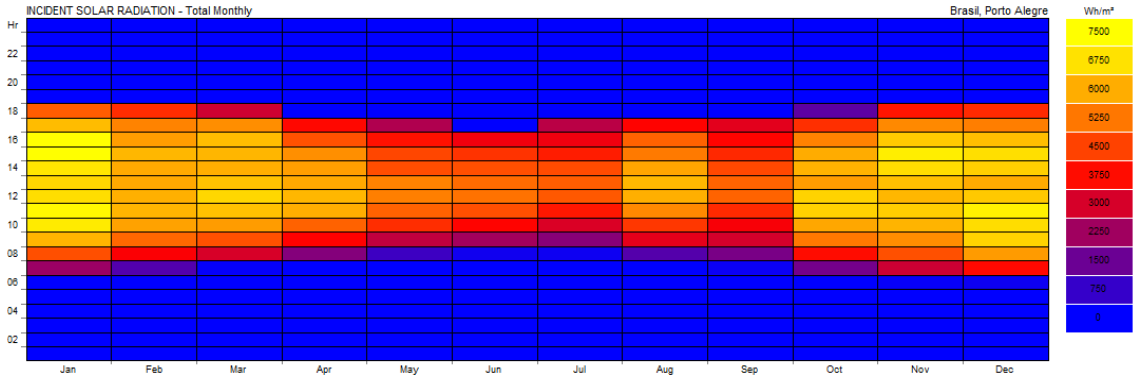
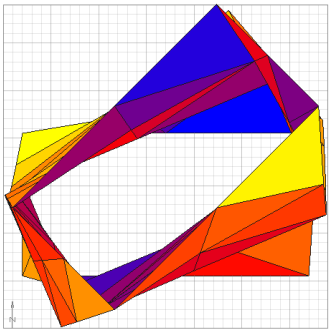


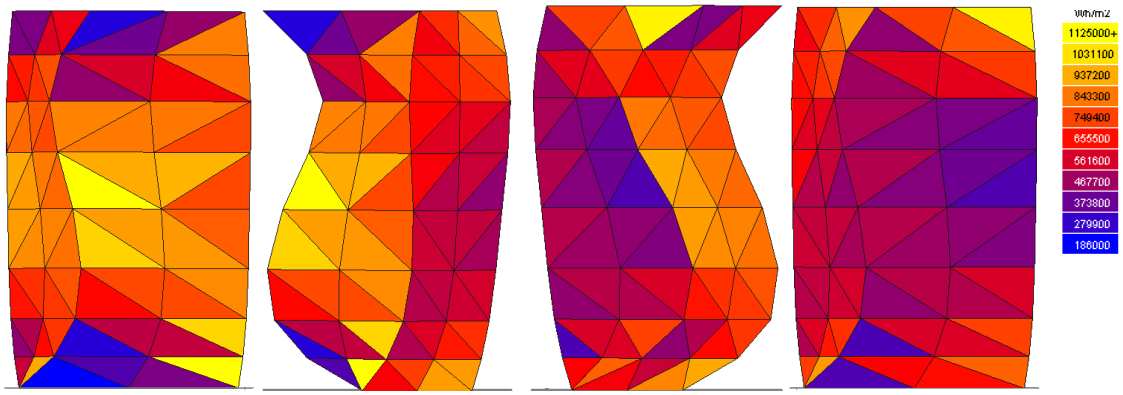
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.4e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	56%	0	74865	369036000
Feb	193958	56%	0	61355	302437536
Mar	186675	55%	0	58582	288769024
Apr	149291	54%	0	48173	237459888
May	116615	52%	0	39588	195143360
Jun	93206	51%	0	32331	159370528
Jul	97979	51%	0	33577	165511072
Aug	148497	53%	0	47391	233606016
Sep	96085	54%	0	36970	182239712
Oct	179179	56%	0	59855	295044576
Nov	200125	56%	0	66861	329580480
Dec	216384	56%	0	69188	341051680
TOTALS	1908995		0	628736	3099249920

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.4e



Planta baixa – Forma 2.4e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.4e

Etapa 5 – tapering (escala)

FORMA 2.5a

Variáveis:

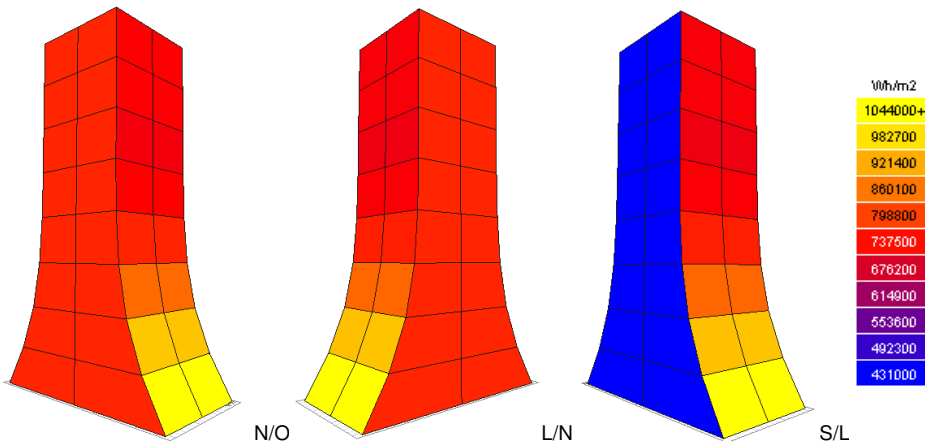
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 18m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 15m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3408,6 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.5a

- Total de exposição solar anual (incidente) = 683,5 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 326,2 MWh

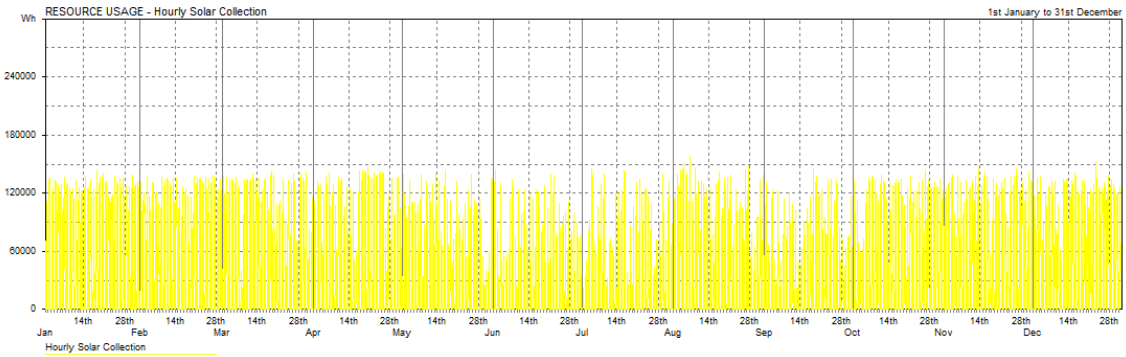


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.5a

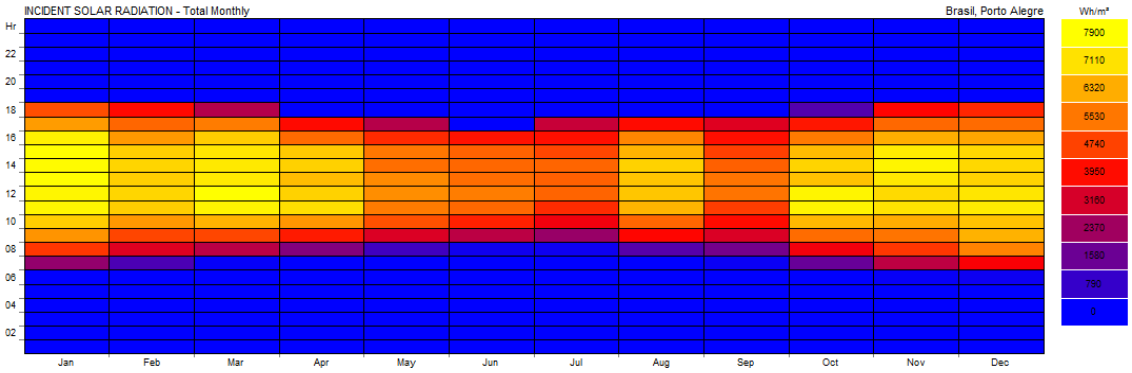
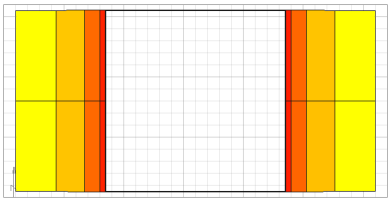


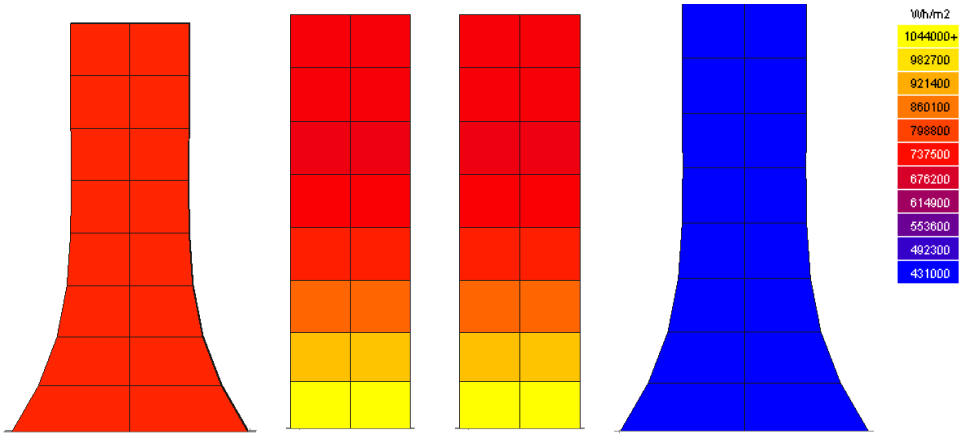
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.5a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	49%	0	77619	264568672
Feb	193958	49%	0	64943	221360928
Mar	186675	49%	0	64506	219873008
Apr	149291	48%	0	55310	188528800
May	116615	48%	0	45200	154067648
Jun	93206	48%	0	36712	125135616
Jul	97979	48%	0	38121	129935984
Aug	148497	48%	0	54676	186365664
Sep	96085	48%	0	40561	138252864
Oct	179179	49%	0	64161	218695248
Nov	200125	49%	0	69993	238574384
Dec	216384	49%	0	71690	244357712
TOTALS	1908995		0	683491	2329716480

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.5a



Planta baixa – Forma 2.5a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.5a

FORMA 2.5b

Variáveis:

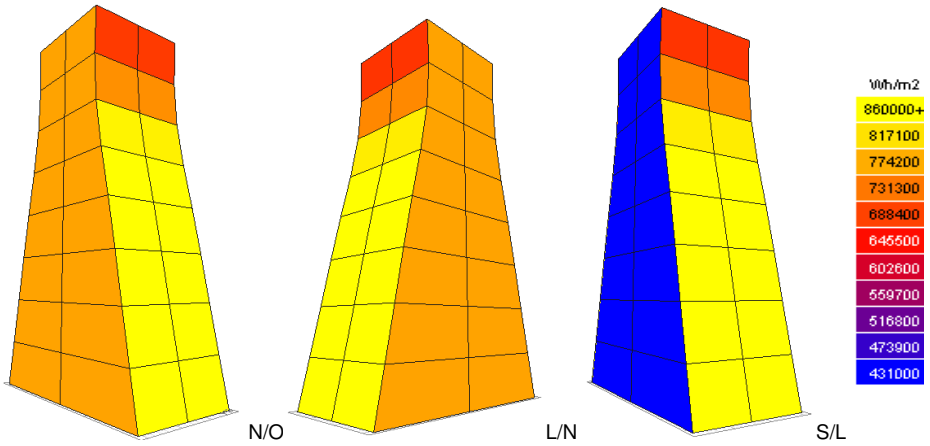
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 25m Curva2 Lb= 15m
  Curva3 La= 20m Curva3 Lb= 15m
  Curva4 La= 15m Curva4 Lb= 15m
  Curva5 La= 15m Curva5 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 3715.1 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) –Forma 2.5b

- Radiação solar incidente anual = 685,5 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 356,5 MWh

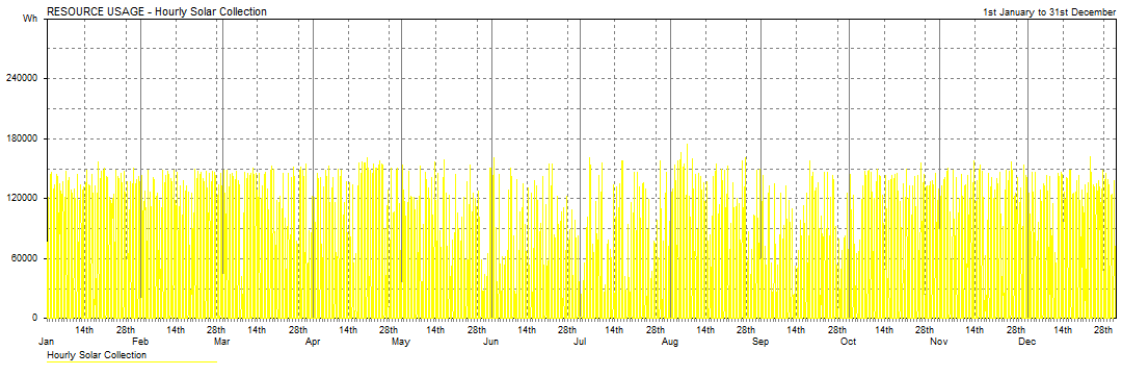


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.5b

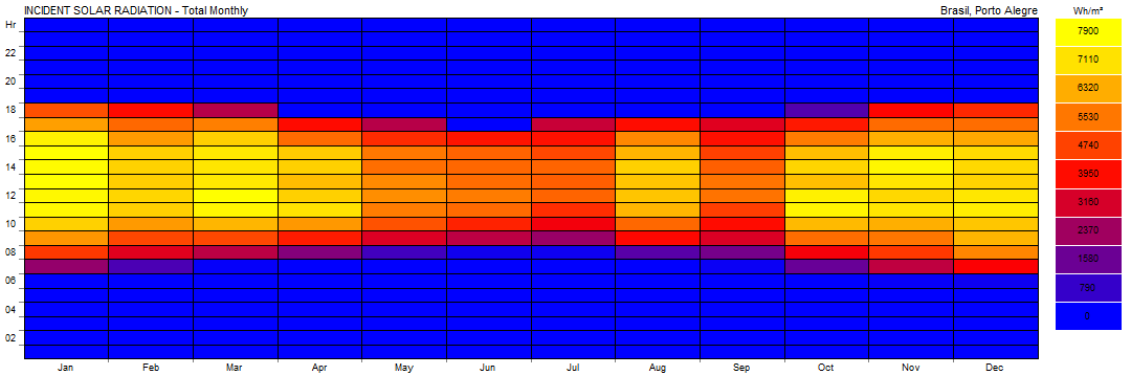
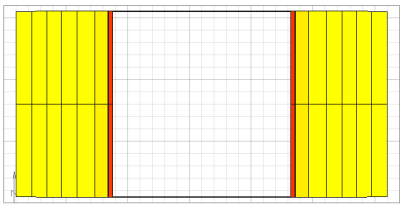


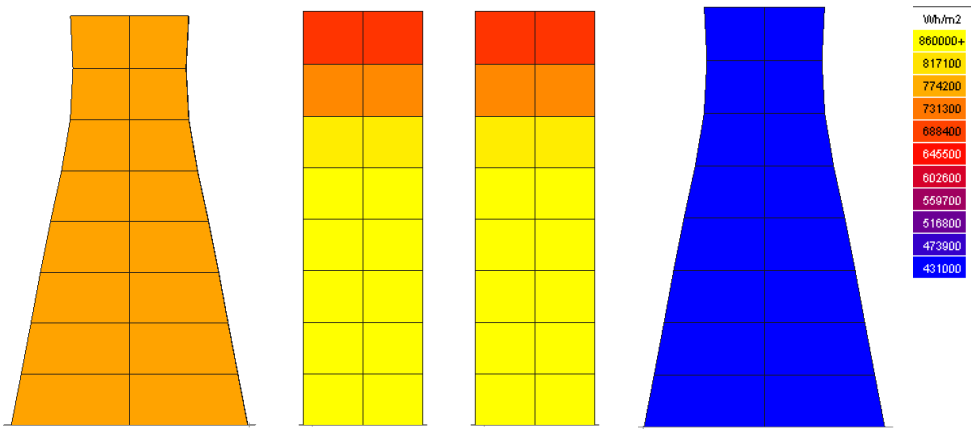
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.5b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	49%	0	77968	289657856
Feb	193958	49%	0	65167	242101040
Mar	186675	49%	0	64691	240331440
Apr	149291	48%	0	55418	205884800
May	116615	48%	0	45310	168329344
Jun	93206	48%	0	36782	136650032
Jul	97979	48%	0	38189	141875072
Aug	148497	48%	0	54796	203570784
Sep	96085	48%	0	40628	150938336
Oct	179179	48%	0	64282	238813616
Nov	200125	49%	0	70206	260823104
Dec	216384	49%	0	72032	267604256
TOTALS	1908995		0	685468	2546579456

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.5b



Planta baixa – Forma 2.5b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.5b

FORMA 2.5c

Variáveis:

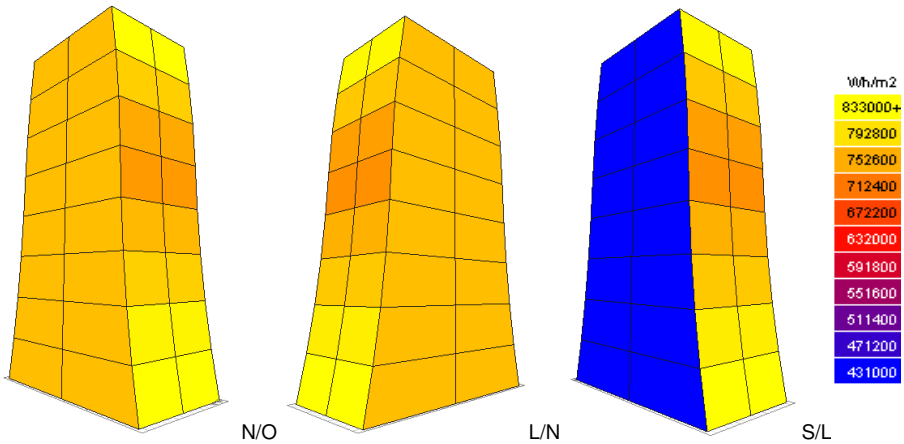
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 26m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 24m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 23m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 20m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4115,2 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.5c

- Radiação solar incidente anual = 670,2 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 386,1 MWh

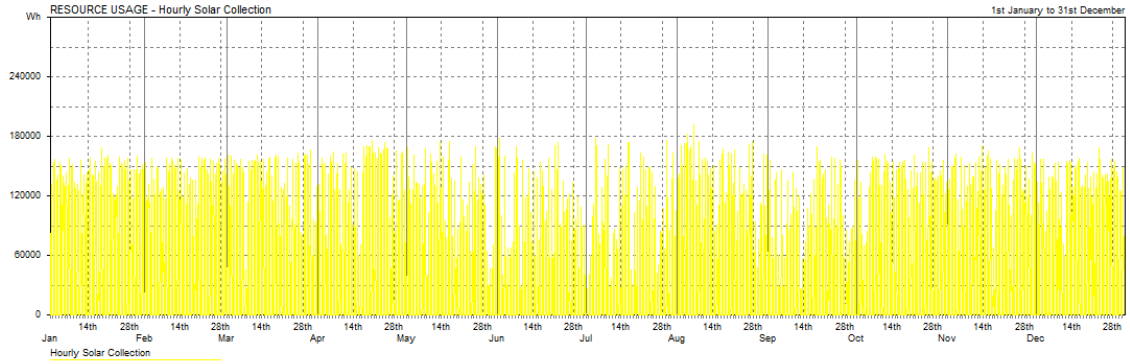


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.5c

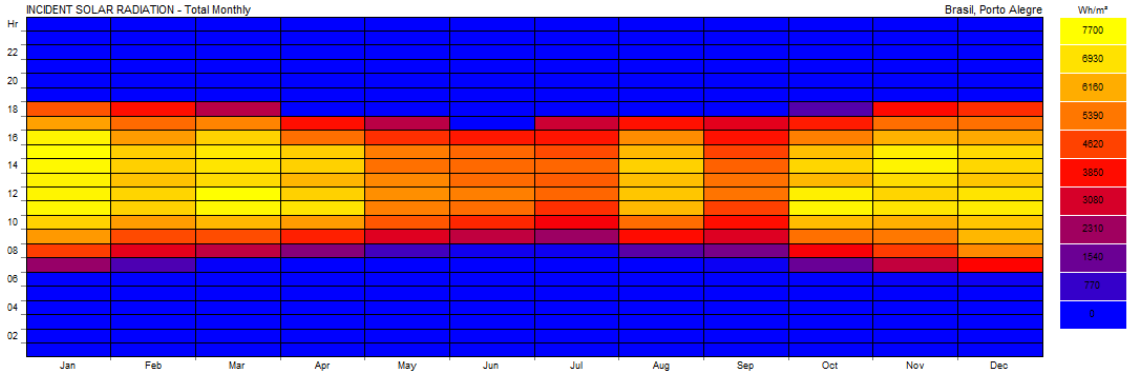
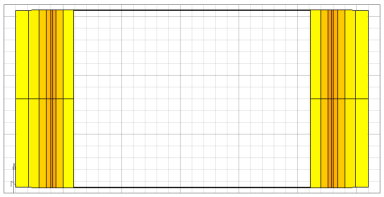


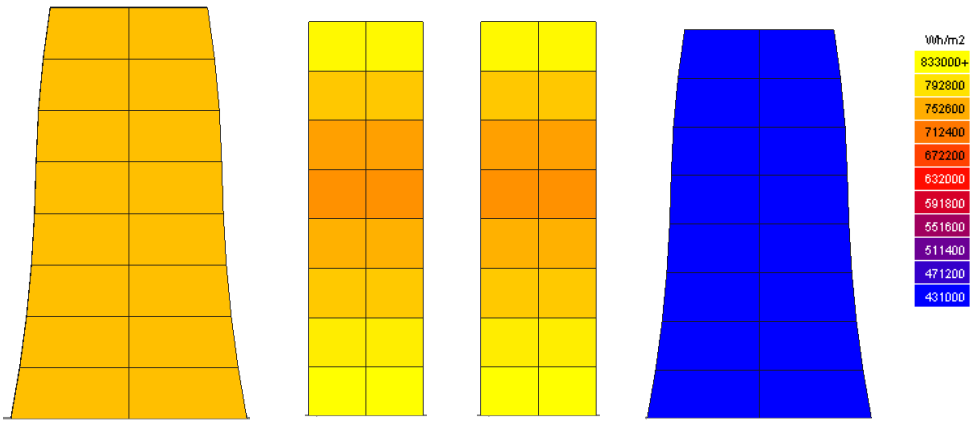
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.5c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	48%	0	76013	312811040
Feb	193958	48%	0	63517	261384608
Mar	186675	48%	0	63152	259885008
Apr	149291	47%	0	54289	223410400
May	116615	47%	0	44497	183115728
Jun	93206	47%	0	36151	148770784
Jul	97979	48%	0	37524	154420512
Aug	148497	48%	0	53734	221127680
Sep	96085	48%	0	39838	163941968
Oct	179179	49%	0	62788	258383936
Nov	200125	49%	0	68523	281988064
Dec	216384	49%	0	70189	288843872
TOTALS	1908995		0	670217	2758083584

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.5c



Planta baixa – Forma 2.5c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.5c

FORMA 2.5d

Variáveis:

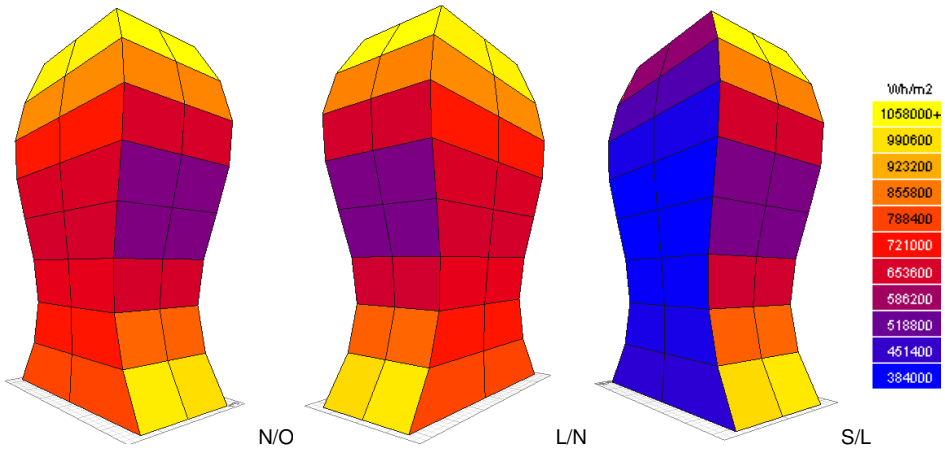
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 20m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 25m Curva1 Lb= 18m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 20m
  Curva5 La= 20m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4490.2 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.5d

- Radiação solar incidente anual = 665,1 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 418,1 MWh

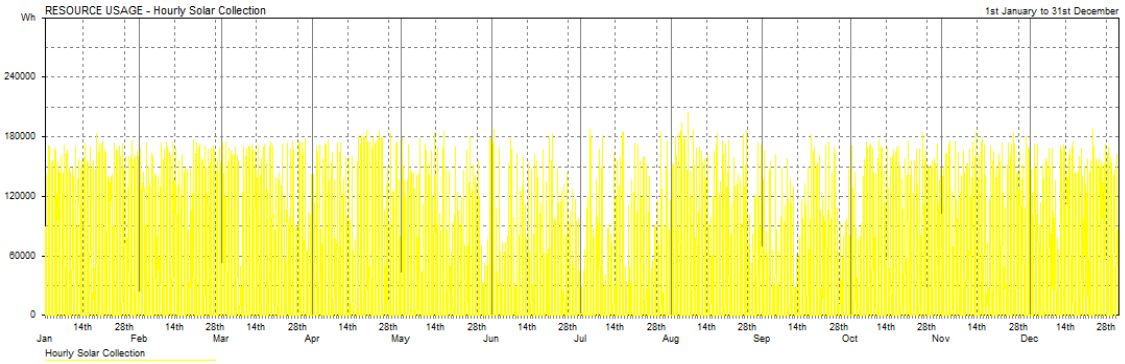


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.5d

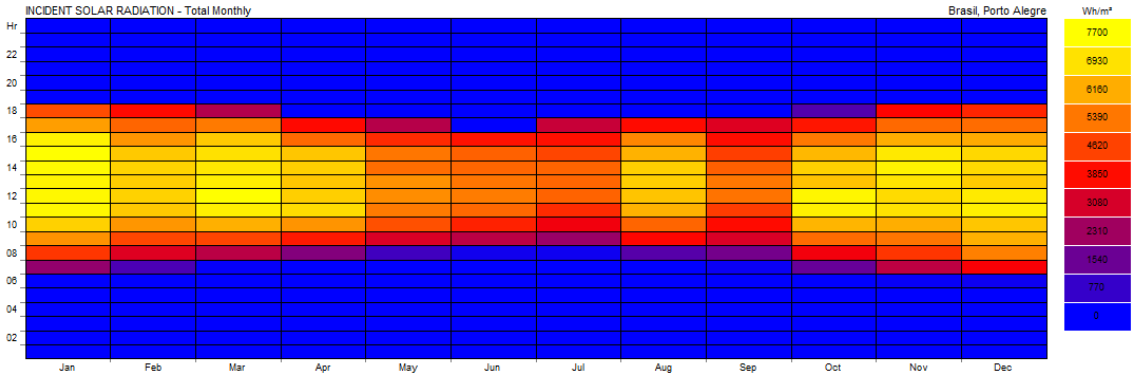
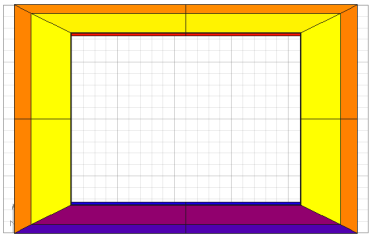


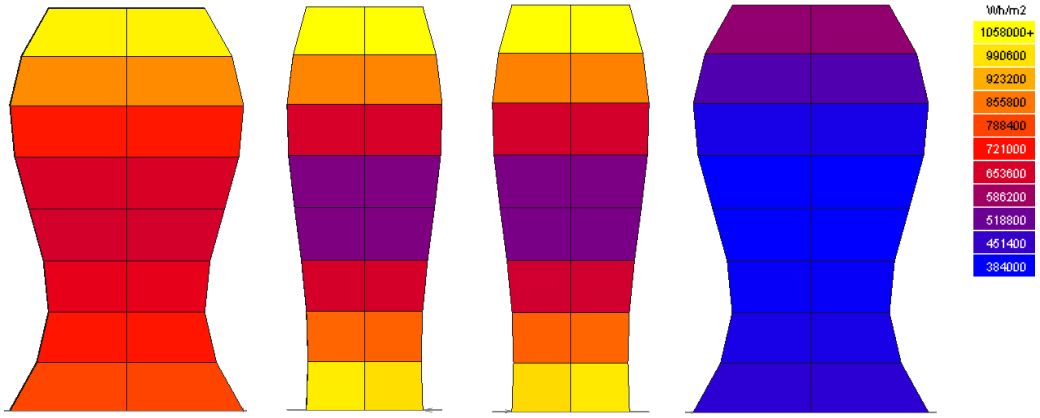
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – etapa 2.5d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	50%	0	75553	339245248
Feb	193958	49%	0	62948	282648192
Mar	186675	49%	0	62561	280908064
Apr	149291	49%	0	53820	241662480
May	116615	49%	0	44107	198048848
Jun	93206	49%	0	35848	160964832
Jul	97979	49%	0	37207	167067872
Aug	148497	49%	0	53280	239234880
Sep	96085	50%	0	39488	177308336
Oct	179179	49%	0	62284	279666272
Nov	200125	50%	0	68129	305911360
Dec	216384	52%	0	69918	313945152
TOTALS	1908995		0	665143	2986611200

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.5d



Planta baixa – Forma 2.5d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.5d

FORMA 2.5e

Variáveis:

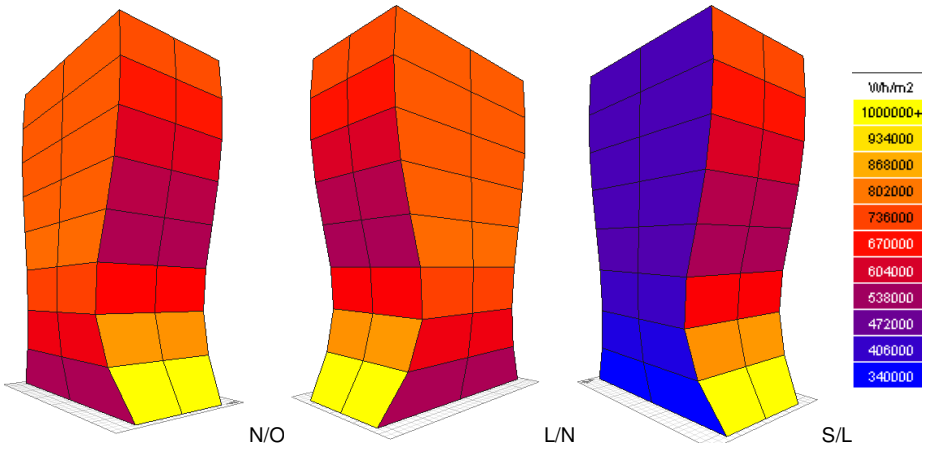
- Tapering (escala): 15m ≤ La ≤ 40m
  15m ≤ Lb ≤ 40m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 20m Curva1 Lb= 20m
  Curva3 La= 25m Curva1 Lb= 20m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 20m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 20m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4802.4 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.5e

- Radiação solar incidente anual = 617,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 415,3 MWh

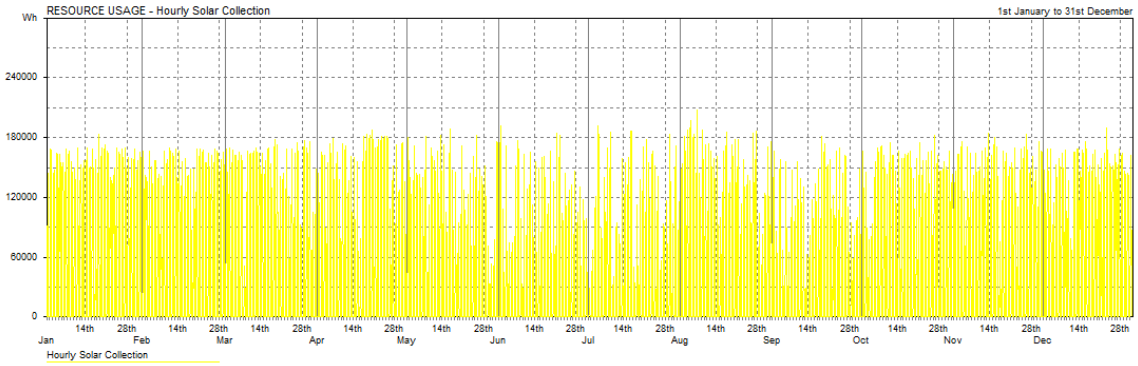


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.5e

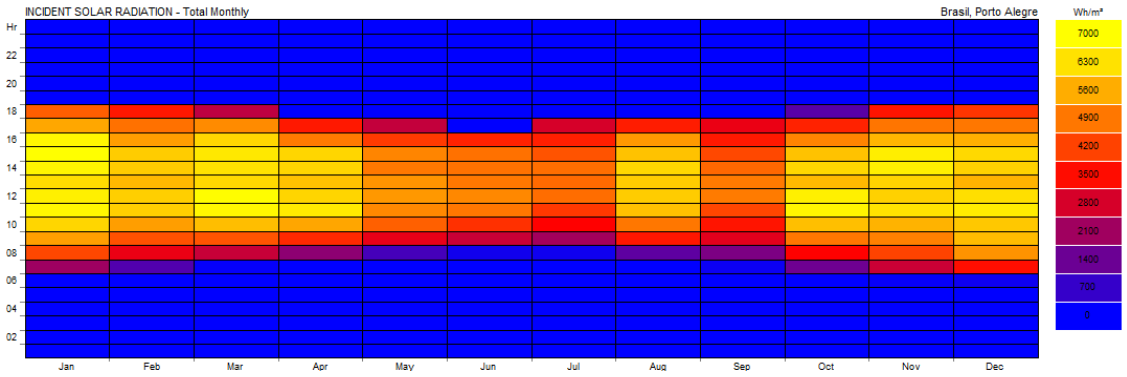
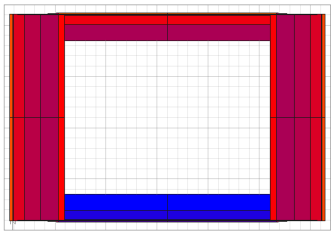


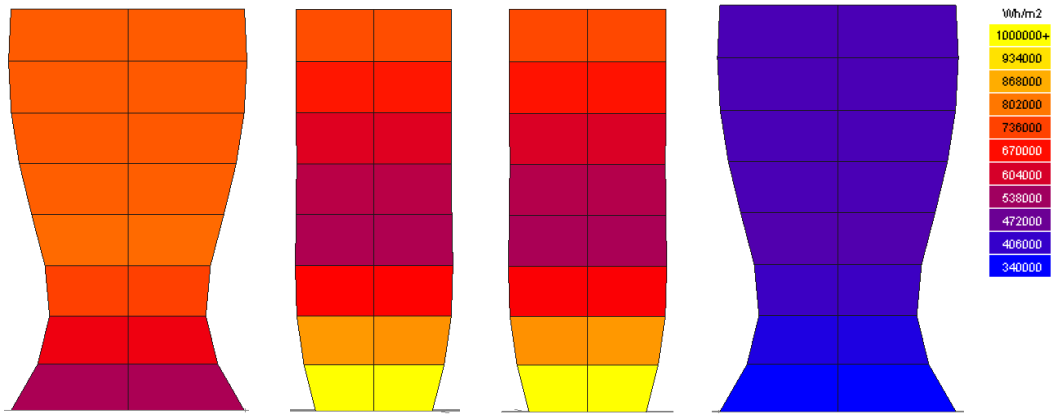
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – etapa 2.5e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	55%	0	69278	332700224
Feb	193958	53%	0	57821	277678688
Mar	186675	51%	0	57861	277869344
Apr	149291	51%	0	50421	242141712
May	116615	51%	0	41661	200070544
Jun	93206	51%	0	33922	162907584
Jul	97979	50%	0	35218	169130368
Aug	148497	51%	0	50092	240561168
Sep	96085	51%	0	37077	178056672
Oct	179179	53%	0	57565	276447904
Nov	200125	55%	0	62768	301437856
Dec	216384	56%	0	64042	307555232
TOTALS	1908995		0	617726	2966557440

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.5e



Planta baixa – Forma 2.5e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.5e

Etapa 6 – shear (translação)

FORMA 2.6a

Variáveis:

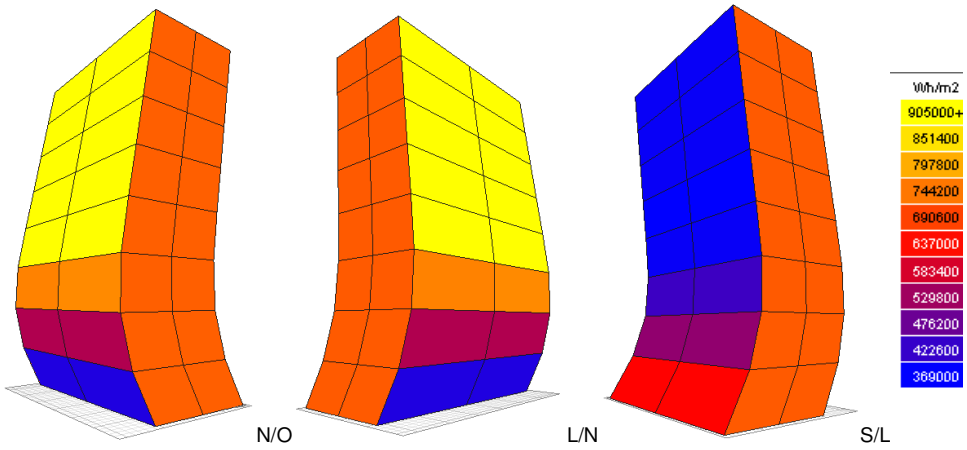
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 4; Curva4 e= 2; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4764.0 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 6a

- Radiação solar incidente anual = 642,2Wh/m²
- Produção anual de eletricidade= 428,3 Wh

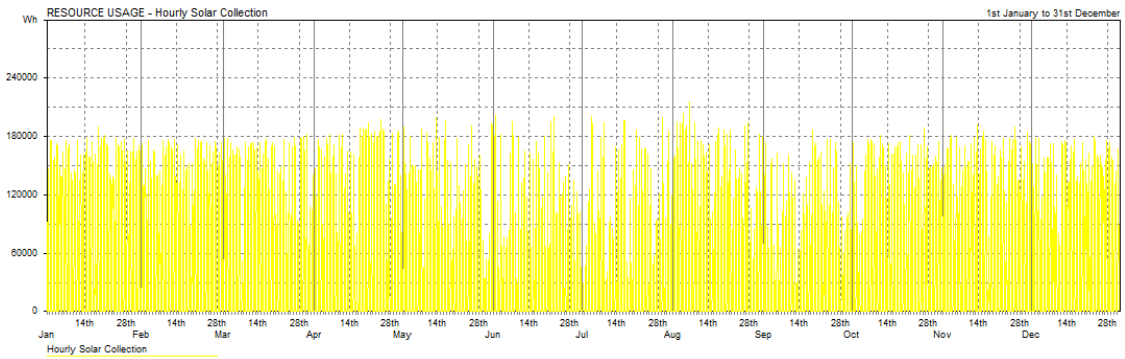


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.6a

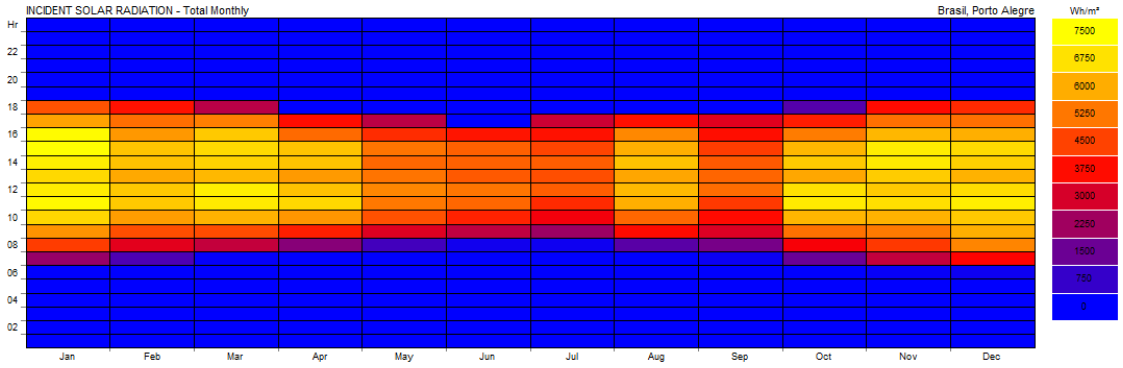
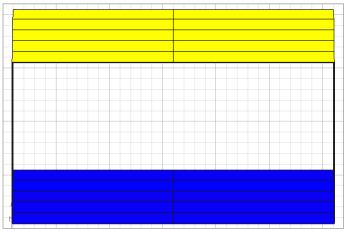


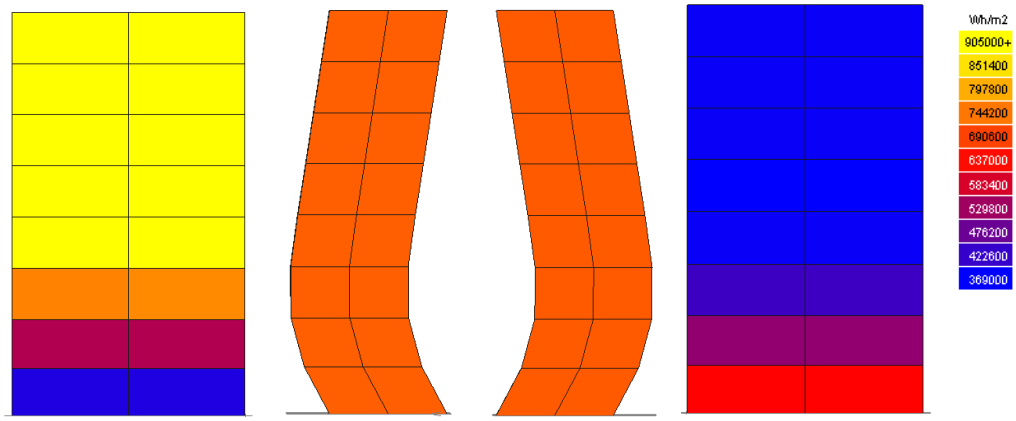
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.6a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	52%	0	73441	349876192
Feb	193958	52%	0	60915	290201664
Mar	186675	51%	0	59949	285600896
Apr	149291	50%	0	51556	245614656
May	116615	50%	0	42452	202242896
Jun	93206	50%	0	34507	164395296
Jul	97979	50%	0	35852	170801184
Aug	148497	50%	0	51112	243501680
Sep	96085	50%	0	38112	181568880
Oct	179179	51%	0	60186	286728448
Nov	200125	53%	0	66253	315631072
Dec	216384	52%	0	67815	323071584
TOTALS	1908995		0	642150	3059234560

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.6a



Planta baixa – Forma 2.6a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.6a

FORMA 2.6b

Variáveis:

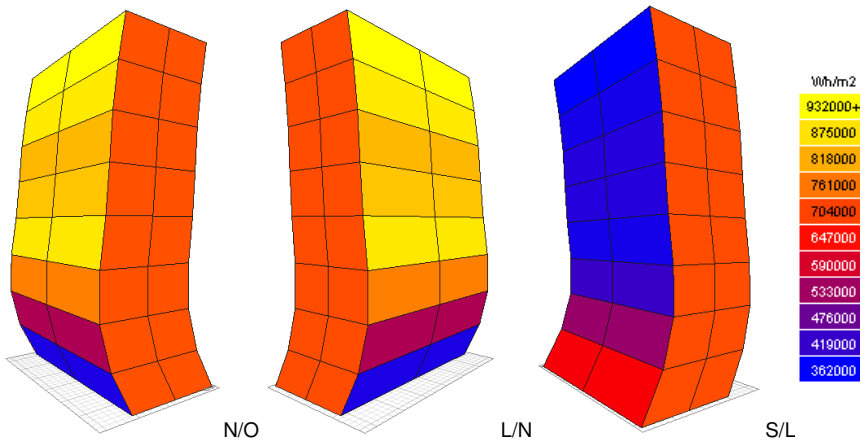
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 4; Curva4 e= 3; Curva5 e= 1
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4757.0 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.6b

- Radiação solar incidente anual = 639,6 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 426,0 MWh

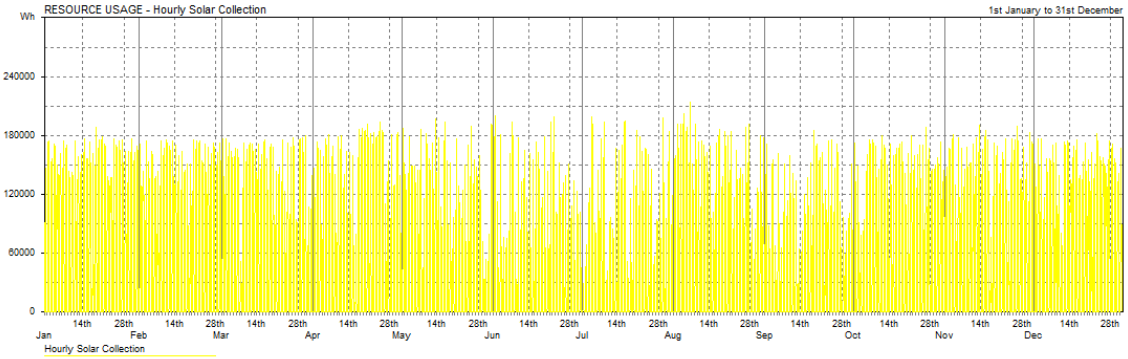


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.6b

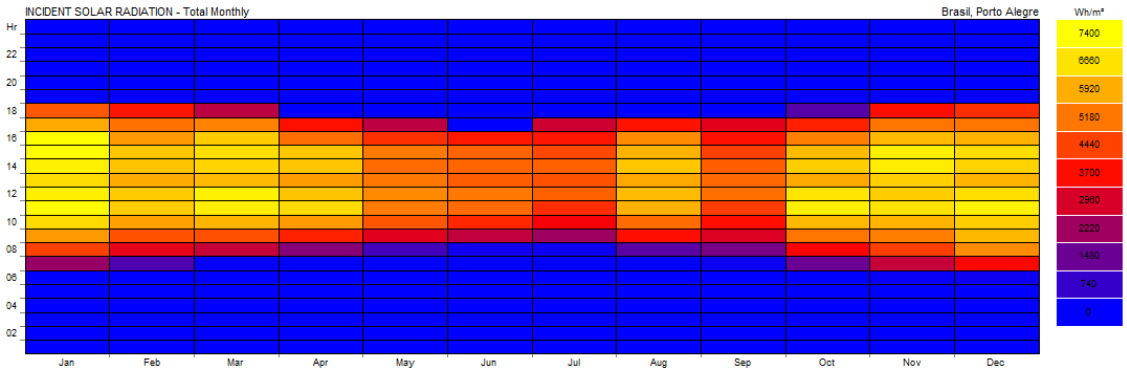
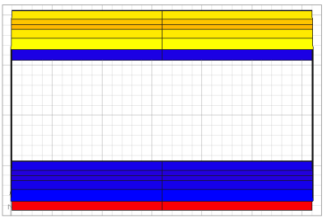


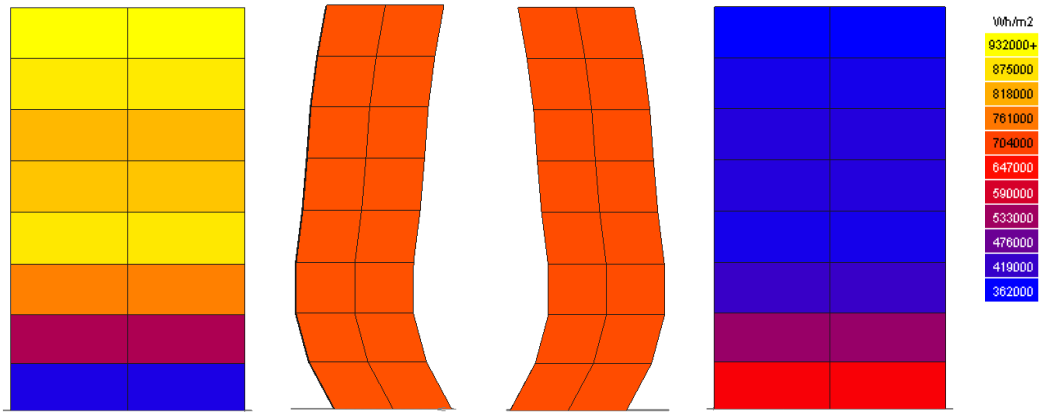
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.6b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	52%	0	73173	348084960
Feb	193958	52%	0	60571	288137728
Mar	186675	51%	0	59603	283532352
Apr	149291	50%	0	51309	244079344
May	116615	50%	0	42311	201275200
Jun	93206	50%	0	34419	163732128
Jul	97979	50%	0	35748	170054528
Aug	148497	50%	0	50886	242066640
Sep	96085	50%	0	38003	180782464
Oct	179179	52%	0	59907	284981280
Nov	200125	52%	0	65990	313916992
Dec	216384	52%	0	67638	321757952
TOTALS	1908995		0	639558	3042401280

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.6b



Planta baixa – Forma 2.6b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.6b

FORMA 2.6c

Variáveis:

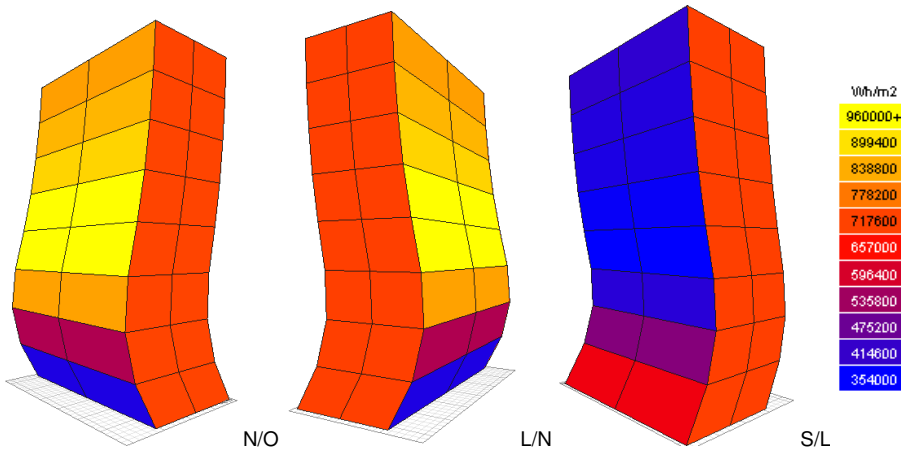
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 3; Curva4 e= 1; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4766.6 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.6c

- Radiação solar incidente anual = 641,6 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 428,2 MWh

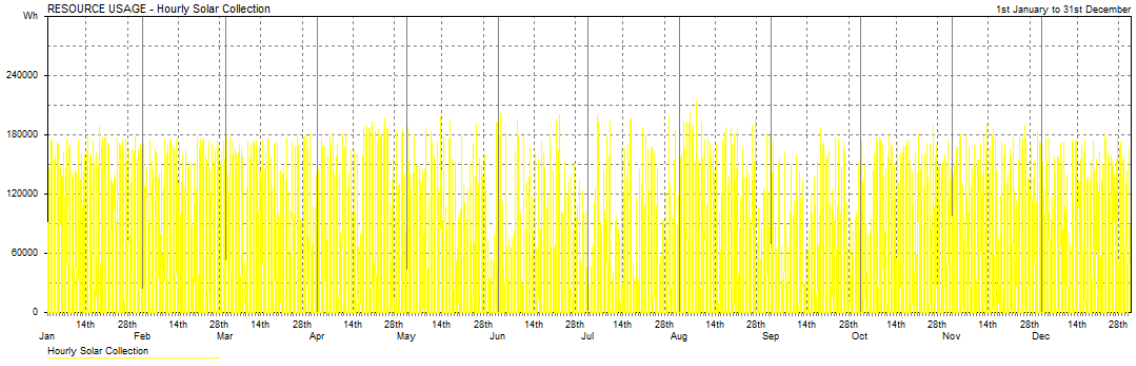


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.6c

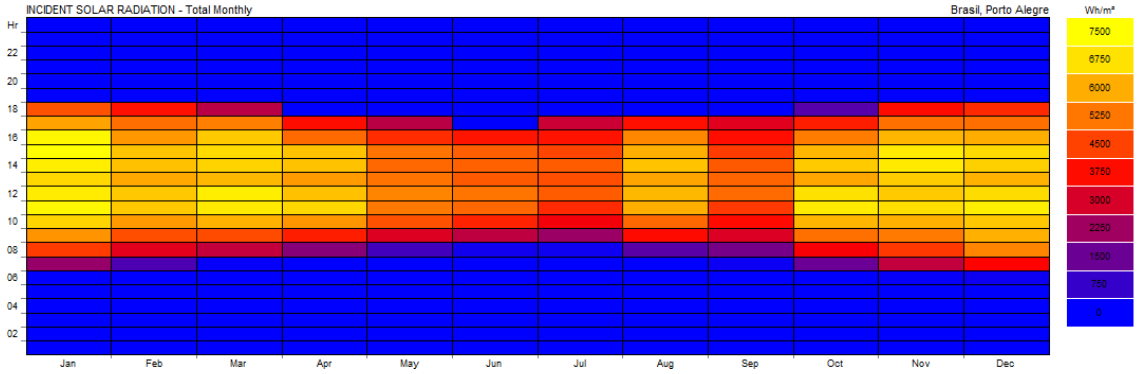
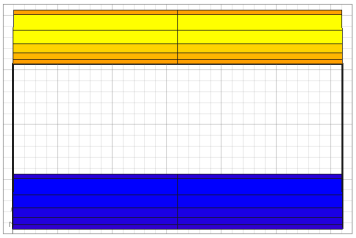


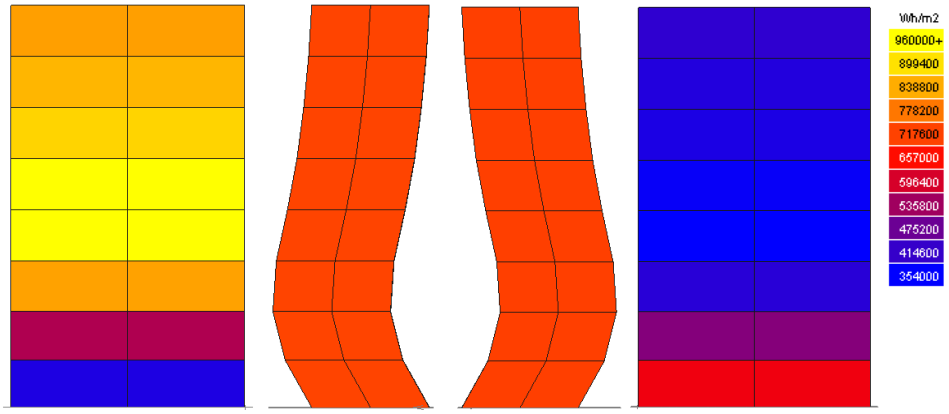
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.6c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	52%	0	73319	349486784
Feb	193958	52%	0	60852	290056960
Mar	186675	51%	0	59939	285709600
Apr	149291	50%	0	51508	245519920
May	116615	50%	0	42409	202145904
Jun	93206	50%	0	34468	164297536
Jul	97979	50%	0	35816	170721712
Aug	148497	50%	0	51072	243441904
Sep	96085	50%	0	38069	181461936
Oct	179179	52%	0	60171	286811712
Nov	200125	52%	0	66192	315514432
Dec	216384	52%	0	67788	323122176
TOTALS	1908995		0	641604	3058290432

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.6c



Planta baixa – Forma 2.6c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.6c

FORMA 2.6d

Variáveis:

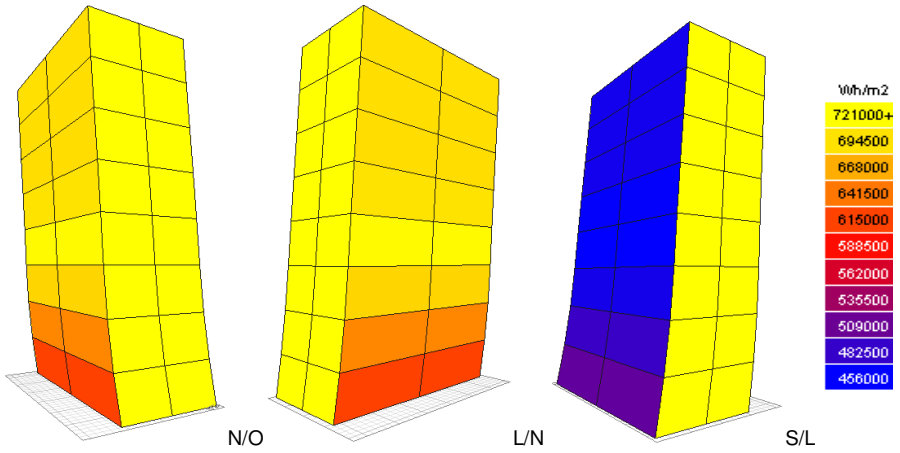
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:2

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 2; Curva3 e= 3; Curva4 e= 4; Curva5 e= 5
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4696,3 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.6d

- Radiação solar incidente anual = 627,5 Wh/m²
- Produção anual de eletricidade= 412,6 Wh

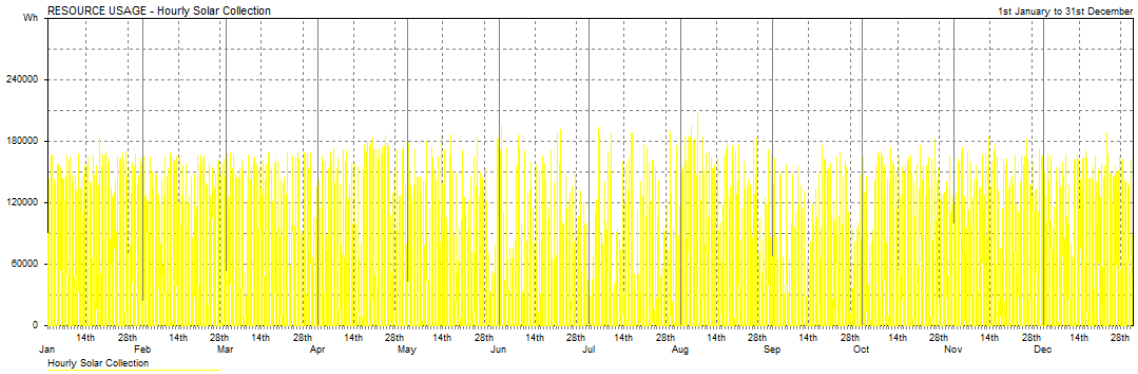


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.6d

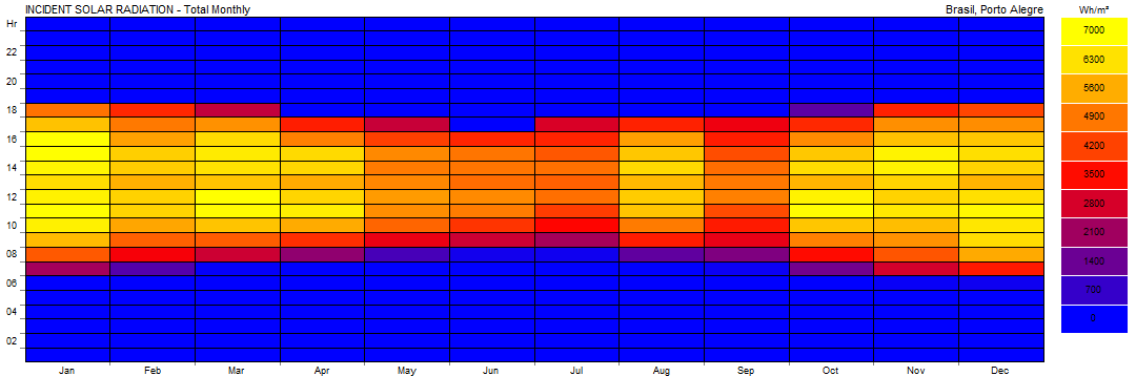
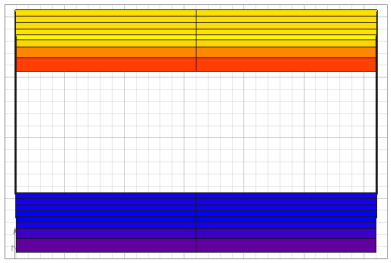


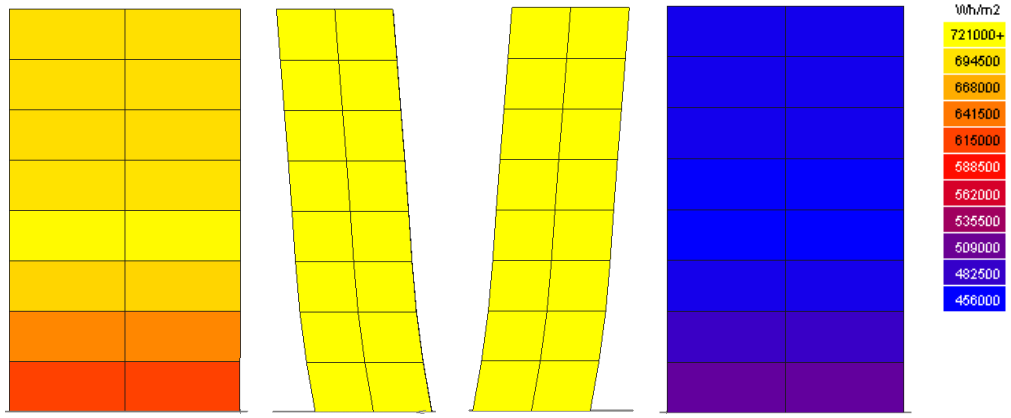
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.6d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	50%	0	71485	335717088
Feb	193958	49%	0	58709	275714976
Mar	186675	49%	0	58146	273069280
Apr	149291	50%	0	50569	237488160
May	116615	50%	0	41902	196782800
Jun	93206	50%	0	34148	160368928
Jul	97979	50%	0	35442	166444048
Aug	148497	50%	0	50206	235784432
Sep	96085	50%	0	37695	177024912
Oct	179179	49%	0	58416	274340320
Nov	200125	50%	0	64374	302321728
Dec	216384	50%	0	66365	311671456
TOTALS	1908995		0	627457	2946727936

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.6d



Planta baixa – Forma 2.6d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.6d

FORMA 2.6e

Variáveis:

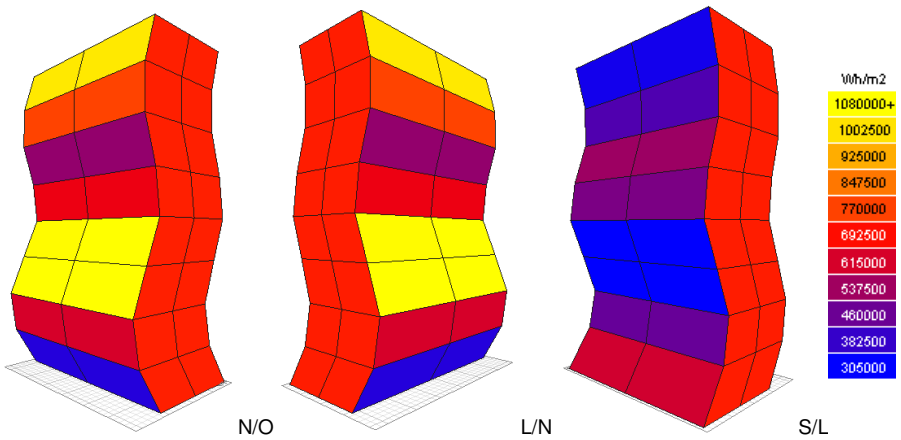
- Shear (translação): 0m ≤ e ≤ 5m

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 5; Curva3 e= 0; Curva4 e= 3; Curva5 e= 1
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 0°; Curva3 a= 0°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 0°

Resultados:

- Área: 4845,9 m² e 64 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.6e

- Radiação solar incidente anual = 636,5 Wh/m²
- Produção anual de eletricidade= 246,6 Wh

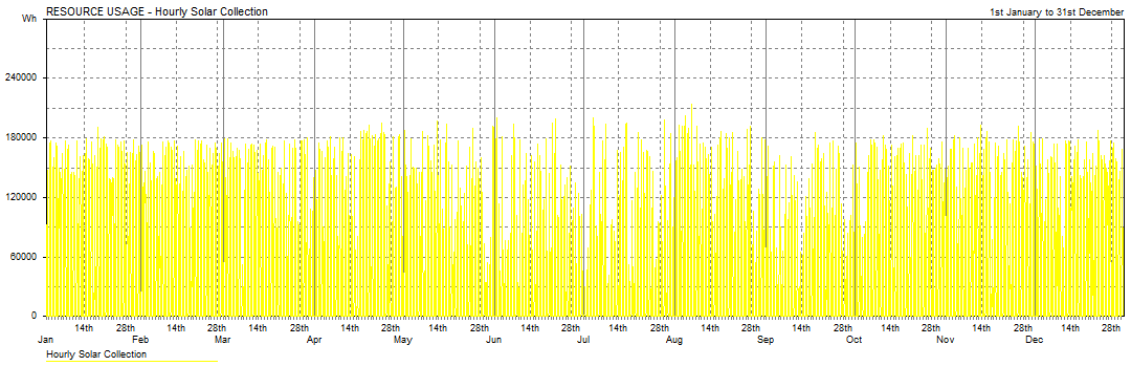


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.6e

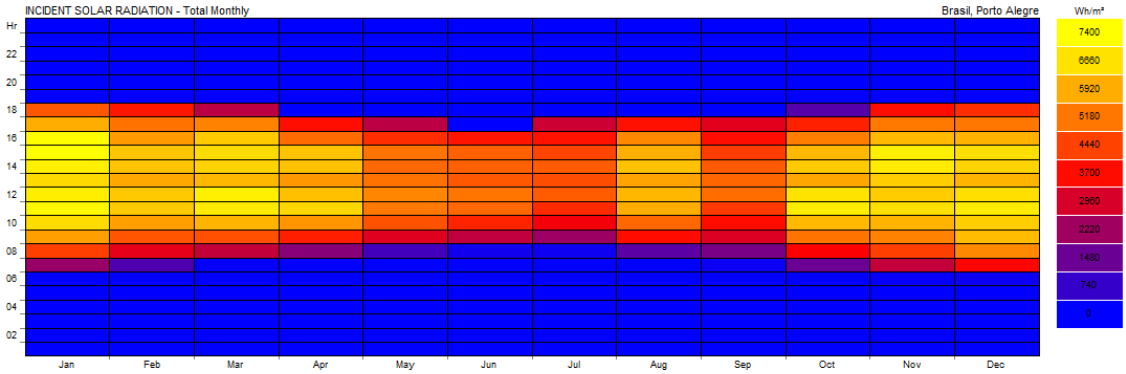
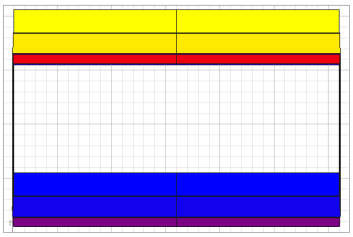


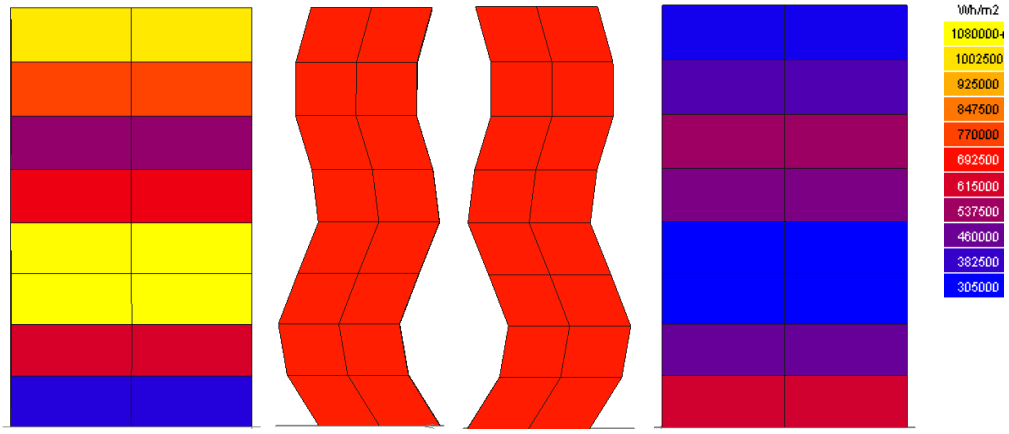
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.6e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	57%	0	73080	354134912
Feb	193958	54%	0	60526	293299904
Mar	186675	51%	0	59345	287577056
Apr	149291	50%	0	50849	246406880
May	116615	50%	0	41888	202982160
Jun	93206	50%	0	34054	165021504
Jul	97979	50%	0	35372	171407312
Aug	148497	50%	0	50385	244157872
Sep	96085	51%	0	37744	182900944
Oct	179179	53%	0	59784	289705440
Nov	200125	56%	0	65919	319435520
Dec	216384	57%	0	67595	327557376
TOTALS	1908995		0	636542	3084586752

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.6e



Planta baixa – Forma 2.6e



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.6e

Etapa 7 – twisting (rotação)

FORMA 2.7a

Variáveis:

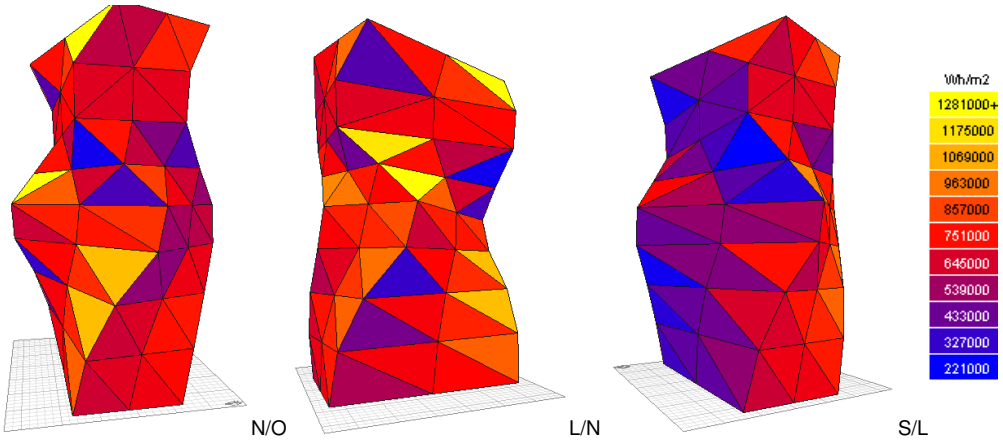
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 15°; Curva3 a= 45°; Curva4 a= 0°; Curva5 a= 20°

Resultados:

- Área: 4869.4 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.7a

- Radiação solar incidente anual = 628,8 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 428,7 MWh

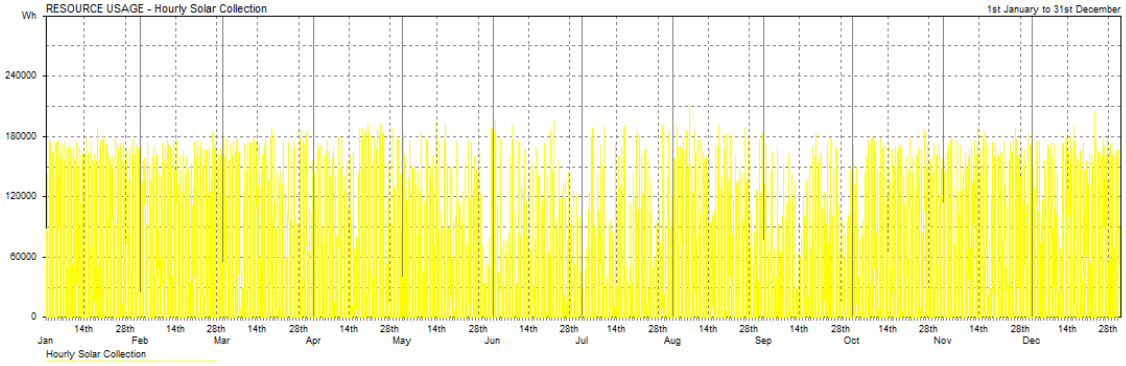


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.7a

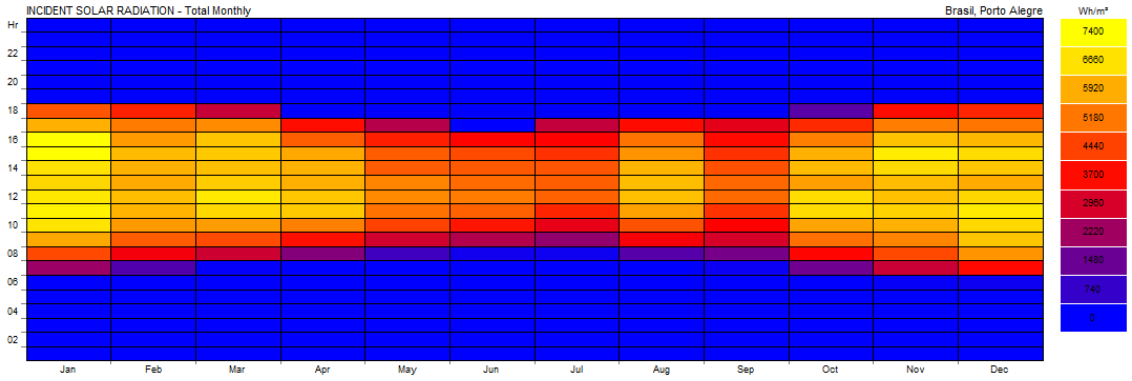
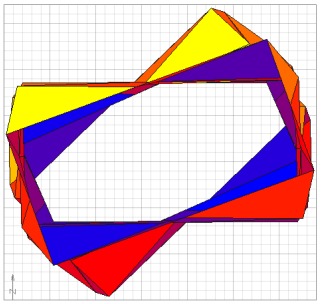


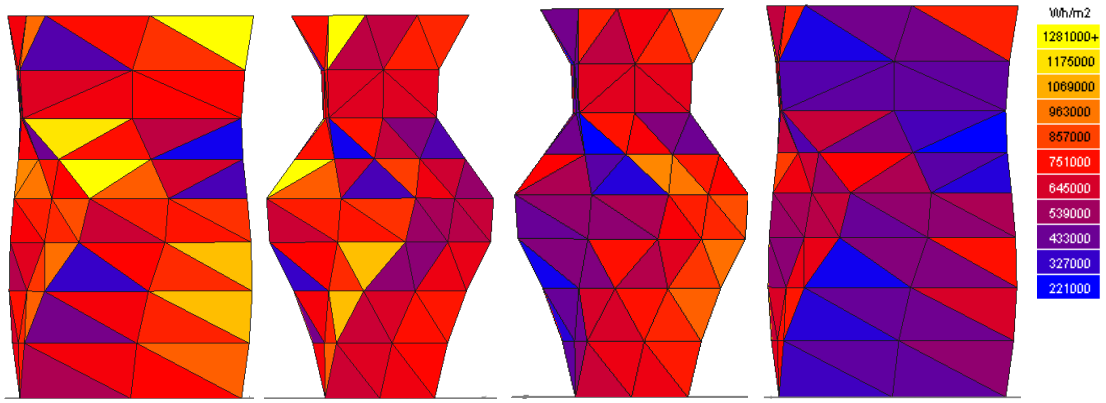
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.7a

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	58%	0	73149	356192384
Feb	193958	57%	0	60183	293052576
Mar	186675	54%	0	58762	286135392
Apr	149291	53%	0	49704	242027136
May	116615	52%	0	40854	198933328
Jun	93206	51%	0	33306	162178384
Jul	97979	51%	0	34568	168326432
Aug	148497	52%	0	49133	239249072
Sep	96085	53%	0	37100	180656128
Oct	179179	56%	0	59019	287385216
Nov	200125	58%	0	65390	318410336
Dec	216384	58%	0	67600	329170880
TOTALS	1908995		0	628769	3061717248

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.7a



Planta baixa – Forma 2.7a



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.7a

FORMA 2.7b

Variáveis:

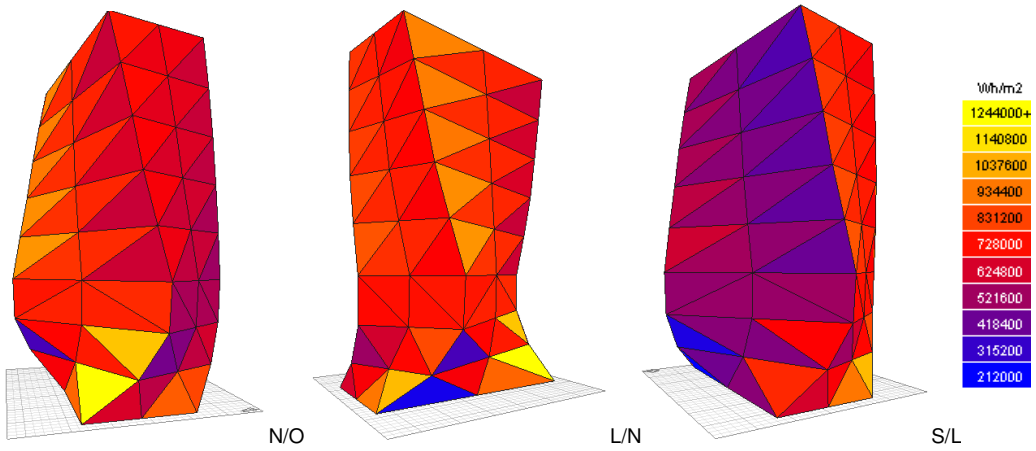
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 40°; Curva3 a= 30°; Curva4 a= 20°; Curva5 a= 10°

Resultados:

- Área: 4781,1 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.7b

- Radiação solar incidente anual = 638,5 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 427,4 MWh

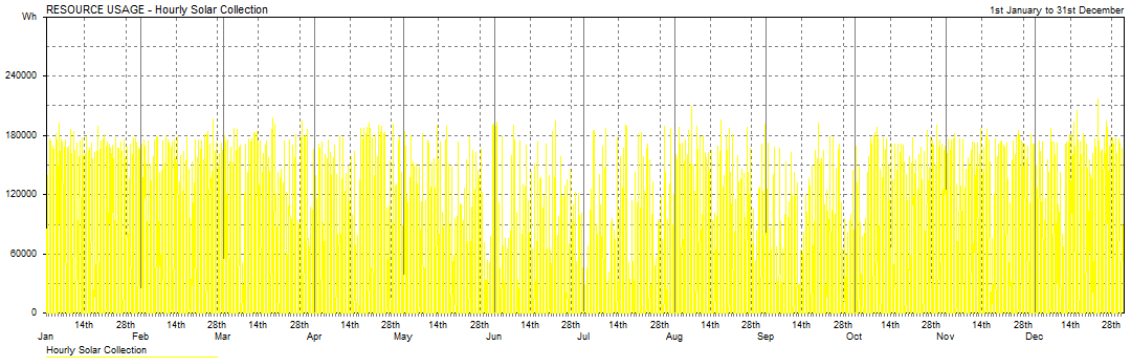


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.7b

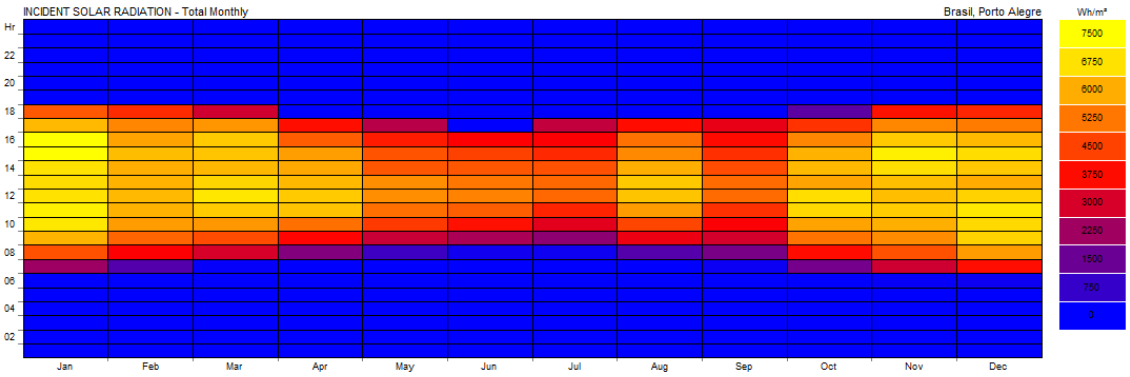
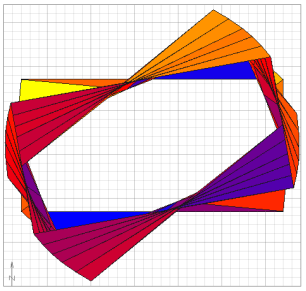


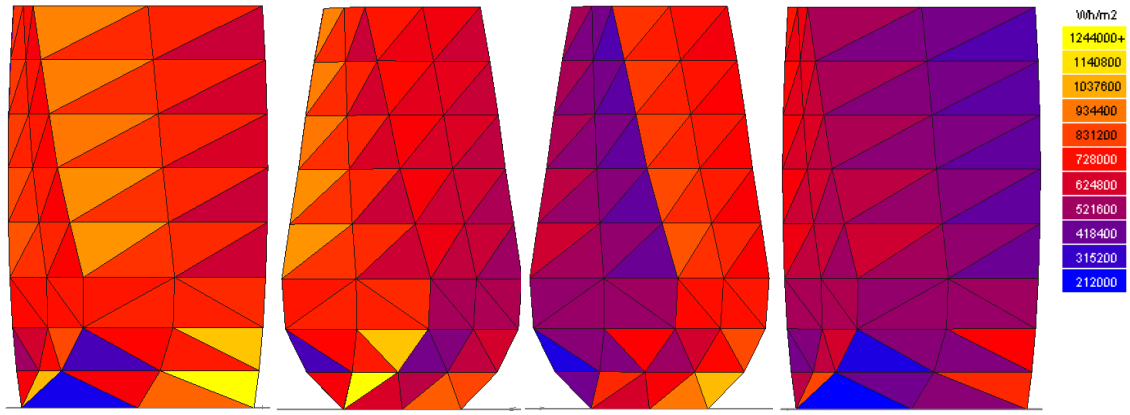
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.7b

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	53%	0	74756	357416480
Feb	193958	54%	0	61715	295063168
Mar	186675	53%	0	59707	285462496
Apr	149291	52%	0	49842	238301056
May	116615	50%	0	41089	196448032
Jun	93206	50%	0	33540	160355616
Jul	97979	50%	0	34834	166544768
Aug	148497	51%	0	49318	235794992
Sep	96085	53%	0	37514	179359072
Oct	179179	53%	0	60379	288676000
Nov	200125	54%	0	66841	319571392
Dec	216384	54%	0	68961	329708416
TOTALS	1908995		0	638496	3052701440

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.7b



Planta baixa – Forma 2.7b



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.7b

FORMA 2.7c

Variáveis:

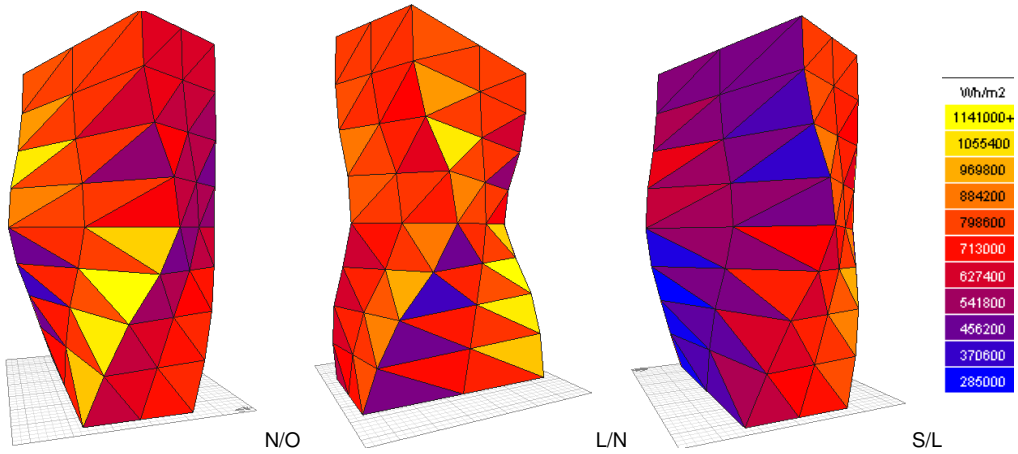
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 20°; Curva3 a= 45°; Curva4 a= 30°; Curva5 a= 25°

Resultados:

- Área: 4777.3 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.7c

- Radiação solar incidente anual = 640,7 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 428,5 MWh

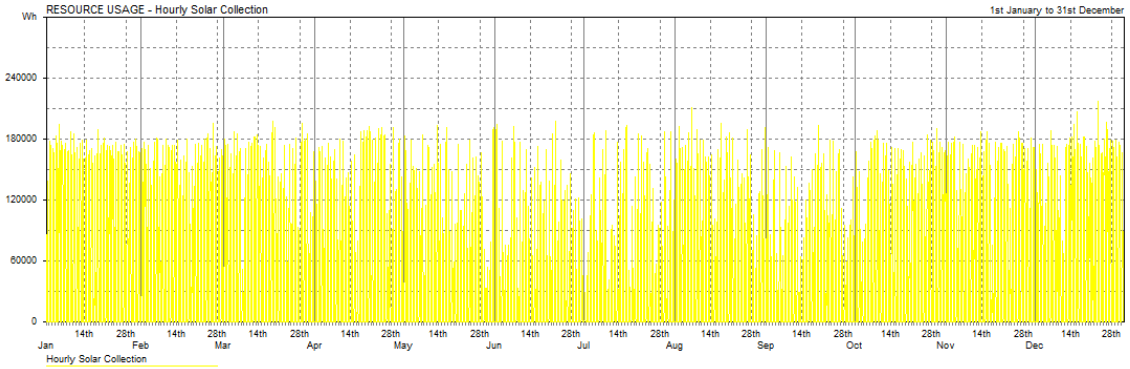


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.7c

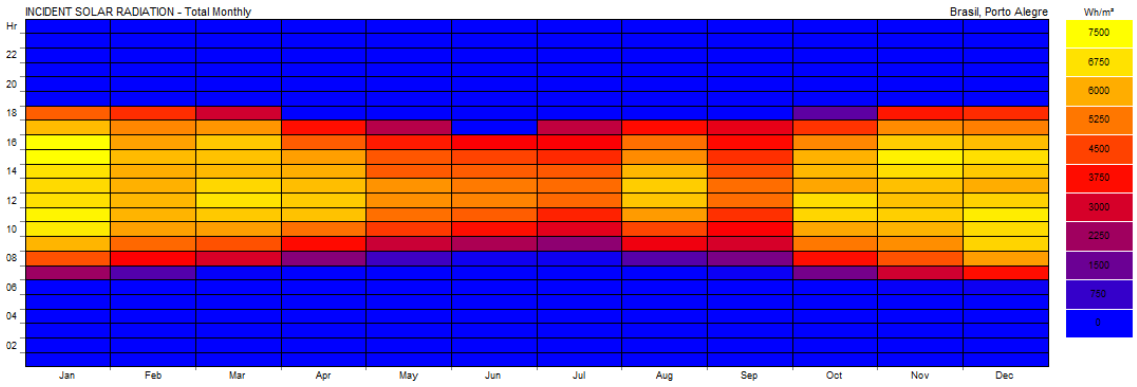
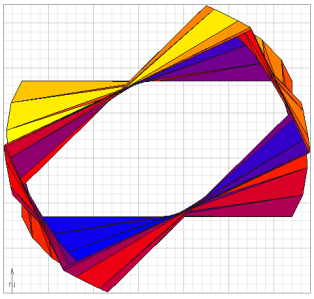


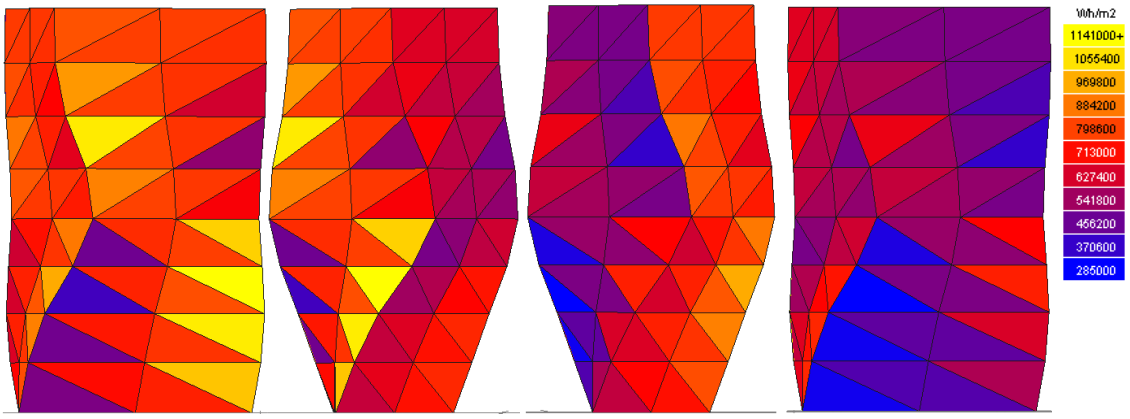
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.7c

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	55%	0	74983	358220832
Feb	193958	54%	0	61815	295312512
Mar	186675	53%	0	59810	285735328
Apr	149291	51%	0	50056	239133264
May	116615	51%	0	41235	196996096
Jun	93206	50%	0	33694	160966256
Jul	97979	51%	0	34976	167092816
Aug	148497	51%	0	49524	236595344
Sep	96085	52%	0	37670	179962720
Oct	179179	54%	0	60519	289122144
Nov	200125	54%	0	67192	321001056
Dec	216384	54%	0	69285	330998976
TOTALS	1908995		0	640761	3061137152

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.7c



Planta baixa – Forma 2.7c



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.7c

FORMA 2.7d

Variáveis:

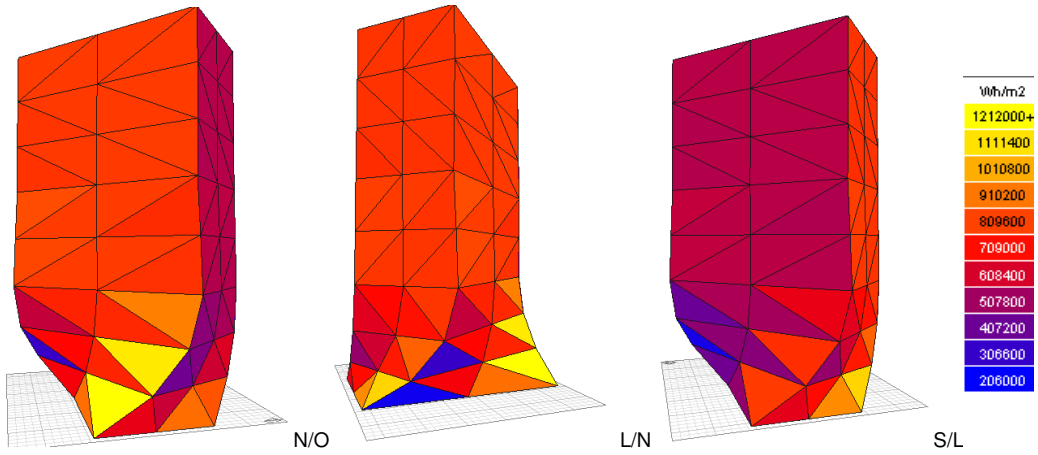
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 45°; Curva2 a= 45°; Curva3 a= 45°; Curva4 a= 45°; Curva5 a= 45°

Resultados:

- Área: 4771.5 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.7d

- Radiação solar incidente anual = 640,2 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 427,7 MWh

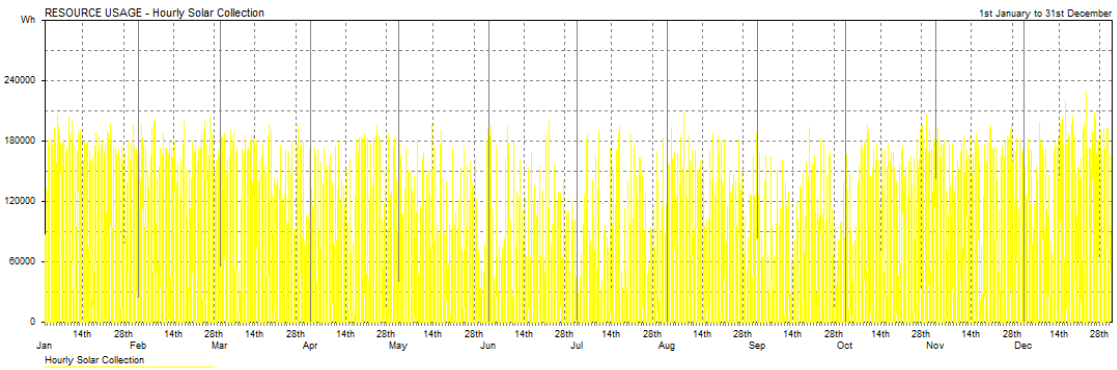


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.7d

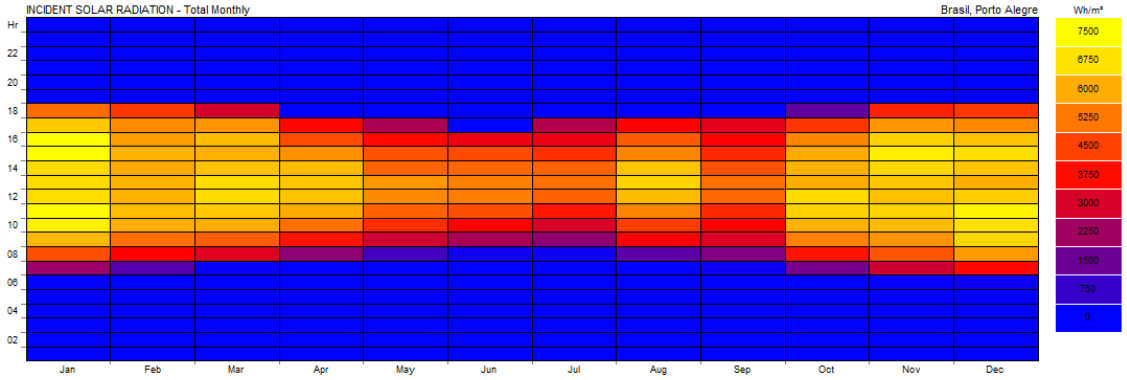
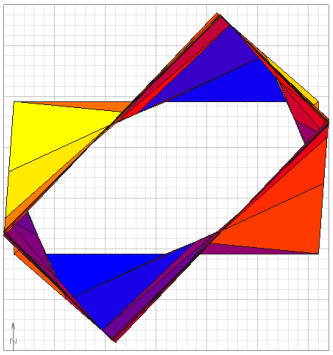


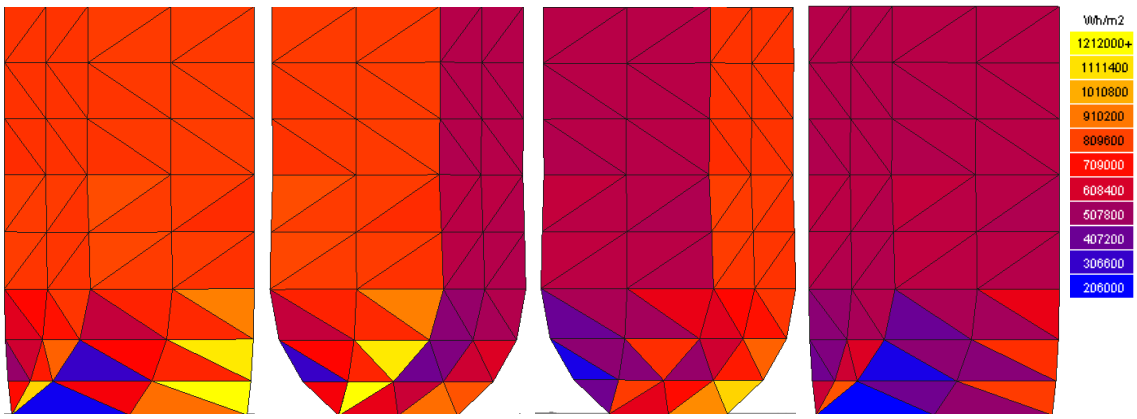
Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.7d

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	53%	0	75494	360221056
Feb	193958	53%	0	62298	297254144
Mar	186675	53%	0	59867	285654624
Apr	149291	52%	0	49575	236546720
May	116615	51%	0	40652	193973184
Jun	93206	50%	0	33241	158610960
Jul	97979	50%	0	34463	164442160
Aug	148497	51%	0	48872	233191440
Sep	96085	53%	0	37485	178861968
Oct	179179	53%	0	60856	290372864
Nov	200125	53%	0	67736	323203648
Dec	216384	53%	0	69658	332372224
TOTALS	1908995		0	640197	3054705152

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.7d



Planta baixa – Forma 2.7d



Fachada norte/ Fachada leste/ Fachada oeste/ Fachada Sul – Forma 2.7d

FORMA 2.7e

Variáveis:

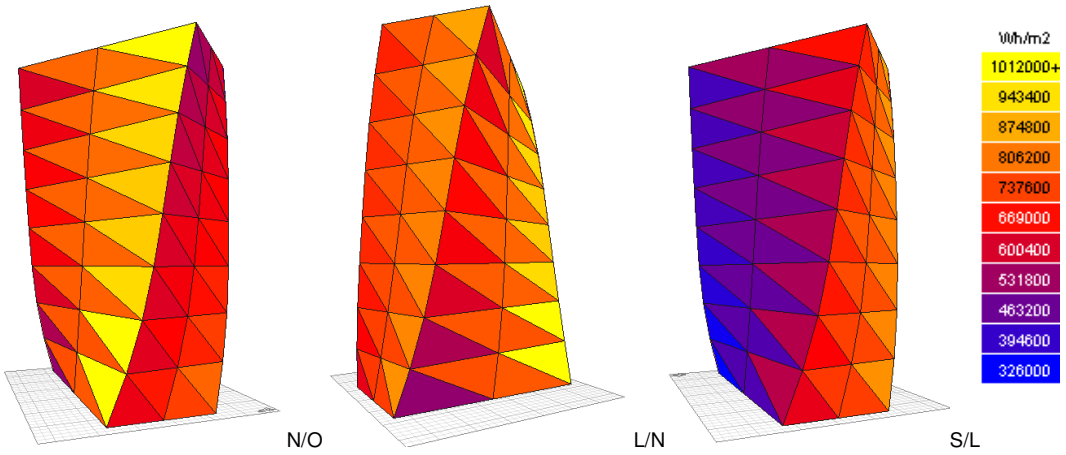
- Twisting (rotação): 0° ≤ a ≤ 45°

Regras:

- Shear: Curva1 e= 0; Curva2 e= 0; Curva3 e= 0; Curva4 e= 0; Curva5 e= 0
- Tapering: Curva1 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva2 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva3 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva4 La= 30m Curva1 Lb= 15m
  Curva5 La= 30m Curva1 Lb= 15m
- Twisting: Curva1 a= 0°; Curva2 a= 15°; Curva3 a= 24°; Curva4 a= 32°; Curva5 a= 43°

Resultados:

- Área: 4718.0 m² e 128 planos



Simulação da incidência solar (Ecotect Analysis) – Forma 2.7e

- Radiação solar incidente anual = 643,0 kWh/m²
- Produção anual de eletricidade= 424,7 MWh

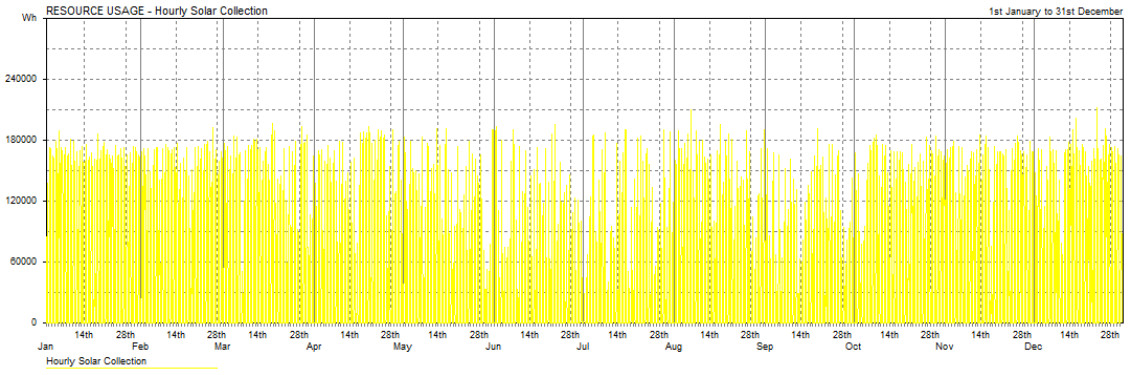


Gráfico de rendimento mensal do sistema fotovoltaico (Ecotect Analysis) – Forma 2.7e

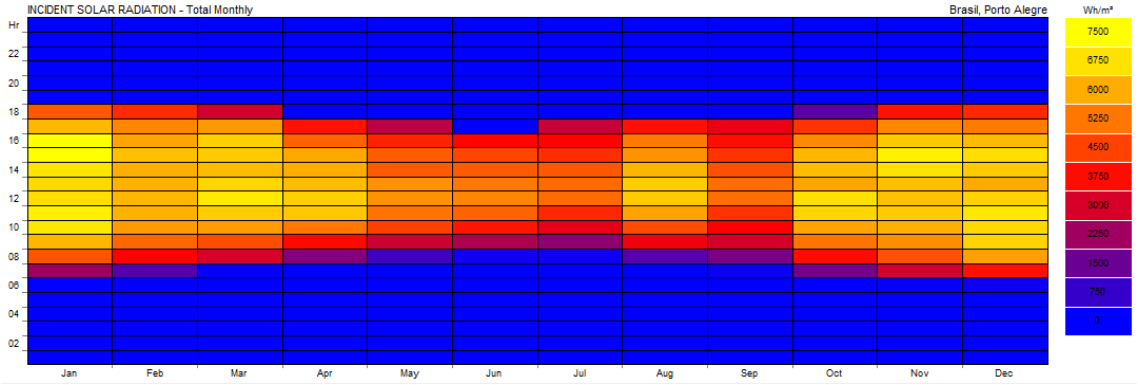
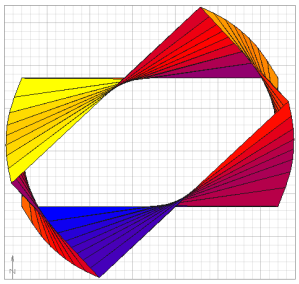


Gráfico de exposição solar mensal horária (Ecotect Analysis) – Forma 2.7e

MONTH	AVAIL. Wh/m2	AVG SHADE	REFLECT Wh/m2	INCIDENT Wh/m2	TOT.Wh
Jan	231001	53%	0	74800	352909344
Feb	193958	53%	0	61819	291664704
Mar	186675	52%	0	60088	283497344
Apr	149291	51%	0	50516	238334096
May	116615	50%	0	41703	196755280
Jun	93206	50%	0	34033	160568944
Jul	97979	50%	0	35367	166861008
Aug	148497	50%	0	50066	236214064
Sep	96085	51%	0	37874	178690288
Oct	179179	52%	0	60546	285658272
Nov	200125	54%	0	67032	316260448
Dec	216384	53%	0	69106	326045440
TOTALS	1908995		0	642950	3033458944

Exposição solar mensal e anual (Ecotect Analysis) – Forma 2.7e



Planta baixa – Forma 2.7e