

PROPAR/UFRGS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA

Arquitetura com madeira roliça:
Processo generativo de superfícies e articulações

Alessandra Teribele
Autora

Prof. Dr. Benamy Turkienicz
Orientador

Porto Alegre, novembro de 2011.

PROPAR/UFRGS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA

Arquitetura com madeira roliça:
Processo generativo de superfícies e articulações

Alessandra Teribele
Autora

Dissertação apresentada ao programa de 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, novembro de 2011.

CIP - Catalogação na Publicação

Teribele, Alessandra
Arquitetura com madeira roliça: processo
generativo de superfícies e articulações / Alessandra
Teribele. -- 2011.
128 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. Conexões. 2. Processos generativos . 3.
Tipologias de junções. 4. Superfícies regradas. 5.
Madeira roliça. I. Turkienicz, Benamy, orient. II.
Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos meus familiares, especialmente ao meu filho Murilo, minha mãe Madalena, meus irmãos Rodrigo e Diogo, meus tios Miriam e Ildo, e minha prima Gianina.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador Benamy Turkienicz, pelo seu apoio e dedicação como docente e por mostrar-me uma nova realidade arquitetônica;

A Rosirene Mayer pela sua generosidade em partilhar seu conhecimento e pelo seu apoio desde o primeiro encontro;

A Virginia Vannini por seu companheirismo e amizade sincera além dos longos debates no percurso do mestrado;

Aos demais colegas do Simmlab que muito contribuíram através do apoio e produtivas discussões: Ana, Andrea, Cristina, Patrícia e Cristian;

Aos bolsistas de iniciação científica do Simmlab, principalmente ao Mario, Pablo e Priscila;

Aos Prof.s. de Matemática Jaime Ripoll; Maria Alice Gravina, Vilmar Trevisan e M^o Bernadete Barison;

À Prof.a. Branca Freitas de Oliveira e ao bolsista Gabriel Birck pelo auxílio nas análises estruturais;

Ao Propar, em especial a coordenadora Cláudia Cabral e a Rosita Borges dos Santos;

Aos profissionais que me auxiliaram fornecendo os seus projetos e conhecimento a respeito da madeira roliça: Prof. Everaldo Pletz, Prof.a. Akemi Ino, Prof. Júlio Cruz, Arquiteta Léa Japur; Arquiteto Roberto Lecomte de Mello; Eng. Allan Dias; Eng. Leandro Dussarrat Brito e ao Eng. Alberto Fridman.

Ao LaMen, principalmente ao amigo Bragatto,

Ao Simmlab e a Capes.

RESUMO

A madeira de reflorestamento, em sua forma natural e roliça, apresenta-se como material eficiente para uso em edificações devido a suas propriedades físico-mecânicas e versatilidade funcional. Entretanto, a geometria cilíndrica e secções desiguais dificultam ligações entre os elementos roliços, exigindo cortes angulados e falquejamento das peças. Arranjos ou combinações entre peças envolvem tipos específicos de articulação ou conexão, vinculando o tipo de união à posição que as peças assumem no espaço tridimensional. Dado não existir conhecimento estruturado que permita antecipar as ligações apropriadas para cada arranjo ou combinação de peças, sugere-se a possibilidade de vincular a escolha de conexões com a composição arquitetônica, através de conexões genéricas. Este trabalho utilizou o paradigma da gramática de formas para, através de regras de geração, criar alternativas compositivas a partir de dois princípios conectivos: extremidade com extremidade e; extremidade com meio de peça. A vinculação entre os princípios de articulação e tipos de junções permitiu a formulação de modelos genéricos de peças de articulação, que minimizam a necessidade de cortes angulados nas peças roliças. Essas conexões genéricas podem adaptar-se à angulação do roliço permitindo que o mesmo seja cortado sem perda de material.

Palavras-Chave: processos generativos; gramática de formas; conexão; articulação.

ABSTRACT

Reforestation wood, in its natural and round shape, emerges as an effective material for use in buildings, due to its physical and mechanical features and functional versatility. However, its cylindrical geometry and unequal sections difficult connections between the round elements, demanding angle cuts and rough-hewing of the pieces. Arrangements or combinations among pieces involve specific types of joints or connections, relating the type of union to the position that the pieces have in the three-dimensional space. Since there is no structured knowledge that allows anticipating the appropriate connections for each arrangement or combination of pieces, the possibility of linking the choice of connections to the architectural composition, through generic connections, is suggested. This paper uses the shape grammars paradigm in order to create compositional alternatives to the types of joints, through generation rules. These data provide parameters to define two connective principles: top to top, and top to middle of the piece (cross section). From these principles, it is possible to model alternatives of articulations and to compare different options. The link between the principles of articulation and types of joints enabled the formulation of models of linkage pieces, which minimize the need for angle cuts in the round pieces. These generic connections can adapt to the angle of the round log, allowing it to be cut without loss of material.

Keywords - Generative process, shape grammar, connection, joints

LISTA DAS FIGURAS

Fig. 1. Park Hotel. Arquiteto Lucio Costa. Fonte: Wisnik (2001)	16
Fig. 2. Residência com sistema <i>log home</i> , produzida pela empresa Casabella. Fonte: Casabella. Disponível em http://www.casabella.etc.br/	17
Fig. 3. Sistema estrutural com madeira roliça de diâmetro pequeno. Estudos realizados na Finlândia. Fonte: RANTA-MAUNUS,1999.	17
Fig. 4. Estrutura em madeira roliça a partir da combinação de poliedros. Feilden Clegg Bradley Architects. Doncaster, UK. Fonte: Carpenter Oak & Woodland Limited.	17
Fig. 5. Cobertura de edifício experimental. LaMEM – EESC – USP, 2005. Fonte: Imagem cedida ao autor pelo Lamem.	18
Fig. 6. Cobertura para estacionamento. Recanto Park Hotel. Foz do Iguaçu-PR. Foto do autor.	18
Fig. 7. Vista interna de residência com vedação em madeira roliça. Petrópolis-RJ. Arquiteto James Lawrence Vianna. Fonte: Serapião, 2008.....	19
Fig. 8. Vista de fechamento parcial em madeira roliça. Fórum das Américas em Foz do Iguaçu-PR. Arquiteto Domingos Bongestabs. Fonte: Acervo do Autor (2008).....	19
Fig. 9. Fachada de Hotel com madeira roliça. Recanto Park Hotel, Foz do Iguaçu-PR. Fonte: Acervo do Autor (2008)	19
Fig. 10. Universidade Livre do Meio Ambiente. Curitiba-PR. Arquiteto Domingos Bongestabs. Fonte: SEGAWA, 1993.	20
Fig. 11. Três níveis de estratégias compositivas. Desenho esquemático. Autor.	21
Fig. 14. Desenho esquemático das possibilidades compositivas no nível bidimensional. Fonte: Autor.....	22
Fig. 15. Desenho esquemático das possibilidades compositivas no nível tridimensional. Fonte: Autor.	22
Fig. 16. Esquema de processo de composição tridimensional. Montagem do autor a partir de fotos do Gabinete do Governador_PR. Fonte: ProjetoDesign, nº196, maio 1996.....	23
Fig. 17. Esquema das variações com positivas do processo 01. Fonte: Autor... 23	
Fig. 18. Esquema de processo de composição tridimensional. Montagem do autor a partir de fotos de cobertura do edifício experimental na USP/SC. Fotos cedidas ao autor pelo LaMem.....	24
Fig. 19. Esquema das variações com positivas do processo 02. Fonte: Autor... 24	
Fig. 20. Esquema de processo de composição tridimensional. Montagem do autor a partir de imagens de projeto <i>CICAT centre</i> . Fonte: Ranta-Maunus, 1999.....	24
Fig. 21. Exemplo de madeira roliça com chapa metálica interna e amarração com arame para dificultar rachaduras na peça. Fonte: Huybers, 1991 apud Brito, 2010.....	26
Fig. 22. Processo desenvolvido para fixação do arame. Huybers, 1991 apud Brito, 2010.....	27

Fig. 23. Desenho demonstrando a área de desbaste para chapa metálica com $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ de altura do diâmetro. Fonte: Autor.	27
Fig. 24. Exemplo de conexão com duplicação de peças e dowel-nut.	28
Fig. 25. Exemplo de conexão e relação com resultado formal.	29
Fig. 26. Exemplo de conexão e relação com resultado formal.	30
Fig. 27. Quadro com soluções de conexão de acordo posição de encontro das peças. Fonte: Autor.	31
Fig. 28. Quadro demonstrando a posição das peças de acordo a posição de seus eixos longitudinais e a relação de contato entre as peças. Fonte: Autor baseado em A e B–RANTA-MAUNUS (1999) C- ABDALLA (2002); D – HOLZ(1995); E-HERBERT(1983 apud INO, 1992); F-HOLZ(1995).	31
Fig. 29. Classificação das conexões de acordo a relação de contato entre as peças roliças: com ponto de contato ou sem ponto de contato. Fonte: autor a partir de referências indicadas no apêndice E.	32
Fig. 30. Elementos para definição de linguagem de <i>design</i> . Fonte: Stiny (1980)	34
Fig. 31. Diferentes maneiras de transformar a gramática de formas. Fonte: KNIGHT, 1994.	36
Fig. 32. Quadro indicando materiais e métodos em cada etapa da metodologia. Fonte: Autor.	38
Fig. 33. Esquema ilustrando as etapas da metodologia. Fonte: Autor.	41
Fig. 34 Superfície formada por diretrizes que partem do mesmo plano horizontal. Fonte: Autor.	42
Fig. 35 – Quadro indicativo da 1º fase de geração: padrões. Padrões em perspectiva, vista superior e vista frontal. Fonte: Autor.	43
Fig. 36. Ângulos e vãos padrões usados para a geração de superfícies. Fonte: Autor.	44
Fig. 37. Detalhes dos padrões. Fonte: Autor.	45
Fig. 38. Quadro indicativo da 2º fase de geração: combinações dos padrões. Fonte: autor.	47
Fig. 39. Maquete ilustrando a regra de translação a partir do padrão 01. Verifica-se que a mesma não permite continuidade da superfície, pois retas (diretrizes) são reversas.	47
Fig. 40. Maquete ilustrando a regra de rotação a partir do padrão 02.	48
Fig. 41. Planta baixa e perspectiva do padrão 01 e do padrão 02. As imagens de baixo são os resultados da parametrização do padrão 01 e do padrão 02, respectivamente, usados como novas formas na 3º fase de geração. Fonte: Autor.	49
Fig. 42. Quadro demonstrando ângulos dos padrões da 3º geração. Desenho do autor.	50
Fig. 43. Quadro da 3º fase de geração: parametrização de padrões e combinações. Fonte: Autor.	51
Fig. 44. Programação parcial de geração de superfície a partir de diretriz curva. Fonte: Autor.	53
Fig. 45 Vista superior e perspectiva da composição inicial com diretriz em linha reta. Vista superior e perspectiva da composição modificada a partir da	

alteração do princípio gerador, a diretriz, inicialmente em linha reta transformou-se em curva, reposicionando a forma. Fonte: Autor.....	53
Fig. 46. Figura indicando as possíveis variações das características dos pontos de junção. Fonte: Autor.	54
Fig. 47. As peças roliças podem assumir diversas inclinações no espaço tridimensional.....	55
Fig. 48. Imagem indicando a sequencia de geração de superfície e tipologias de junções. Fonte: Autor.	56
Fig. 49. Quadro com os tipos de junção existentes em cada solução arquitetônica gerada pelo sistema na segunda etapa de geração, considerando eixo das peças coincidentes. Fonte: autor.	57
Fig. 50. Quadro com os tipos de junção existentes em cada solução arquitetônica gerada pelo sistema na segunda etapa de geração, considerando eixo das peças <i>não</i> coincidentes. Fonte: autor.	57
Fig. 51. Quadro exemplificando a relação regras de geração e tipologia das junções para solução com eixo coincidente para 1° e 2° geração. Fonte: Autor.	58
Fig. 52. Quadro com as tipologias de junção encontradas nas superfícies geradas. Fonte: Autor.....	59
Fig. 53. Tipologias de junção da 1° e 2° geração utilizando chapa interna. Fonte: Autor.	60
Fig. 54. Desenho esquemático de tipologia de junção existente indicando junção com eixo coincidente que recebe outra peça tornando a junção com eixo não coincidente. Fonte: Autor.	61
Fig. 55. Parâmetros das junções identificados para a 1° e 2° geração com eixo coincidente. As flechas indicam os eixos longitudinais das peças de madeira. Fonte: Autor.	62
Fig. 56. Parâmetros das junções identificados para a 3° geração com eixo coincidente. As flechas indicam os eixos longitudinais das peças de madeira. Fonte: Autor.	63
Fig. 57. Desenho ilustrando a característica geométrica fundamental dos conectores: o 1° para situações de encontro extremidade com extremidade e o 2° para situações extremidade com meio de peça. Fonte: autor.....	64
Fig. 58. Quadro ilustrando regras de posição e quantidade de componentes para articulação. Fonte: autor.....	65
Fig. 59. Ilustração das limitações dimensionais para a regra de rotação no princípio EE. Fonte: Autor.	66
Fig. 60. Ilustração das limitações dimensionais para a regra de rotação no princípio EM. Fonte: Autor.	67
Fig. 61. Esfera virtual recortada por plano superior e mesma esfera refletida por plano x,y. Fonte: Autor.	68
Fig. 62. Ilustração dos vocabulários de acordo o componente da conexão genérica. Fonte: Autor.....	70
Fig. 63. Relação combinatória entre vocabulário dos componentes do princípio EE e princípio EM. Fonte: Autor.	70
Fig. 64. Exemplo das etapas para gerar conexão genérica. Fonte: Autor.	71

Fig. 65. Imagem da programação realizada no <i>grasshoper</i> para o princípio EE. Fonte: Autor	71
Fig. 66. Cálculo do raio da esfera em relação ao menor ângulo entre peças. Fonte: autor.	72
Fig. 67. Quadro com exemplos de articulações geradas a partir do princípio EE. Fonte: Autor.	73
Fig. 68. Representação em planta de componente 02 em forma de triângulo. Na 1º imagem com angulação nula e na 2º com 60º, máxima rotação necessária. Fonte: Autor.	74
Fig. 69. Ilustração com exemplos de conexão para princípio EM. Fonte: Autor.	75
Fig. 70. Imagem com exemplo de conexões propostas. Fonte: Autor	75
Fig. 71. Quadro com a descrição das conexões existentes. Referências das imagens encontram-se no apêndice H. Fonte: Autor.	76
Fig. 72. Elevações dos padrões. Fonte: autor.....	80
Fig. 73. Figura ilustrando o encontro da peça roliça com componente 02 inclinado, fato que permite o roliço ser cortado transversalmente, sem inclinações. Fonte: Autor.....	82
Fig. 74. Quadro indicando o tipo do componente 02 e sua relação com o corte na extremidade do roliço. Fonte: Autor	83
Fig. 75. Quadro com relação entre tipologias de junções com o tipo de corte necessário na extremidade do roliço de acordo a forma do componente 02. Fonte: Autor	84

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
1.1 A MADEIRA ROLIÇA NA ARQUITETURA	14
1.1.1 VERSATILIDADE FUNCIONAL.....	15
1.1.2 VERSATILIDADE COMPOSITIVA	20
1.1.3 CONEXÕES E COMPOSIÇÕES	25
1.2 PROCESSOS GENERATIVOS	33
1.2.1 GRAMÁTICA DE FORMAS	34
1.2.2 CONCEITOS GEOMÉTRICOS E GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES.....	37
2 MATERIAIS E MÉTODOS	38
2.1 GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES	39
2.2 RELAÇÃO SUPERFÍCIE-JUNÇÃO	39
2.3 CONEXÃO GENÉRICA	40
3 APLICAÇÃO DO MÉTODO	42
3.1 GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES	42
3.1.1 1º FASE DE GERAÇÃO	42
3.1.2 2º FASE DE GERAÇÃO	45
3.1.3 3º FASE DE GERAÇÃO	48
3.2 RELAÇÃO SUPERFÍCIE - JUNÇÃO	54
3.2.1 TIPOLOGIAS DE JUNÇÕES.....	54
3.2.2 REGRAS DE GERAÇÃO E GRUPOS DE JUNÇÃO	58
3.2.3 CONTATO ENTRE PEÇAS.....	60
3.3 CONEXÃO GENÉRICA	61
3.3.1 COMPONENTES DE CONEXÃO.....	62
3.3.2 REGRAS GENERATIVAS DE CONEXÃO	64
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	77
4.1 GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES	77
4.2 RELAÇÃO SUPERFÍCIE - JUNÇÕES	78
4.3 CONEXÃO GENÉRICA	81
5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	85
REFERENCIAS	88
APÊNDICES	93

INTRODUÇÃO

Apesar da eficiência que elementos cilíndricos de madeira apresentam quando aplicados em edificações, seu uso ainda é escasso. Ranta-Maunus (1999) ressalta que arquitetos, engenheiros e carpinteiros não estão familiarizados com esforços ou características das articulações necessárias a este material. Pesquisas com madeira roliça caracterizam-se pelo escasso conhecimento sobre soluções compositivas, espaciais e volumétricas. A maior parte da investigação até o presente refere-se à características estruturais, físicas e químicas do material. Zangiácomo (2007) estuda as propriedades de resistência e rigidez da elementos estruturais de madeira roliça; Wolfe e Moseley (2000) fazem ensaios para avaliação estrutural de peças roliças de madeira de pequeno diâmetro e Partel (1999) descreve obras com madeira roliça enfocando os sistemas estruturais utilizados. Faltam abordar os princípios combinatórios da madeira roliça e das características das conexões entre elementos em sistemas estruturais, considerando suas potencialidades e restrições. Tal abordagem passa pela descrição da geometria irregular do objeto e das características de interface com as articulações que possibilitam seu uso composto.

Oriundo do tronco da árvore, elementos roliços de madeira caracterizam-se pelo seu formato cônico e eixo longitudinal irregular, fatores que contribuem para a dificuldade de ligação entre si. Lusambo e Wills (2002) apontam que a seção transversal da peça necessita ser moldada para se obter superfície para junção. Em algumas composições, esta dificuldade aumenta visto a complexidade para obter-se a correta superfície de encaixe, devido às inclinações e angulações variadas entre os roliços. Soma-se o processo de execução das ligações ser realizado por métodos artesanais que apresentam baixa eficiência (PARTEL, 1999 e HERBERT, 1983 citado por INO, 1991). Por outro lado, é necessário explorar as ligações para obter formas mais complexas, pois devido à forma e tamanho da árvore, as dimensões do material são relativamente limitadas. (IBOIS).

Para gerar formas e espaços arquitetônicos é preciso criar estratégias combinatórias que considerem o tipo de união vinculada à posição que as peças roliças assumem no espaço tridimensional. Visando facilitar esse entendimento, esse trabalho indica que essas estratégias passam por três tipos de união: a) união das peças no

mesmo plano; b) conexões com eixos longitudinais não coincidentes e; c) ligações que permitem o encontro de vários elementos roliços em um único nó.

A relação de contato entre as peças pode ser assim dividida: a) não se tocar estando separadas pelo componente da articulação; ou ainda, b) apresentarem superfícies de contato, em maior ou menor grau, apoiado pelo recorte feito nas próprias peças. O grau de contato define como será o corte na extremidade dos roliços: perpendicular ao seu eixo longitudinal; ou moldado à outra peça, o que torna o processo mais dificultoso devido ao entalhe necessário.

Outra característica das junções dos roliços é definida pela parte da madeira que entrará em contato com a outra, pois é possível juntar extremidade com extremidade bem como extremidade com o meio da peça. Para cada situação de união, faz-se necessário um tipo específico de articulação e para cada solução formal poderão ser necessárias diferentes articulações simultaneamente. Devido a estas especificidades projetistas geralmente consideram as conexões individualmente, geralmente quando a composição arquitetônica já está finalizada.

Se os requisitos necessários para resolver cada junção pudessem ser gerados durante o processo compositivo, ou seja, se a composição e a especificação da junção pudessem ser geradas simultaneamente, seria possível a construção de um modelo conectivo genérico com flexibilidade suficiente para atender diferentes angulações e alternativas formais. Assim, um mesmo princípio de conexão seria capaz de atender várias tipologias de junções além de gerar alternativas através de modelagem paramétrica, “um instrumento associativo que interliga componentes por uma série de parâmetros ou regras” (HORTA, p.73, 2009), usando relações geométricas previamente definidas. O uso integrado das tecnologias CAD¹ (*Computer Aided Design* - Projeto Assistido por Computador) e CAM² (*Computer Aided Manufacturing* - Fabricação Assistida por Computador), num único sistema permitiria centralizar a execução de diversas atividades relacionadas ao processo produtivo a partir de uma base de dados comum permitindo a fabricação de peças diferentes entre si. Facilitaria a execução de obras com madeira roliça através da presença de articulações personalizadas para cada junção. Geram-se informações para a construção diretamente das informações do projeto. (KOLAREVIC, 2003).

¹ Softwares de apoio ao projeto que auxiliam a resolução dos problemas associados ao projeto.

² Refere-se a processos de fabricação controlados por computadores.

Este trabalho possui três objetivos principais. Primeiramente, demonstrar alternativas formais de superfícies com madeira roliça, geradas sobre o plano horizontal. Em seguida estruturar um sistema que possa antecipar, a partir de padrões de soluções espaciais, as características geométricas no ponto de encontro das peças. Por último, definir as conexões genéricas para as necessidades conectivas das superfícies geradas.

Baseado na gramática de formas (STINY E GIPS, 1972), um paradigma de geração que associa um vocabulário (componentes) a um conjunto de regras combinatórias (sintaxe), o sistema utilizado permite, através da aplicação de regras, gerar alternativas de superfícies e identificar, nas etapas de geração compositivas, as tipologias das junções. Essas tipologias fornecerão parâmetros que definem as características básicas para a conexão genérica, a partir da qual será possível modelar alternativas de conexão utilizando gramática de formas paramétricas, uma extensão da gramática de formas.

O texto divide-se em: 1) **Fundamentação teórica** descrevendo o material “madeira roliça” na arquitetura, o conceito de “Gramática de Formas” bem como os conceitos matemáticos de superfícies regradas e transformações euclidianas; 2) **Materiais e métodos** apresentam as três etapas para gerar as conexões adequadas as necessidades conectivas das superfícies geradas: a) geração de superfícies, b) relação de superfícies e junções, c) conexão genérica; 3) Na **Aplicação do método** é descrito detalhadamente o processo de geração de superfície; a vinculação de geração com tipologias de junção; e as regras de conexão genérica e modelagem da conexão; 4) **Análise dos resultados** da interface entre os processos de geração de superfícies, junções e conexões genéricas; 5) **Conclusões** e trabalhos futuros.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 A MADEIRA ROLIÇA NA ARQUITETURA

“Dentre os materiais de construção utilizados para estruturas e outros fins construtivos, [madeira] é o único renovável cujo impacto ambiental, conseqüentemente, é menor; cabendo ao homem o manejo das florestas nativas e plantadas para a provisão constante e abundante de matéria prima”. (VALLE, 2000).

O estudo da arquitetura com a utilização da madeira tem se intensificado, nos últimos anos através de pesquisas e vem sendo debatido no Brasil e exterior. A intensificação deve-se, em grande parte à idéia de que a madeira é um produto renovável, portanto na agenda do desenvolvimento econômico sustentável.

“Como um material de construção, a madeira é abundante, versátil e facilmente obtida. (...). Do ponto de vista econômico, a madeira é competitiva com outros materiais com base em custos iniciais, e apresenta vantagens quando se analisa economicamente em logo prazo”. (CALIL JUNIOR et al, p. 01, 2006). Sua produção necessita de baixa energia quando comparada a outros materiais como aço, vidro e cimento. “Portanto, sua utilização racional e sustentável justifica cada vez mais seu uso em edificações para fins tanto estruturais quanto decorativos”. (LELIS, 2001, p.03).

Entre os fatores ambientais que favorecem o uso da madeira pode-se citar: capacidade de controle sobre a cadeia produtiva; tratamento preservativo que não agrida o meio ambiente quando este se fizer necessário; reciclagem pós-uso. Quando transformada em bem durável reduz a emissão de dióxido de carbono. (BATISTA, 2007).

Dadas estas características, o uso da madeira na construção civil é crescente seja devido à sua adaptabilidade ambiental como da também crescente oferta de matéria prima resultante do protocolo de Kioto³. (Batista 2007). No Brasil, um programa de reflorestamento, iniciado na década de 60, implantou os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. (CALIL JUNIOR et al, 2006) contribuindo para “substituir madeiras nativas de uso

³ Protocolo de Kioto tem como objetivo estabelecer metas para redução de gases visando combater o efeito estufa na atmosfera.

consagrado e oferta restrita”. (CRUZEIRO, p.22, 1998). Dentre os produtos destinados à arquitetura provenientes da madeira, destaca-se o material em sua forma roliça, um dos usos mais eficientes dos recursos florestais, pois requer um mínimo processamento entre o corte da árvore e a comercialização da peça (ZANGIÁCOMO, 2007).

O baixo índice de processamento industrial significa que o consumo de energia é inferior quando comparado a outros materiais e processos. A madeira serrada apresenta rendimento em torno de 40% a 50% enquanto o aproveitamento da madeira roliça pode ser estimado em 85% a 90%. Além disso, apresenta boa resistência mecânica visto que as fibras longitudinais não são cortadas conservando sua estrutura original. (BRITO, 2010). Soma-se a isto a possibilidade de ter, em curto período de rotação, peças com diâmetro estrutural, com vistas à utilização na construção civil (MONTANA QUIMÍCA; INO, 1991), apresentando-se como um material competitivo para aplicabilidade na arquitetura.

Por ser um material biológico de origem vegetal, conserva, mesmo após o corte, sua estrutura celular, apresentando propriedades e características específicas referentes ao tipo de árvore que lhe deu origem. Isto acarreta a necessidade de conhecimentos técnicos específicos para otimizar a durabilidade⁴ do material principalmente para espécies reflorestadas que, como aponta Calil Junior et al, (p.65-66,2006), são espécies cuja durabilidade natural varia de baixa a moderada. A versatilidade do material, tanto a nível funcional e compositivo, é discutida a seguir.

1.1.1 VERSATILIDADE FUNCIONAL

“It is necessary to promote the different possibilities where wood can be used.” Natterer, 2004.

A madeira roliça pode atender diversas funções quando aplicada em edificações. Observa-se que elementos cilíndricos de madeira, combinados entre si, podem

⁴ ‘Segundo Trada (1991, apud BENEVENTE, 1995), a durabilidade de uma madeira em serviço depende de sua resistência natural e da existência de condições que propiciem a ação dos agentes destruidores’.

configurar: sistemas estruturais; paredes auto portantes (vedação e estrutura); coberturas, vedações e ornamentação.⁵

Sistemas estruturais executados com elementos roliços de madeira podem ser identificados como: pórticos, estruturas plissadas, treliças, treliças espaciais e sistema pilar-viga. Este último subdivide-se em dois sistemas: plataforma e construção reticular. (NAFI, 1989). A madeira roliça usada como sistema pilar-viga é, na Europa, um sistema geralmente destinado a construções do meio rural, conforme indicado por Trada (2004). Partel (1999) apresenta um levantamento de obras construídas com madeira roliça a partir dos sistemas estruturais e construtivos utilizados em habitações, pontes, construções rurais e torres demonstrando a versatilidade estrutural deste material. A figura 01 ilustra construção com estrutura de madeira roliça.

Paredes auto-portantes⁶ utilizam a vedação como elemento de estruturação do edifício, desempenhando em conjunto papel de fechamento e suporte. Essa solução esta presente, sobretudo na tradição americana e européia, através das ‘*Log Houses*’ (casa de troncos). Altoé (2009) cita o sistema da empresa CasaBella na região de Curitiba como exemplo brasileiro desta tipologia e a figura 02 ilustra essa solução.



Fig. 1. Park Hotel. Arquiteto Lucio Costa. Fonte: Wisnik (2001)

⁵ E possível trabalhar a composição arquitetônica utilizando a “*tensegrity structures*” (HANAOR, 1998 apud LIAPI e KIM, 2009) um sistema estrutural que combina componentes em tração e compressão, sendo que para cada esforço é utilizado um material diferente. Como aplicação do “*tensegrity structures*” poderia ser o uso do aço para tração e da madeira roliça para compressão. Tal possibilidade não é abordada neste trabalho.

⁶ Partel (1999) chama este sistema de painel e Batista (2007) de sistema com toras empilhadas.



Fig. 2. Residência com sistema *log home*, produzida pela empresa Casabella. Fonte: Casabella. Disponível em <http://www.casabella.etc.br/>

Como elemento de **cobertura**, a madeira roliça vem sendo utilizada em tesouras, pórticos, treliça espacial e superfícies. Exemplos de treliça espacial são encontrados nas figuras 03 e 04.



Fig. 3. Sistema estrutural com madeira roliça de diâmetro pequeno. Estudos realizados na Finlândia. Fonte: RANTA-MAUNUS,1999.



Fig. 4. Estrutura em madeira roliça a partir da combinação de poliedros. Feilden Clegg Bradley Architects. Doncaster, UK. Fonte: Carpenter Oak & Woodland Limited.

Como superfície estrutural de cobertura dois exemplos: a cobertura de edifício experimental na USP em São Carlos-SP com uma solução com madeira roliça de pequeno diâmetro formando uma parabolóide hiperbólica (PARTEL, 2006; BRITO, 2010) e a cobertura do estacionamento do Recanto Park Hotel em Foz do Iguaçu-PR, ilustrados na figura 05 e 06.



Fig. 5. Cobertura de edifício experimental.
LaMEM – EESC – USP, 2005. Fonte: Imagem cedida ao autor pelo Lamem.



Fig. 6. Cobertura para estacionamento. Recanto Park Hotel. Foz do Iguaçu-PR. Foto do autor.

A **vedação** com madeira roliça de uma edificação pode ser realizada através de diversas soluções. Nas obras de Gerson Castelo Branco, Domingos Bongestabs e James Lawrence Vianna, ilustrando nas figuras 07 e 08, casos de vedação parcial e total. Em painéis, como demonstra Partel (2006) para aplicação em construção de baixa renda.



Fig. 7. Vista interna de residência com vedação em madeira roliça. Petrópolis-RJ. Arquiteto James Lawrence Vianna. Fonte: Serapião, 2008



Fig. 8. Vista de fechamento parcial em madeira roliça. Fórum das Américas em Foz do Iguaçu-PR. Arquiteto Domingos Bongestabs. Fonte: Acervo do Autor (2008)

Como **ornamentação** onde seu uso não interfere na estrutura da obra (figura 09).



Fig. 9. Fachada de Hotel com madeira roliça. Recanto Park Hotel, Foz do Iguaçu-PR. Fonte: Acervo do Autor (2008)

As figuras ilustram exemplos onde, a partir da combinação de um elemento irregular, consegue-se atender diferentes funções e, dependendo das relações espaciais apresentadas, resulta em grande complexidade como na Universidade Livre do Meio Ambiente (figura 10), demonstrando sua potencialidade compositiva. A geometria das combinações e as possíveis derivações formais a partir de segmentos de reta constituem o fio condutor desta potencialidade.

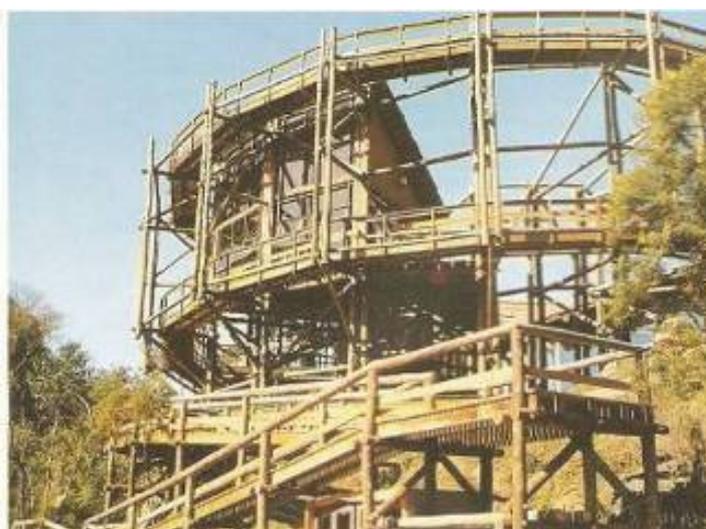


Fig. 10. Universidade Livre do Meio Ambiente. Curitiba-PR. Arquiteto Domingos Bongestabs. Fonte: SEGAWA, 1993.

1.1.2 VERSATILIDADE COMPOSITIVA

“Each material has its own potencial and one seeks the most eloquent expression possible.” RUDOLPH, Paul, (1957) in JENCKS, Charles; KROPF, Karl (1997).

Os elementos roliços de madeira precisam de estratégias de aproximação e/ou união para gerarem composições. Ao compará-los com um segmento de reta, observam-se três níveis de estratégias combinatórias: unidimensional, bidimensional e tridimensional, como ilustra o esquema da figura 11 a seguir.

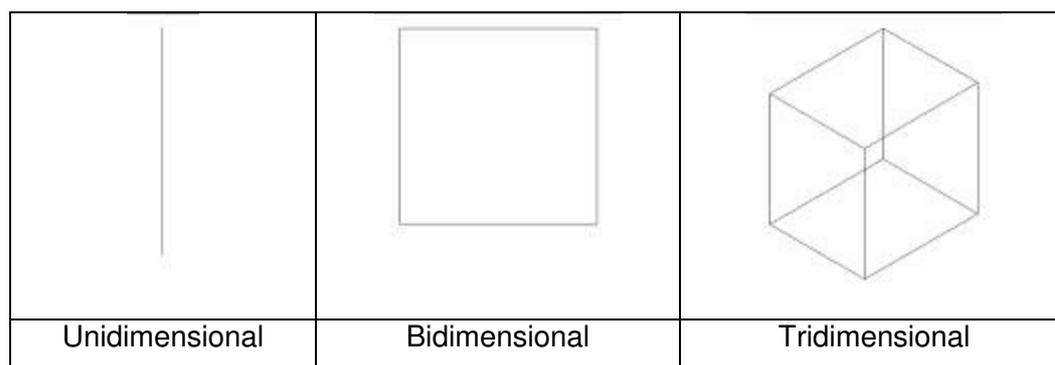


Fig. 11. Três níveis de estratégias compositivas. Desenho esquemático. Autor.

O primeiro refere-se a aproximações unidimensionais entre os elementos. É o que ocorre, por exemplo, com pilares (figuras 12 e 13) e/ou vigas formadas por mais de uma peça. As cargas são distribuídas num ponto e a quantidade de peças que compõem esse ponto refere-se à necessidade estrutural e/ou dizem respeito à característica plástica desejável. Duas ou mais peças podem ser substituídas por uma peça com dimensões equivalentes de suporte, mantendo a característica pontual.



Fig. 12. Desenho esquemático de possibilidade compositiva no nível unidimensional. Fonte: autor.



Fig. 13. Pilar. Centro de artesanato, Foz do Iguaçu-PR. Fonte: Autor, 2008.

O segundo refere-se a estratégias de combinação que geram composições bidimensionais como ilustra a figura 14. Neste caso observa-se peças postas lado a lado, empilhadas e/ou formando um entramado. Em qualquer destes exemplos é possível verificar a existência de um plano que contém todas as peças. As 'log homes' ilustram esse tipo de composição cujo plano bidimensional atende a função parede-vedação.

			
Plano fechado formado por peças “empilhadas”, como no sistema <i>log home</i> .	Plano formando um “entramado” de peças.	Plano cujas peças são duplicadas.	Plano formado superfície perpendicular ao solo.

Fig. 14. Desenho esquemático das possibilidades compositivas no nível bidimensional. Fonte: Autor.

O terceiro nível refere-se a estratégias que geram composições tridimensionais, ou seja, soluções onde largura, comprimento e altura podem ser considerados. Neste caso podem-se ter: planos combinados que geram volumes; combinar poliedros e gerar coberturas espaciais; e espaços tridimensionais formados por superfícies⁷ semelhantes a uma casca que formam uma cobertura sobre o plano horizontal. Tais exemplos são ilustrados na figura 15.

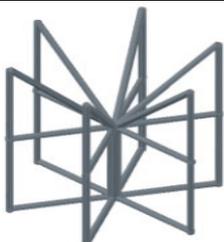
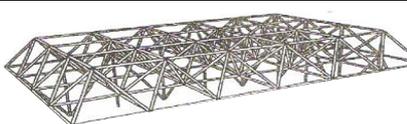
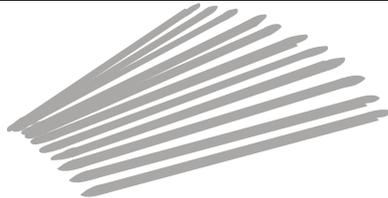
		
Composição tridimensional gerada por combinação de planos entramados.	Composição tridimensional gerada a partir da combinação de vários poliedros.	Composição tridimensional gerada por superfícies semelhante a cascas.

Fig. 15. Desenho esquemático das possibilidades compositivas no nível tridimensional. Fonte: Autor.

Desse modo, utilizando combinações e relações geométricas, observa-se três modos de combinar os elementos roliços de madeira para gerar formas tridimensionais. No primeiro as peças são combinadas formando um plano perpendicular ao plano xy do sistema cartesiano - 1º etapa de geração, que por sua vez se combinam para gerar o volume – 2º etapa de geração. Quando a forma do plano varia e/ou o modo de combiná-

⁷ Apesar de superfície ter conceito bidimensional na matemática, pode gerar espaços tridimensionais na arquitetura.

lo, altera o resultado final do conjunto como ilustra a figura 16 através do exemplo da obra de Domingos Bongestabs em Curitiba-PR. A figura 17 demonstra variações compositivas.

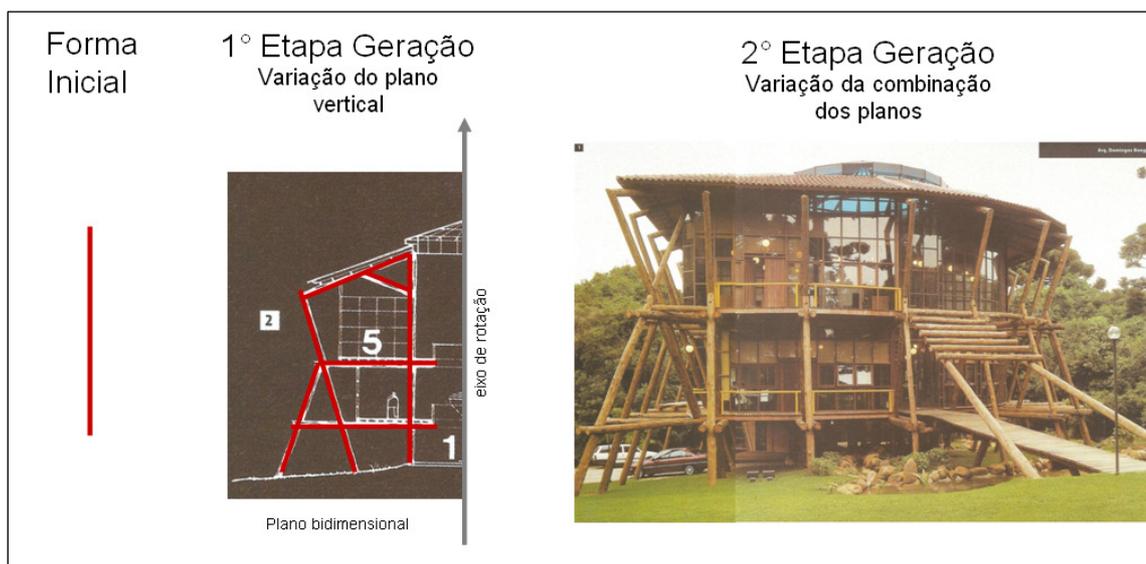


Fig. 16. Esquema de processo de composição tridimensional. Montagem do autor a partir de fotos do Gabinete do Governador_PR. Fonte: ProjetoDesign, n°196, maio 1996.

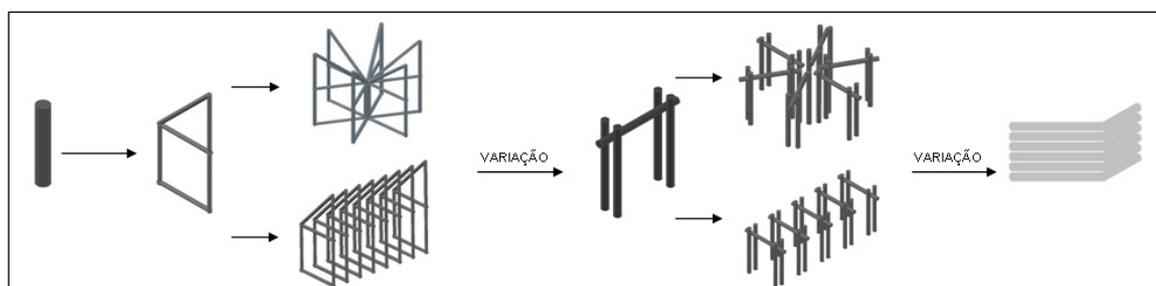


Fig. 17. Esquema das variações compositivas do processo 01. Fonte: Autor.

No segundo modo as peças são combinadas formando uma superfície sobre o plano horizontal - 1° etapa de geração, que podem ser combinados novamente para outros resultados formais – 2° etapa de geração. A variação formal pode ocorrer através de alteração na 1° geração e/ou no modo de combinação na 2° geração como ilustra a figura 18 através da cobertura de edifício da USP/São Carlos, e a figura 19.



Fig. 18. Esquema de processo de composição tridimensional. Montagem do autor a partir de fotos de cobertura do edifício experimental na USP/SC. Fotos cedidas ao autor pelo LaMem.

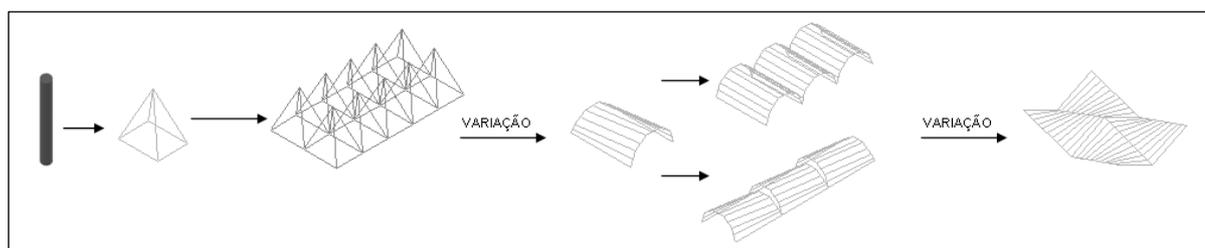


Fig. 19. Esquema das variações com positivas do processo 02. Fonte: Autor.

No terceiro processo gera-se uma superfície - 1º etapa de geração, que é estruturada pelas peças através de mapeamento⁸ com formas poligonais – 2º etapa de geração. A forma da superfície na 1º geração e/ou o tipo do polígono que “mapeia” a superfície na 2º geração possibilita as variações compositivas como ilustra a figura 20, ilustrada a partir de projeto para domo do “*CICAT centre*” citado por Ranta-Maunus (1999).

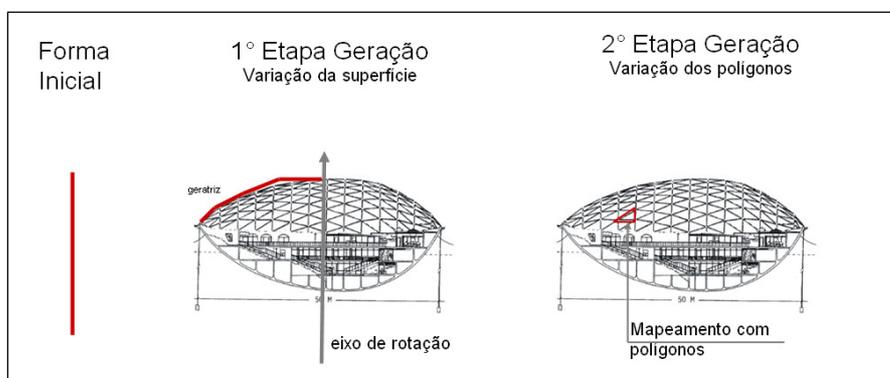


Fig. 20. Esquema de processo de composição tridimensional. Montagem do autor a partir de imagens de projeto *CICAT centre*. Fonte: Ranta-Maunus, 1999.

⁸ Mapeamento é entendido como o preenchimento da superfície a partir de módulos com formato de polígonos. Allgayer, 2009 indica que o software *Rhino*, com suporte adicional do *plug-in2 Panelling Tools*, aplica módulos de preenchimento como entidades vetoriais.

A variação compositiva ocorre através de utilização de diferentes estratégias de aproximação (conexões) de várias peças roliças de madeira.

1.1.3 CONEXÕES E COMPOSIÇÕES

“Architects, engineers and carpenters are not familiar with the strength or jointing characteristics of roundwood, nor do they have adequate design guidelines.” (RANTA-MAUNUS, 1999).

Por ser um material de origem vegetal, a madeira apresenta variações nas suas propriedades, influenciada pelas espécies botânicas e condições ambientais de plantio, resultando em características geométricas específicas que definem a heterogeneidade⁹ dos elementos roliços. As peças apresentam eixo longitudinal irregular marcado por: curvatura e sinuosidade (BRITO, 2010); variabilidade dimensional devido ao formato cônico do tronco da árvore e área de contato reduzida para realização dos encaixes das peças proveniente da forma cilíndrica do material. Esses fatores determinam a dificuldade de conexão entre elementos que necessitam de união para gerar formas arquitetônicas.

Entre as diversas maneiras de unir peças de madeira roliça as mais conhecidas são: entalhes, tarugos, cavilhas, pregos, parafusos, conectores metálicos e conectores plásticos. (INO, 1991). Brito (2010) descreve os vários tipos de articulação para madeira roliça, entre eles: entalhes; barra rosqueada, arruelas e porcas; barra rosqueada e pino metálico (Dowel-Nut¹⁰); chapas metálicas externas parafusadas (ou talas metálicas); chapas metálicas internas parafusadas; consoles metálicos perfurados e parafusados; chapas metálicas galvanizadas perfuradas e pregadas; cintas de chapas metálicas perfuradas e pregadas; anel de compressão. A NBR 7190 (ABNT, 1997) divide as ligações mecânicas em pinos metálicos (pregos e parafusos); cavilhas (pino de madeira torneado) e conectores (anéis metálicos ou chapas).

Entalhes, ou recortes nas peças, são utilizados para auxiliar as soluções de conexão visando aumentar a área de contato entre as peças. Brito (2010, p. 84) afirma que “em alguns casos, a peça de madeira roliça precisa ser cortada para facilitar a

⁹ BRITO, 2010 descreve as defeitos da madeira roliça apresentando os defeitos aceitáveis e visualmente discerníveis.

¹⁰ Pino metálico que possui um furo com rosca fêmea compatível com o diâmetro da rosca da barra de aço. BRITO, 2010.

conexão das juntas e garantir o melhor comportamento entre os elementos estruturais nas ligações.” Em outros momentos, o recorte das peças é o elemento principal da conexão reforçada por pregos ou parafusos. Para Partel (1999) as ligações que dispensam o uso de usinagem de encaixes proporcionam curto tempo de execução (conexões com chapas pregadas e cintas metálicas) mas tal tipo de ligação é dificultado quando a angulação entre roliços é variável. A dificuldade está em conseguir, para pronta entrega, conexões em chapas pregadas com angulações variadas para os mais diversos projetos. Na maioria das vezes o projeto deve ser adaptado as angulações sugeridas pelas peças de conexão disponíveis no mercado.

As chapas metálicas¹¹ permitem a composição de peças em um mesmo plano. A chapa interna sempre necessitará de corte longitudinal nas peças roliças, sendo fixada com parafusos¹² que perfuram a madeira e a chapa metálica localizada na direção do eixo longitudinal da peça. O corte longitudinal na extremidade da madeira pode favorecer a rachadura da peça sendo aconselhável o uso de arame ou cinta metálica para segurar a peça. As figuras 21 e 22 demonstram solução com arame e o método desenvolvido para fixação.

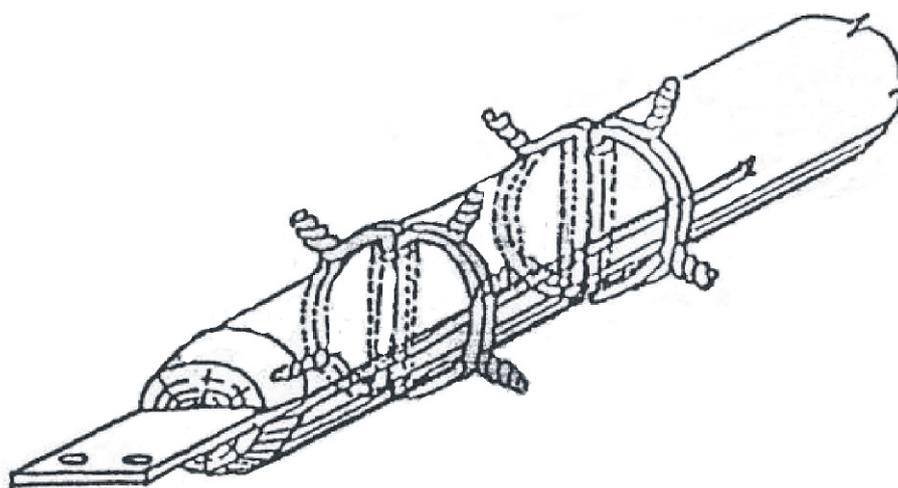


Fig. 21. Exemplo de madeira roliça com chapa metálica interna e amarração com arame para dificultar rachaduras na peça. Fonte: Huybers, 1991 apud Brito, 2010.

¹¹ A NBR 7190:1997 recomenda, para as chapas de aço, uma espessura mínima de 9mm para as pontes e 6mm para os outros casos.

¹² A norma NBR 7190:1997 recomenda espaçamentos e pré-furações específicas para evitar fendilhamento nas peças de madeira.

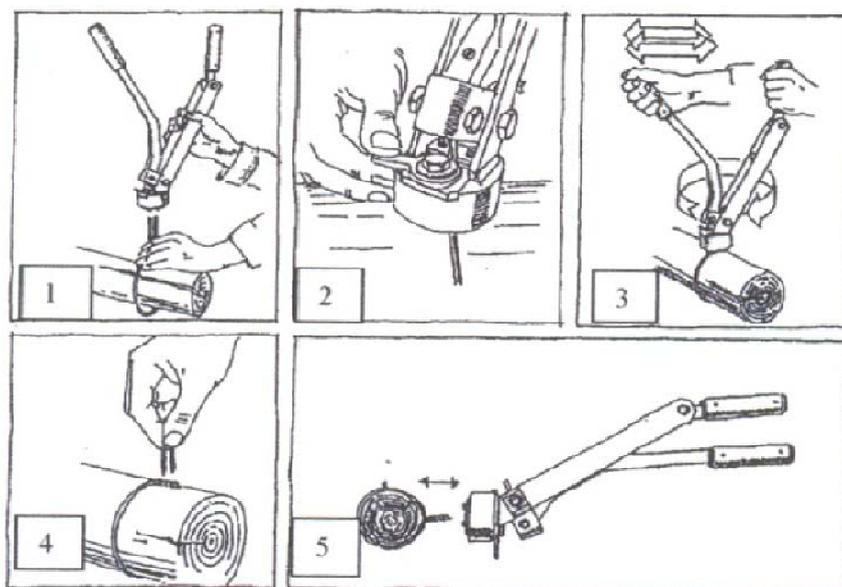


Fig. 22. Processo desenvolvido para fixação do arame. Huybers, 1991 apud Brito, 2010.

A chapa metálica externa prende-se nas peças de madeira através de parafuso e rosca. Geralmente é necessário desbastar a madeira para facilitar as juntas de união (HOLZ, 1995), gerando chapas metálicas externas com altura menores que o diâmetro para diminuir a área de desbaste (figura 23). Nesse caso é mais apropriado deixar a altura da chapa em torno de $\frac{1}{4}$ do diâmetro do roliço e aumentar seu comprimento para fixação dos parafusos em sentido longitudinal¹³.

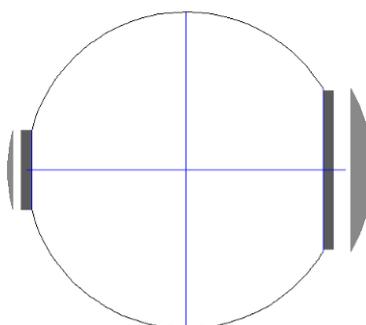


Fig. 23. Desenho demonstrando a área de desbaste para chapa metálica com $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ de altura do diâmetro. Fonte: Autor.

¹³ O cálculo dos esforços que a conexão irá sofrer complementa os dados necessários para a definição das dimensões da chapa; quantidade de parafusos e distancia entre as perfurações.

A barra rosqueada transforma a combinação das peças de duas maneiras. Em uma delas as peças são entalhadas para criarem maior área de contato e a barra rosqueada, ou parafuso, fixa essa junção. Outra opção deste tipo de conexão é duplicar as peças para prensarem uma terceira que assume outra posição no espaço, como ilustra a figura 24. Com o auxílio da barra rosqueada se faz a fixação, sem entalhe nas peças, sendo necessário, as vezes, um desbaste para aumentar a área de contato entre as peças. Neste caso, a barra rosqueada atravessa as peças roliças sendo fixada com arruelas e porcas nas extremidades. “Após a colocação do parafuso ou barra rosqueada, e arruelas, as porcas são apertadas, comprimindo fortemente a madeira na direção transversal, sendo o esforço transferido à madeira com auxílio das arruelas”. (BRITO, 2010). Outro sistema é apresentado por Wolfe et al (2000) e Brito (2010) que, juntamente com a barra rosqueada, é adicionado um pino metálico com furo compatível com a rosca da barra (figura 24). Esse pino é inserido transversalmente na peça e recebe a barra rosqueada inserida em eixo longitudinal da peça. Na extremidade externa da barra de aço introduz-se a arruela e a porca. O sistema Dowel-nut pode fixar duas madeiras roliças encostadas ou várias peças em um nó metálico.



Fig. 24. Exemplo de conexão com duplicação de peças e dowel-nut.

As conexões constituem um elemento importante na geração de combinações com madeira roliça ao permitir o aumento do comprimento, a mudança de direção e a união de peças provenientes de várias direções em um único ponto. Essas uniões podem ocorrer no sentido longitudinal ou transversal das peças.

A junção no sentido longitudinal ocorre quando da justaposição, horizontal ou vertical, de vários elementos roliços, produzindo planos fechados com madeira roliça. Nas suas *log homes*, ou casa de troncos, a empresa Casabella (Brasil) utiliza a técnica de torneamento que garante a uniformidade dos componentes e otimiza o formato das junções diminuindo o prejuízo potencial do formato irregular do fuste da madeira. A solução apontada por Partel (2006) para este tipo de encaixe é o desbaste dos cantos para facilitar a justaposição (figura 25). Nas extremidades são utilizados recortes nas peças para permitir a união entre dois planos formados por peças justapostas. Outra forma de encaixe no sentido longitudinal é o anel metálico. Abdalla (2002) utiliza madeira roliça de eucalipto citriodora em ponte onde a ligação longitudinal das peças é feita com o uso de anel metálico, como ilustra figura 25.



Fig. 25. Exemplo de conexão e relação com resultado formal.

A junção no sentido transversal da peça permite, conforme a conexão adotada, que os eixos das peças “unidas” permaneçam no mesmo plano ou então proporcionem ligações onde os eixos das peças passem a ser não coincidentes. Exemplo de ligações que mantém o eixo das peças no mesmo plano é o estudo de Herbert M.R.M. (1983 apud INO, 1991) que propôs chapas metálicas planas inseridas nas extremidades das toras e posteriormente pregadas. Tal solução pode ser observada no Gabinete do Governador do Estado do Paraná (figura 26).

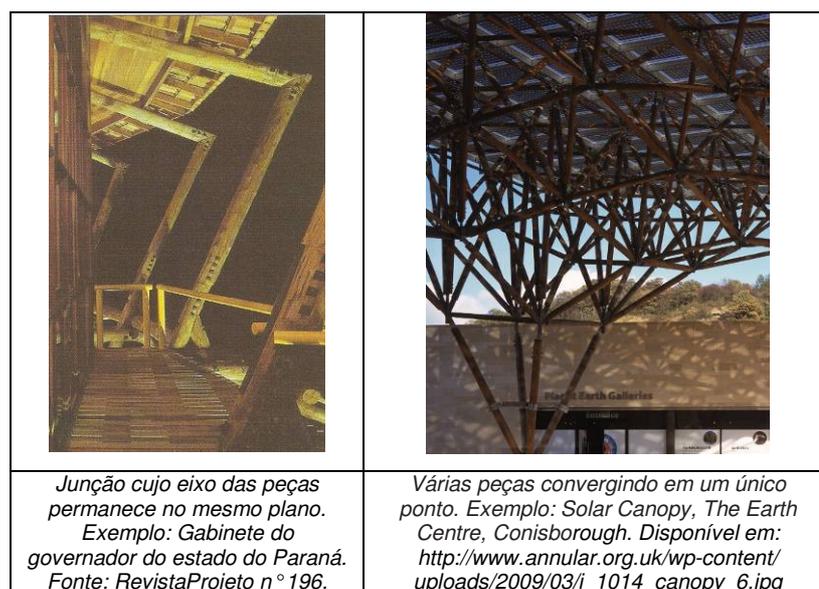


Fig. 26. Exemplo de conexão e relação com resultado formal.

Eixos de peças não coincidentes podem ser observados em ligações parafusadas com a necessidade de duplicação dos elementos roliços como na solução adotada pelo arquiteto Wilson Pinto para resolver a junção de pilares com vigas no Centro de Recepção de Visitantes do Parque Nacional do Iguaçu. (figura 24).

Além das uniões poderem ocorrer no sentido longitudinal ou transversal das peças, observa-se que as conexões podem se dar no meio da peça e/ou na extremidade da mesma. Assim pode-se ter: a) meio com meio; meio com extremidade; e extremidade com extremidade. O quadro a seguir, figura 27, sintetiza as possibilidades de conexão relacionando a situação do eixo longitudinal, contato entre as peças e quantidade de elementos em cada ponto de junção. O quadro desconsidera soluções com peças roliças e paralelas formando planos e soluções para ligação pilar-solo.

É possível encontrar conexões que permitem a união das peças no mesmo plano, conexões realizadas através da duplicação de peças, bem como conexões que permitem o encontro de vários elementos roliços em um único nó, como ilustra a cobertura do Solar Canopy (figura 26). A direção que a peça assume a partir desse ponto influencia o resultado compositivo bem como o sistema conectivo necessário para a junção dos elementos, mantendo o estreitamento da relação entre solução de conexão com as formas obtidas quando da combinação dos elementos roliços de madeira. O quadro 28 descreve as posições dos roliços e o contato entre peças.

		CONTATO ENTRE PEÇAS							
		EXTREM. C/ EXTREM.				EXTREM. C/ MEIO			
		QUANTIDADE DE PEÇAS							
		02	03	04	+	02	03	04	+
EIXO COINC.	0°								
EIXO NÃO COINC.									

Fig. 27. Quadro com soluções de conexão de acordo posição de encontro das peças. Fonte: Autor

EIXOS NÃO COINCIDENTES				EIXOS COINCIDENTES			
POSIÇÃO DAS PEÇAS	BARRA ROSQUEADA, PARAFUSOS, ALÇAS			BARRA ROSQUEADA, PREGO, PARAFUSOS, CAVILHA, ENTALHE		CHAPAS METÁLICAS,	

Fig. 28. Quadro demonstrando a posição das peças de acordo a posição de seus eixos longitudinais e a relação de contato entre as peças. Fonte: Autor baseado em A e B-RANTA-MAUNUS (1999) C-ABDALLA (2002); D - HOLZ(1995); E-HERBERT(1983 apud INO, 1992); F-HOLZ(1995).

Outra classificação possível para as uniões refere-se à relação de contato entre as peças roliças. Na maioria dos casos as peças são “moldadas” possibilitando maior área de junção. Em outros casos, como ocorre nas soluções de duplicação das peças, existe apenas algum ponto de contato realizado pela proximidade das peças, que não precisam ser entalhadas. A terceira solução utiliza-se de outro elemento para separar os roliços que não se encostam, e são fixados pelo elemento conector sem a necessidade de moldar as peças. Observa-se que as peças podem apresentar algum ponto de contato ou estarem separadas por algum outro componente da articulação.

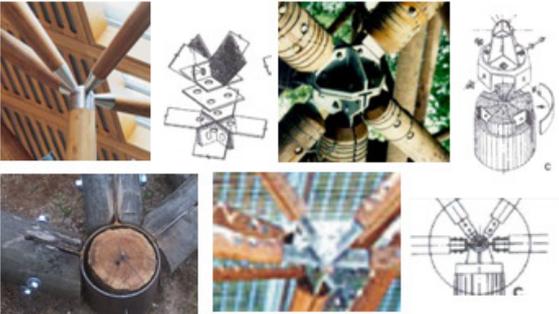
Distância entre roliços	Tipo Conexão	Variações
-	Barra rosquead Chapa metálica	
0	Barra rosquead Alça metálica Chapa metálica Console	
+	Nó metálico	

Fig. 29. Classificação das conexões de acordo a relação de contato entre as peças roliças: com ponto de contato ou sem ponto de contato. Fonte: autor a partir de referências indicadas no apêndice E.

Desse modo é possível caracterizar esse “conector” como positivo – quando separa os roliços; nulo – quando os roliços se encostam por apenas um ponto ou linha; e negativo – quando há necessidade de entalhar as peças roliças para que as mesmas ajustem-se entre si. A figura 29 ilustra exemplos de soluções conectivas existentes a partir desta classificação.

A diversidade em soluções conectivas, somada com as posições que as peças assumem no espaço tridimensional, demonstram que a conexão esta diretamente ligada às formas obtidas quando da combinação dos elementos roliços de madeira. Baseado em princípios geométricos é possível descrever o processo compositivo que gera soluções formais específicas. A conexão escolhida pode afetar a composição bem como a composição exige determinadas soluções conectivas. É possível identificar a consistência entre os processos de composição e as características geométricas nos pontos de encontros das peças.

Os princípios combinatórios que envolvem a arquitetura com madeira roliça potencializam, através de processos generativos, um conjunto de soluções formais a seguir detalhados.

1.2 PROCESSOS GENERATIVOS

"Generative design is not about designing a building. It's about designing the system that designs a building."
(HESSELGREN¹⁴ apud STOCKING, 2009).

Processos generativos são algoritmos, ou processos baseados em regras, que a partir dos quais várias soluções podem ser criadas (SANTOS, 2009), produzindo uma variedade de soluções em potencial para serem avaliadas. (CELANI, 2003). São métodos de projeto cujo objetivo (Godoi 2008), é a elaboração de ferramentas projetuais que podem gerar famílias de objetos garantindo coerência ao conjunto de soluções utilizando ferramentas digitais ou sistemas analógicos (Fischer e Herr 2001).

¹⁴ Hesselgren is director of research at Kohn Pedersen Fox Associates (KPF), an international design studio, and a cofounder of the SmartGeometry Group

As “*Shape Grammar*”, ou Gramática de Formas, consistem em sistema de geração de formas através da associação de um vocabulário a um conjunto de regras. Tal processo generativo é explicado a seguir.

1.2.1 GRAMÁTICA DE FORMAS

“Shape grammars provide a tool to explain design spaces as well as to explore new design spaces. (PRATS, P. 71, 2007).

O termo Gramática de Formas compreende, na arquitetura, design e artes, a definição de vocabulário de formas e de um conjunto de relações espaciais que correspondem a diferentes arranjos do vocabulário. Um conjunto de regras definida em função dessas relações espaciais, juntamente com a forma inicial constituída de formas do vocabulário, compreende a gramática de formas. (KNIGHT, 1994). “Os locais de aplicação das regras são definidos por marcadores (símbolos) que incidem na forma inicial ou sobre um estágio prévio de derivação para definir onde a regra deve ser aplicada ou até mesmo determinar o encerramento da aplicação das regras formais”. (SCHEREINER, p. 28, 2009). Tais elementos definirão a linguagem de *design* como pode ser observado na figura 30 a seguir.

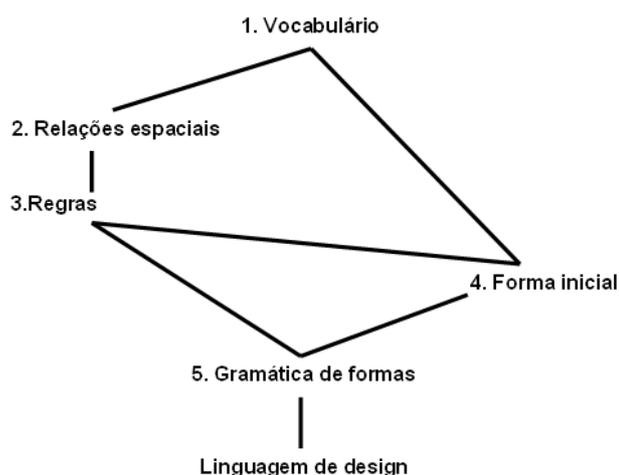


Fig. 30. Elementos para definição de linguagem de *design*. Fonte: Stiny (1980)

Shape Grammars foi introduzido por Stiny e Gips em 1972, a partir da teoria lingüística proposta por Chomsky. “*Shape grammars are similar to phrase structure grammars*” (STINY E GIPS, 1972, p.127), e manipulam formas. (KNIGHT, 1994).

Desse modo propuseram um método sistemático para geração de desenhos ao aplicar a gramática de formas em linguagens de pintura.

Posteriormente, Stiny (1976) em *Two exercises in formal composition*, propôs dois exercícios sendo que um deles demonstra como a *Shape Grammars* pode ser usada para a criação de desenhos em determinada linguagem e o outro apresenta como este método pode ser aplicado para analisar linguagens existentes. Em 1980 Stiny amplia seus estudos ao examinar o uso dos *blocos Froebel*, iniciando este método em objetos tridimensionais. (KNIGHT, 2000).

Desse modo, a **Gramática de Formas** surgiu inicialmente para, a partir da identificação do vocabulário e regras, propiciar a criação de novos objetos oriundos da linguagem pré-estabelecida, denominando-se, neste caso, **Gramática Sintética**. (MAYER, 2003); (WEBER, 2005). Em contrapartida, a **Gramática Analítica** busca os princípios generativos (vocabulários e regras) de tal forma a identificar uma gramática em comum dos objetos de análise. “A gramática analítica, aplicada na arquitetura, objetiva o estudo da estrutura da forma do edifício, pela utilização de um processo eminentemente gráfico de análise, que identifica padrões que originam as regras dessa gramática.” (WEBER, 2005, p. 54). “Analisa a composição arquitetônica a partir de sua estrutura e lógica internas” (GODOI, 2008). Assim a gramática de formas tem se desenvolvido em duas vertentes: a descrição e análise de estilos do passado ou presente e a criação de originais e completamente novos estilos de projeto. (KNIGHT, 1994).

Dentro deste contexto, vários estudos de arquitetura são abordados com o uso desta metodologia. Dentre eles tem-se vários exemplos de trabalhos realizados no exterior sendo: *The Palladian grammar* (STINY e MITCHELL, 1978); *The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses* (KONING e EIZENBERG, 1981); *More than the sum of parts: the grammar of Queen Anne houses* (FLEMMING, 1987) entre outros. No Brasil, apesar de mais recente, também encontram-se exemplares de trabalhos com gramática de formas como: A linguagem de Oscar Niemeyer (MAYER, 2003); A linguagem da Arquitetura Hospitalar de João Filgueiras Lima (WESTPHAL, 2007) e a Sistemas Generativos de Projeto: Um Estudo de Campo em Monte Alegre do Sul (GODOI, 2008). A gramática sintética, ou original (DUARTE, 2007 e GODOI, 2008) não foi explorada tão profundamente quanto a analítica, mas está presente no desenvolvimento de gramáticas novas baseadas no método de educação infantil de Froebel (DUARTE, 2007).

Prats (2007) indica que uma técnica útil para conceber projetos criativos é gerar alternativas de projeto. Isso pode ser conseguido através da exploração dos princípios generativos proposto pela gramática de formas. As linguagens do design não são úteis apenas para explicar os conjuntos de design, mas também são úteis para criar e explorar novos conjuntos de desenhos. (PRATS, 2007).

A criação de novas gramáticas pode ser conseguida através da transformação de uma gramática pré-estabelecida e/ou de gramática conhecida. Essa transformação pode ser realizada por três diferentes maneiras: pela adição de regras; pela exclusão de regras e pela mudança de regras. Além disso, as regras podem ser alteradas por mudar os marcadores de estado e/ou os marcadores espaciais, e por mudança das relações espaciais. Por último, as relações espaciais podem ser alteradas mediante a introdução de novas formas, redimensionamento ou reposicionamento de formas. (KNIGHT, 1994). A figura 31 ilustra as maneiras possíveis de transformar a gramática e sugerir novas estratégias para elaborar projetos.

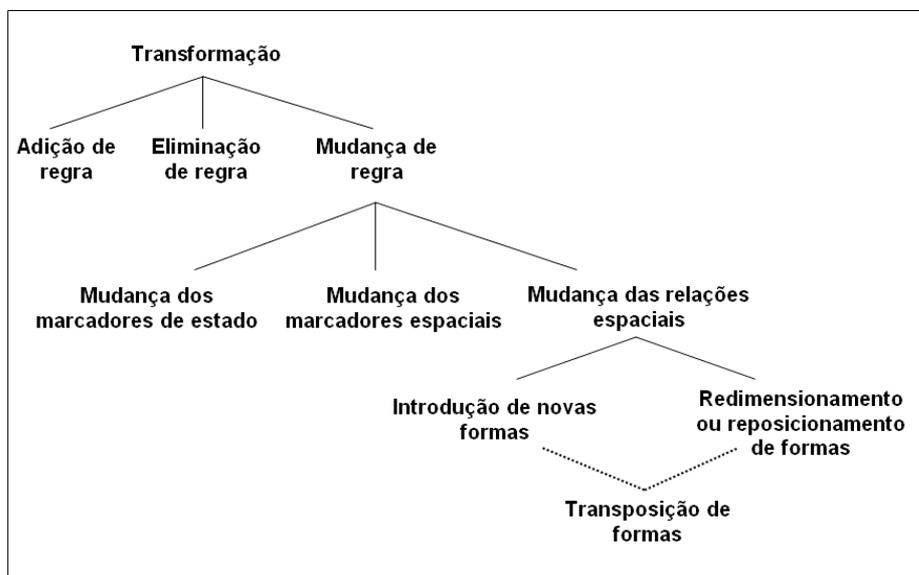


Fig. 31. Diferentes maneiras de transformar a gramática de formas. Fonte: KNIGHT, 1994.

Do ponto de vista formal este trabalho não desenvolve todos os elementos descritivos que compõe uma gramática, mas um sistema generativo baseado em regras, compatível com o desenvolvimento futuro de uma gramática de formas.

Neste estudo foram identificados os princípios generativos (regras e vocabulário) capazes de gerar um conjunto de soluções formais complexas a partir de uma estratégia de segmentação em partes (Mitchell, 2008) e do controle das relações entre elas.

Desse modo, a partir de um único elemento, foram definidas as etapas do processo de composição formal que propiciam a geração de superfície com elementos roliços de madeira, o vocabulário inicial do método. As relações espaciais estabelecida entre os elementos são a base das regras de composição (Knight, 1994), pois definem as maneiras pelas quais as formas devem ser justapostas. As regras provem dos princípios geométricos descritos a seguir¹⁵.

1.2.2 CONCEITOS GEOMÉTRICOS E GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES

“Geometry lies at the core of the architectural design process. It is omnipresent, from initial form-finding stages to actual construction.”(POTTMAN et al, 2007-preface).

Em todos os níveis de composição, descritos nas páginas 21 a 25, os segmentos de reta estabelecem relações espaciais entre si. Essas relações formam a base para as regras de geração da forma. As regras se apóiam nas **transformações euclidianas** e nos conceitos de geração de **superfícies regradas**, apresentados no apêndice I. Esses conceitos geométricos que envolvem o segmento de reta, objeto abstrato representando a partir de agora a madeira roliça, são a base para as regras utilizadas.

Um sistema generativo baseado em regras e aplicado a esse modelo permite, além da geração de alternativas compositivas, vincular as características dos pontos de encontro das peças roliças – tipos de junção – com as superfícies propostas. O conhecimento dos tipos de junções geradas permite desenvolver princípios conectivos, que alimentados pelos parâmetros de junções, definem a conexão genérica. Esta, por sua vez, pode ser modelada com diferentes alternativas formais, estando apta a atender as articulações solicitadas pelas composições geradas. Esses processos são descritos nos próximos capítulos.

¹⁵ Jowers, (2006) apresenta estudo sobre a gramática de curvas. Mas neste trabalho considera-se somente as peças retilíneas, portanto sem utilização de curvas na gramática.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A estruturação do modelo genérico de conexão vinculado a um padrão de soluções formais passa por 03 etapas distintas: 1) processo generativo de superfícies de madeira roliça; 2) relação das superfícies com as tipologias de junções a partir das superfícies geradas na primeira fase; e 3) processo generativo de articulações a partir dos tipos de junções gerados na segunda fase. As formas geradas na primeira etapa determinam soluções específicas de junções e definem-se as regras necessárias para a produção de conexões genéricas, a partir das quais é possível modelar alternativas de articulações. O quadro 32 ilustra essas etapas indicando os materiais e métodos utilizados em cada uma delas.

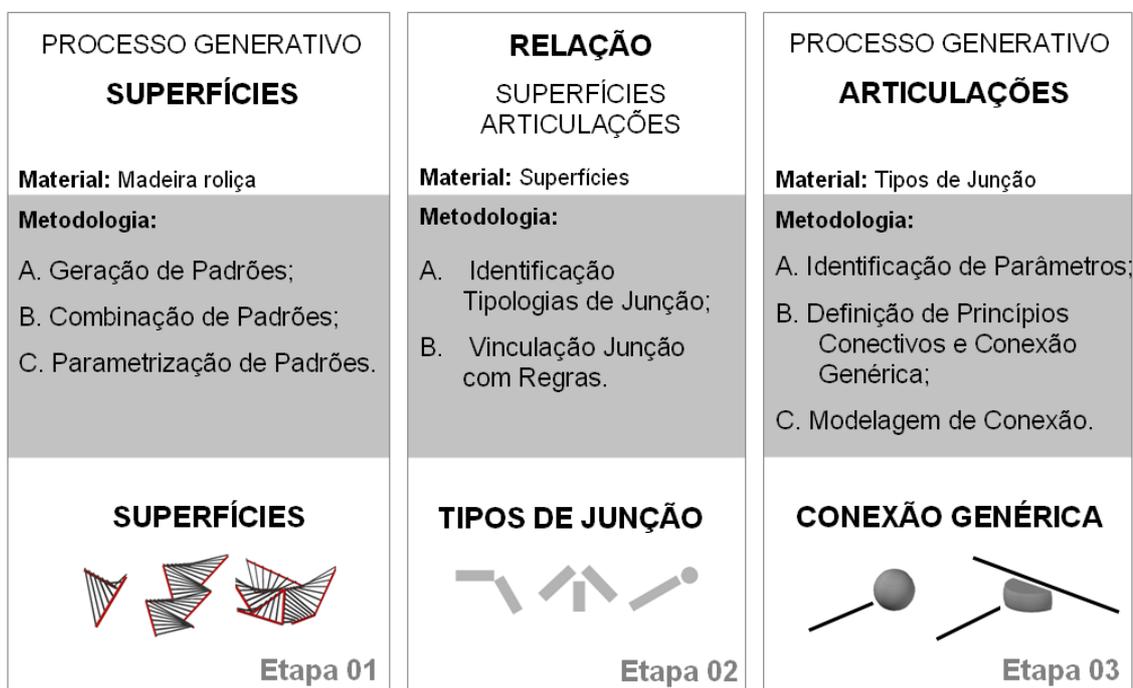


Fig. 32. Quadro indicando materiais e métodos em cada etapa da metodologia. Fonte: Autor.

2.1 GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES

Através de regras pré-estabelecidas define-se o modo como o vocabulário é combinado para gerar composições formais. Neste trabalho o processo generativo inicia-se com o vocábulo madeira roliça e as regras extraídas dos conceitos geométricos que envolvem as superfícies regradas, mas especificamente o parabolóide hiperbólico, considerado neste trabalho em função da delimitação em peças retilíneas (madeira roliça) e conexão inicial entre duas peças.

As superfícies geradas na 1º fase tornam-se o vocabulário da 2º fase, padrões que se combinam através de regras baseadas nas transformações geométricas, ou euclidianas. A 1º e 2º etapas de geração de superfícies são geradas considerando eixos longitudinais dos roliços coincidentes e não coincidentes. Na 3º fase, gerada somente com eixos longitudinais coincidentes, manipulam-se os princípios generativos objetivando gerar outras possibilidades compositivas e, conseqüentemente, outras tipologias de junções. Inicialmente trabalha-se com a parametrização de dois padrões gerados na 1º geração que, parametrizados, são inseridos em relações espaciais pré-estabelecidas na 2º fase de geração de superfície. Outra transformação das superfícies ocorre com o reposicionamento das formas utilizadas proporcionando novas relações espaciais¹⁶.

2.2 RELAÇÃO SUPERFÍCIE-JUNÇÃO

Partindo das superfícies geradas, a **segunda** etapa da metodologia envolve a relação entre essas composições e as características geométricas no ponto de encontro das peças roliças. As tipologias de junção são identificadas considerando quantidade de peças, posição das peças, tipo de contato entre as peças e eixos longitudinais coincidentes ou não coincidentes. A partir desses dados é possível associar as junções com as regras de geração antecipando quais aspectos conectivos serão necessário em

¹⁶ Duas superfícies de cada etapa são utilizadas para verificar o comportamento da estrutura nas composições geradas, e como se mantém nas superfícies parametrizadas, que sofrem deformações. O apêndice B contempla esta verificação estrutural simplificada através de software com análise por elementos finitos, o *abaqus* da *Dassault Systèmes S.A.*

cada composição formal. Essas tipologias são identificadas pelos seguintes grupos: a) 1° e 2° geração com eixo longitudinal não coincidente; b) 1° e 2° geração com eixo longitudinal coincidente; e c) 3° geração com eixo longitudinal coincidente. A relação com as superfícies é realizada através das regras aplicadas para geração formal.

2.3 CONEXÃO GENÉRICA

Na **terceira** etapa demonstra-se como o procedimento permite a geração de conexões genéricas aptas a atender as tipologias de junções geradas pelas composições. Resumindo: inicialmente definem-se grupos de junção de acordo características comuns e determinam-se quais são os parâmetros das tipologias de junções encontradas. Essa informação permite a definição de regras para geração de conexão genérica que pode ser vinculada com as regras de geração de superfície, direcionando escolhas para o desenvolvimento de aspectos formais e funcionais das conexões. A conexão genérica é modelada através da gramática de formas paramétricas, permitindo alternativas compositivas das articulações. Essa etapa da metodologia divide-se em:

- 1) Descrição dos parâmetros das tipologias de junções;
- 2) Definição da conexão genérica através de:
 - i. Definição de componentes;
 - ii. Definição de regras de posição e quantidade de componentes.
- 3) Definição de regras para modelagem de conexões através de:
 - i. Regras de definição de vocabulário;
 - ii. Regras de combinação de vocabulários.

O esquema representado na figura 33 ilustra as fases do procedimento aplicadas em cada uma das três etapas propostas: geração de superfícies, tipologias de junção e geração de conexão genérica. O próximo capítulo descreve a aplicação da metodologia proposta.

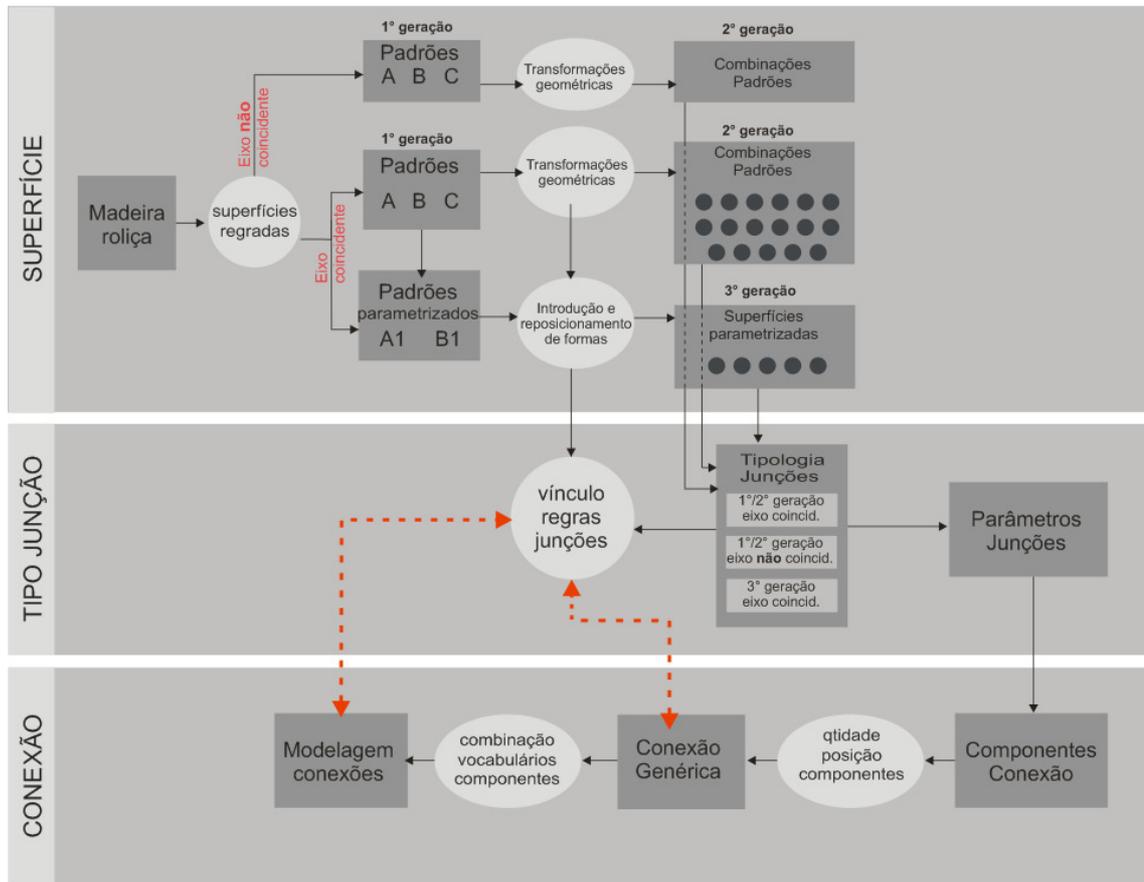


Fig. 33. Esquema ilustrando as etapas da metodologia. Fonte: Autor

3 APLICAÇÃO DO MÉTODO

3.1 GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES

3.1.1 1º FASE DE GERAÇÃO

A exploração do conceito de superfícies regradas com madeira roliça considera sua forma cilíndrica e retilínea configurando parabolóide hiperbólico, cujo perímetro configura paralelogramos (losango ou quadrado) originados na projeção das extremidades dos segmentos de reta. As formas geradas nesta primeira fase são chamadas de **padrões** tendo o losango, ângulos internos de 120° e 60° .

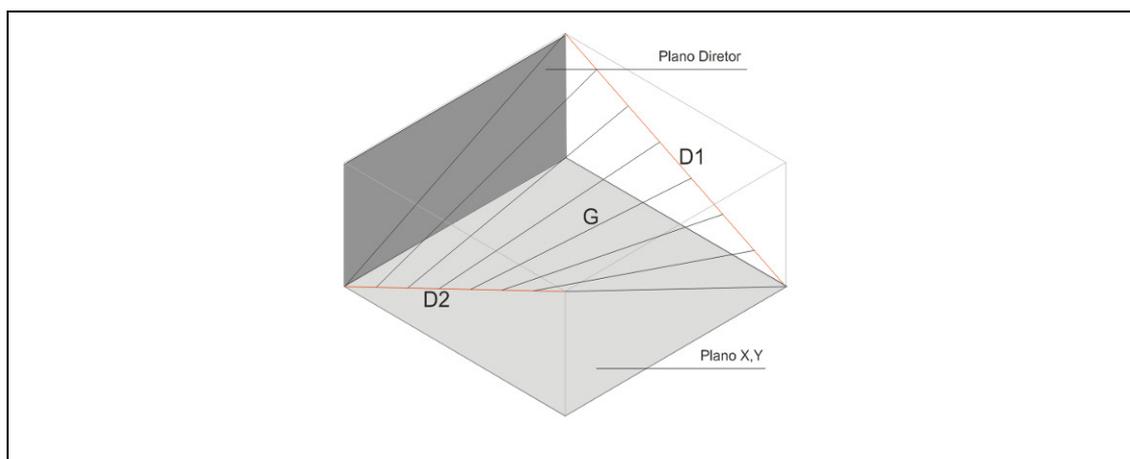


Fig. 34 Superfície formada por diretrizes que partem do mesmo plano horizontal. Fonte: Autor.

Em função disso, nos padrões as geratrizes – indicadas pela letra G na figura 34 - serão sempre paralelas ao plano diretor¹⁷ (fig.34), e conectadas em pontos correspondentes nas duas diretrizes – indicadas por D1 e D2 na figura 34 – que, por sua vez, mantém o mesmo número de divisões.

As variações nesta fase correspondem às diferentes angulações assumidas pelas diretrizes e pela angulação interna dos padrões. Para o vértice de origem da diretriz não há diferença na superfície cuja projeção é um quadrado. As superfícies cujas projeções

¹⁷ Plano diretor é um plano vertical, perpendicular ao plano xy do sistema cartesiano, paralelo aos segmentos de retas que formam a superfície.

constituem losango subdividem-se em dois padrões. Um cuja diretriz parte do vértice com ângulo interno de 60° e outro do vértice com 120° .

Para as diretrizes foram considerados os ângulos 45° e 26° formado com o plano xy, sempre iguais para as duas diretrizes e com o ponto de origem no mesmo plano horizontal, como ilustra a figura (fig.35). As diretrizes são sempre reversas. Os ângulos utilizados para a inclinação das diretrizes bem como a definição de seu comprimento, estabelecem o vão da superfície que corresponde à projeção deste segmento de reta no plano horizontal.

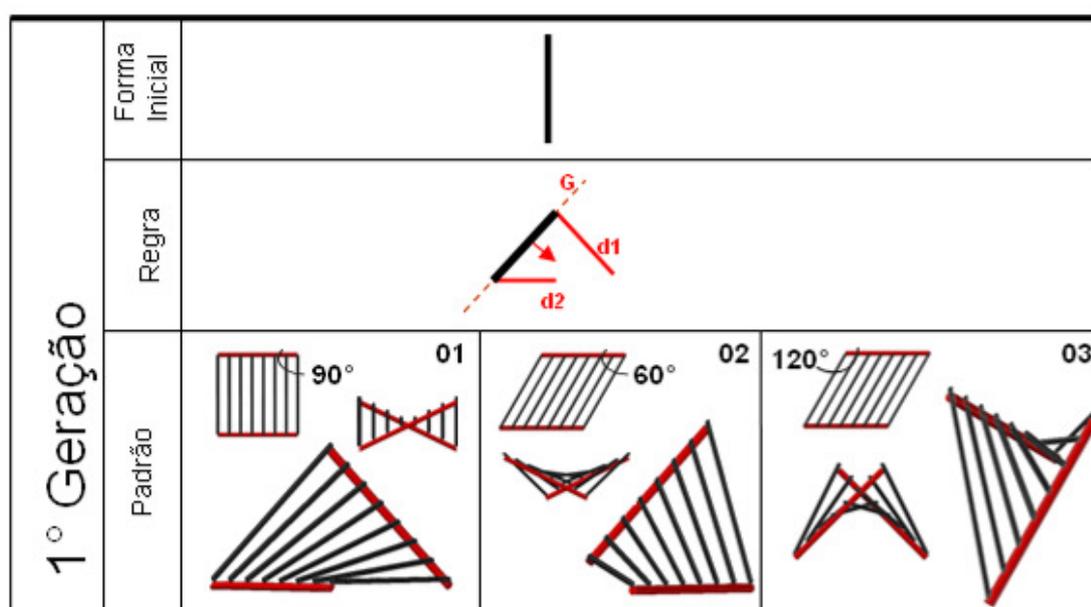


Fig. 35 – Quadro indicativo da 1ª fase de geração: padrões. Padrões em perspectiva, vista superior e vista frontal. Fonte: Autor.

As diretrizes foram divididas em 07 partes iguais e as peças que seguem as linhas da geratriz interligam as divisões entre as duas diretrizes, seguindo pontos correspondentes. O valor arbitrado entre as divisões é de 0,43 metros. Tal valor pode ser alterado para adequar-se às necessidades funcionais do elemento arquitetônico que dele dependa. Neste caso é preciso considerar que os ângulos das conexões entre extremidade com meio da peça serão alterados, pois cada peça assume uma posição diferente devido à inclinação da peça que acompanha a diretriz.

O experimento considera 15 cm de diâmetro para as peças que seguem as linhas das diretrizes, e 10 cm de diâmetro para as peças que seguem as linhas das

geratrizes, sendo que a superfície foi desenhada com eixos não coincidentes, ou seja, as peças desenhadas sobre as linhas das geratrizes estão apoiadas sobre as peças que seguem as linhas das diretrizes.

Iniciando a estruturação da superfície por sua geometria, considera-se inicialmente o eixo de peças “sem espessura”. Para casos onde a diretriz possua inclinação de 26° , prevalece o vão de 2,70 para todos os lados dos quadriláteros. Para diretrizes com inclinação de 45° prevalece o vão de 2,10 metros. Em ambos os casos as peças do perímetro são mantidas com comprimento próximo de 3,00 metros.

Com estas dimensões previamente definidas, cada ângulo estabelecido pela diretriz gerará vãos diferentes. A imagem abaixo (fig.36) ilustra os ângulos e vãos das diretrizes. Os ângulos são definidos considerando eixo a eixo da peça.

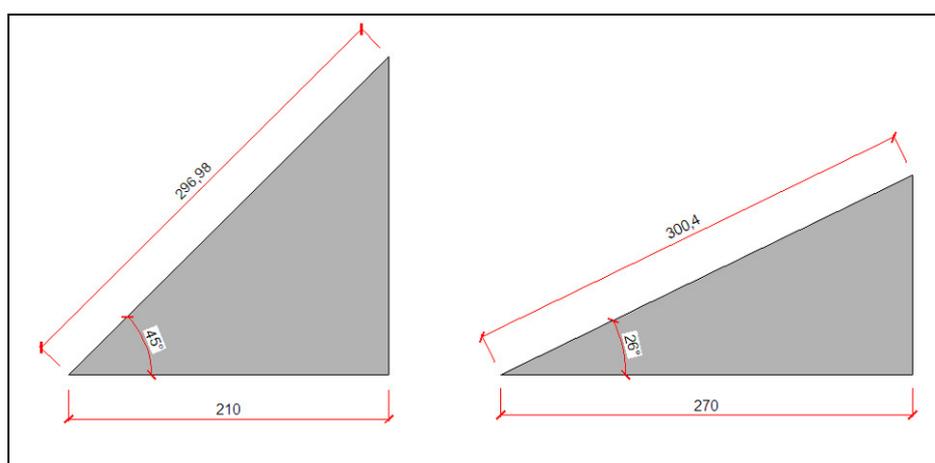


Fig. 36. Ângulos e vãos padrões usados para a geração de superfícies. Fonte: Autor.

Dessa forma, para cada padrão trabalha-se com as variações da inclinação das diretrizes e define-se o ângulo interno das figuras como ilustra a figura a seguir. (fig.37). Assim também é possível definir os marcadores¹⁸ garantindo que a combinação na 2ª fase de geração proporcione superfícies com o ponto central elevado.

¹⁸ Os locais de aplicação das regras são definidos por marcadores (símbolos) que incidem na forma inicial ou sobre um estágio prévio de derivação para definir onde a regra deve ser aplicada ou até mesmo determinar o encerramento da aplicação das regras formais. SCHEREINER, p. 28, 2009

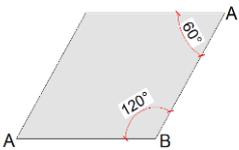
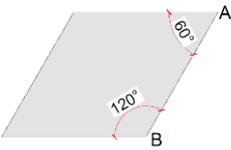
PADRÃO	BASE PROJ.	INCLIN. DIRETRIZ	ORIGEM DIRETRIZ	MARCADOR	VÃO
1B		26°	Qquer. vértice	Vértice oposto a origem da diretriz	2,70
2A		45°	A	B	2,10
2B		26°	B	A	2,70

Fig. 37. Detalhes dos padrões. Fonte: Autor.

Os padrões losango e quadrado afetam a segunda etapa de geração devido à variação da angulação interna dos quadriláteros. As variações nos padrões, ilustradas na figura 35, foram testadas na segunda fase de geração, sendo possível observar as possíveis combinações e as características decorrentes das junções das peças.

3.1.2 2° FASE DE GERAÇÃO

Nesta etapa o vocabulário inicial passa a ser constituído pelos padrões gerados na primeira fase e as regras originam-se no conceito das transformações geométricas. O padrão é combinado através da modificação das várias posições que o objeto pode assumir no espaço, considerando inclusive o objeto na posição inicial. Destas combinações foram consideradas soluções em que há, pelo menos, um segmento de reta cuja posição espacial coincida com outro segmento de reta pertencente a outro padrão, garantindo continuidade da superfície. Soluções em que isto não ocorre bem como soluções em que o eixo de rotação dos padrões não esteja nos marcadores são desconsideradas. A seguir descrevem-se as regras desta segunda etapa:

I. Rotação - neste caso é utilizada a rotação no plano horizontal com o eixo em um dos vértices da superfície, repetindo o padrão através do giro do mesmo em torno desse eixo, que não fica em algum ponto intermediário, pois haveria sobreposição de peças.

II. Translação - Deve ocorrer por um plano e não por um ponto para ter um “segmento de reta” que permita continuidade da superfície. Sempre ocorre em um dos 04 planos que contem os segmentos de reta do perímetro da superfície.

III. Reflexão - Deve ocorrer do mesmo modo que a regra anterior. A diferença está justamente na regra, pois enquanto a translação desloca o objeto em uma direção, a reflexão espelha o mesmo pelo plano selecionado para reflexão.

IV. Reflexão e Translação – A reflexão ocorre como descrita na regra anterior, onde o plano de reflexão pode conter uma diretriz ou uma geratriz do perímetro. A partir do módulo gerado na reflexão aplica-se outra regra, neste caso a translação, que é feita pelo plano correspondente a primeira etapa, ou seja, se a reflexão ocorre pelo plano da diretriz, a translação deverá ocorrer por um plano da diretriz. O mesmo ocorre no caso de plano que contem uma geratriz do perímetro da superfície.

V. Reflexão e Rotação - A reflexão ocorre como descrita na regra do item “III”, cujo plano de reflexão pode conter uma diretriz ou uma geratriz. A partir do módulo gerado na reflexão aplica-se outra regra, neste caso a rotação. O eixo desta última regra deve estar no vértice que contem as duas superfícies e também o ponto mais alto das diretrizes localizado no centro, pois nas extremidades gera composição com continuidade parcial de superfície. Ao aplicar a rotação após a regra de reflexão, a forma final será a mesma, por isso considerou-se somente regra de reflexão+rotação, pois atende ambos os casos, seja com reflexão pelo plano que contem a diretriz ou pelo plano que contem a geratriz.

Na combinação dos padrões pode haver sobreposição de peças, pois ao unir duas superfícies, as peças que servem de ligação dos padrões, assumem a mesma posição no espaço, duplicando-se. É necessário criar uma regra para eliminar uma dessas peças, subtraí-la, de modo a adequar as superfícies nesta segunda fase de geração.

Nas transformações, os eixos de rotação e planos de reflexão e translação são perpendiculares ao plano horizontal sem deslocamento no eixo z. Assim não há a rotação helicoidal, que desloca o objeto no eixo z, alterando a sua posição em relação ao plano x,y. (POTTMANN, et al, 2007; ROSEN, 1998).

A figura 38 ilustra as superfícies geradas com as respectivas regras utilizadas. A letra “e” representa eixo de rotação e/ou plano de reflexão e a letra “d” representa a diretriz.

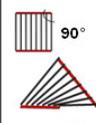
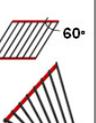
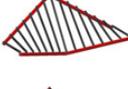
2º Etapa de Geração								
Padrão 01			Padrão 02			Padrão 03		
Forma Inicial	Regra	Combinação Padrão	Forma Inicial	Regra	Combinação Padrão	Forma Inicial	Regra	Combinação Padrão
 90° 01			 60° 02			 120° 03		
								
								
								
								
								

Fig. 38. Quadro indicativo da 2º fase de geração: combinações dos padrões. Fonte: autor.

Visando verificar as regras da segunda etapa de geração e observar o comportamento da angulação das peças dos padrões, trabalhou-se com maquetes confeccionadas com ferro e elástico. As figuras 39 e 40 ilustram essas maquetes.

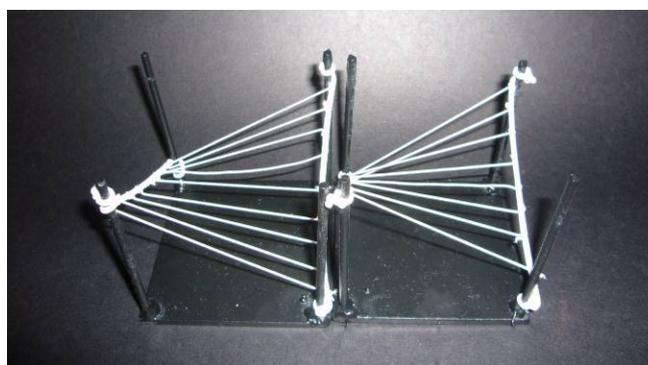


Fig. 39. Maquete ilustrando a regra de translação a partir do padrão 01. Verifica-se que a mesma não permite continuidade da superfície, pois retas (diretrizes) são reversas.

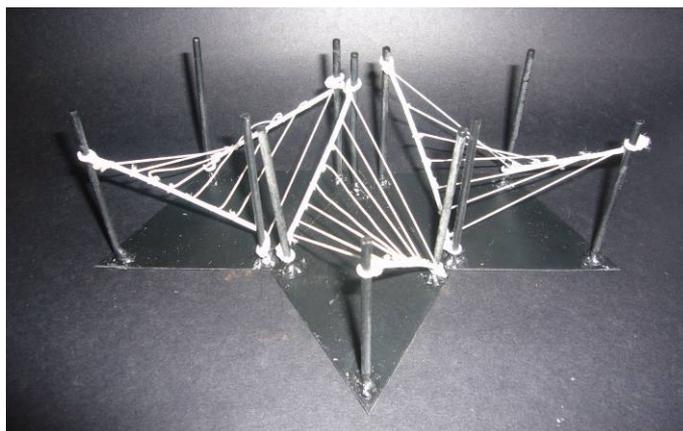


Fig. 40. Maquete ilustrando a regra de rotação a partir do padrão 02.

O apêndice A contém as maquetes combinadas ilustrando os resultados da aplicação das regras desta etapa de geração.

3.1.3 3º FASE DE GERAÇÃO

Na terceira geração trabalha-se com a descrição de Terry Knight (1994) sobre maneiras de transformar a gramática através de alterações nas regras. Em uma delas a gramática é transformada pela introdução de novas formas dentro das relações espaciais pré-estabelecidas e em outras pelo reposicionamento de formas proporcionando novas relações espaciais. Esses dois processos foram utilizados para gerar alternativas formais nesta terceira fase.

A finalidade do experimento é desenvolver novas possibilidades a partir de regras pré estabelecidas. Não pretende-se analisar uma linguagem existente ou mudanças de estilo. O objetivo é demonstrar novas possibilidades combinatórias sem a intenção de esgotá-las, observando que “nem todas as composições seguem princípios rígidos de organização. Algumas composições utilizam variáveis aleatórias, sem deixar de resultar em um conjunto harmonioso.” (CELANI, p. 89, 2003).

Num primeiro momento trabalha-se com a introdução de novas formas a partir de relações espaciais estabelecidas. As novas formas foram criadas a partir da parametrização¹⁹ dos padrões 01 e 02 e inseridas em relações espaciais já estabelecidas.

De acordo Prats (2007) outra maneira de obter conjuntos de projetos satisfatórios é definir as intenções de projeto com regras de geração. Ou seja, em vez de gerar aleatoriamente, define-se as regras que geram apenas seqüências de desenhos que são concordantes com as intenções do projeto.

Por isso gerou-se novos padrões equalizando-os com a intenção de manter continuidade à superfície bem como manter o ponto central elevado. A figura 41 ilustra a parametrização dos padrões iniciais, que mantiveram suas características fundamentais mas geraram formas diferentes. (CELANI, 2003).

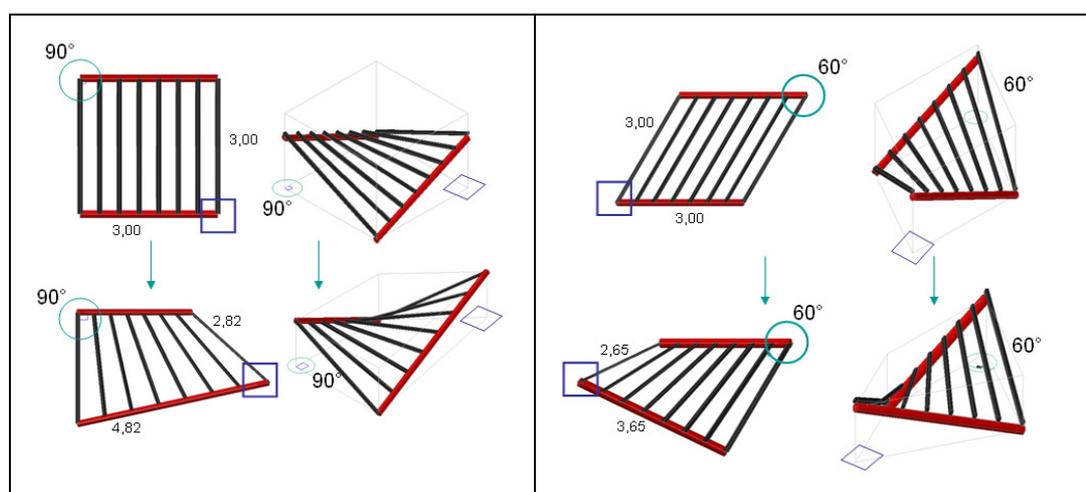


Fig. 41. Planta baixa e perspectiva do padrão 01 e do padrão 02. As imagens de baixo são os resultados da parametrização do padrão 01 e do padrão 02, respectivamente, usados como novas formas na 3ª fase de geração. Fonte: Autor.

Os padrões da 1ª fase são os Parabolóides Hiperbólicos. Na parametrização proposta, alteraram-se os valores de uma das diretrizes e da geratriz adjacente. O vértice

¹⁹ “Na matemática, parâmetros são valores que podem ser atribuídos a uma determinada variável, permitindo o cálculo de diferentes soluções para um problema. Toda equação expressa através de parâmetros é uma equação paramétrica. (...) Isto permite a geração de uma grande quantidade de indivíduos com características próprias, porém definidos com a mesma “fórmula” (...) Na arquitetura, diferentes parâmetros são também utilizados na definição de diferentes formas a partir de um mesmo conceito”. (CELANI, p22, 2003).

Design paramétrico, um processo baseado não em quantidades métricas fixas e sim em uma relação consistente entre objetos, permitindo a alteração de um único elemento para propagar as alterações correspondentes em todo o sistema. Permite o controle e a manipulação de objetos de design, relacionando as partes com o todo. (MEREDITH, 2008).

de encontro desses dois segmentos de reta, ponto alto da superfície, é deslocado alterando o ângulo interno da figura e, conseqüentemente, parte do perímetro da mesma. As figuras de projeção destas superfícies parametrizadas formam um retângulo escaleno na primeira solução e um quadrilátero qualquer para a segunda solução, mudando a geometria da superfície resultante. Os quatro lados do perímetro da superfície são mantidos bem como o ângulo interno oposto ao ângulo reposicionado. Desse modo preservaram-se, em relação ao padrão da 1^o fase, um ângulo interno que contém um ponto alto da superfície, definindo o marcador, e os lados adjacentes. Esses ângulos são: 90° para o padrão 01 e 60° para 02 como indica o círculo verde na figura 41. Os demais ângulos são alterados determinando mudança nas inclinações das diretrizes com o plano x,y. Conseqüentemente a inclinação das geratrizes em relação a um plano horizontal também é alterada como ilustra a figura 42.

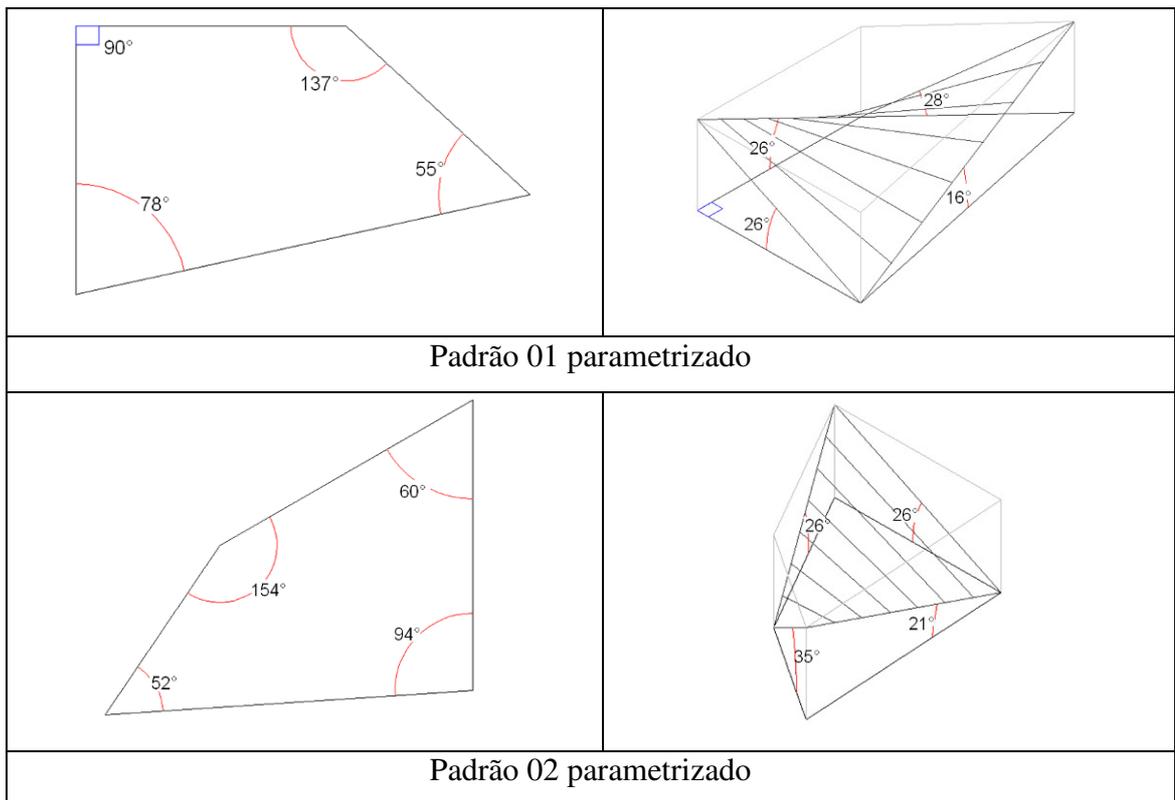


Fig. 42. Quadro demonstrando ângulos dos padrões da 3^o geração. Desenho do autor.

A inserção de novas formas ocorreu pela substituição de padrões nas relações espaciais pré-estabelecidas na fase 02. Para cada relação espacial gerada foi utilizado,

simultaneamente, os dois padrões parametrizados como descrito a seguir. O quadro 43 ilustra as gerações desta fase.

3° Geração		Introdução de novas formas		
Forma Inicial	Regra	2° geração	Resultado	
			perspectiva	vista superior

Fig. 43. Quadro da 3° fase de geração: parametrização de padrões e combinações. Fonte: Autor.

I. Rotação – Ocorre do mesmo modo que na 2° geração, mas para totalizar 360° internos foram necessárias 05 superfícies parametrizadas. Como as rotações anteriores não possuem soluções com 05 peças, rotacionou-se o padrão com ângulo interno de 90° duas vezes e três vezes o padrão com ângulo interno de 60°.

II. Translação - Deve ocorrer por um dos dois planos que não sofreram parametrização sendo um através do plano que contem a diretriz e outro através de plano que contem a geratriz do perímetro, ambos adjacentes ao marcador dado. De qualquer modo, a aplicação desta regra não gera continuidade de superfícies, pois geram só um ponto de contato.

III. Reflexão – Ocorre pelos mesmos planos citados na regra de translação da 3ª geração, mas para provocar o encontro dos planos, rotacionou-se um dos padrões, tanto pela reflexão através da geratriz como pela diretriz, pois os padrões parametrizados não foram refletidos. Estes substituíram os padrões gerados na 1ª fase, introduzindo novas formas nas relações espaciais definidas na 2ª fase de geração. Mantiveram-se os ângulos não deformados e seus lados adjacentes no mesmo plano de reflexão.

IV. Reflexão e Translação – A superfície gerada pela aplicação da regra anterior (substituição de padrões na reflexão) ao sofrer translação, não gera outra superfície contínua devido aos planos opostos não serem paralelos.²⁰

V. Reflexão e Rotação – Ocorre como explicado na 2ª geração, mas o eixo desta regra deve estar no vértice que contem os marcadores das duas superfícies. O resultado é o mesmo obtido pela rotação.

O segundo processo utilizado trabalha com a modificação de alguns princípios generativos, as regras identificadas nas fases 01 e 02. As formas são reposicionadas proporcionando novas relações espaciais. Demonstrando essa possibilidade de geração trabalhou-se com a alteração da regra reflexão + translação, regra aplicada na segunda fase de geração. A reflexão, e posteriormente a translação, ocorrem através de uma orientação, a diretriz, neste caso uma reta no eixo x. Para gerar outra superfície, a diretriz é modificada e transformada em curva sinuosa.

Para a aplicação do princípio proposto utilizou-se programação no software, o *Grasshoper*, desenvolvido por David Rutten at Robert McNeel & Associates. É um programa integrado as ferramentas do programa *Rhinoceros*, que permite a modelagem de elementos tridimensionais a partir da definição de relações geométricas indicadas pelo projetista. Essas relações são definidas por componentes no *Grasshoper* e visualizadas tridimensionalmente no *Rhinoceros*.

A programação desenvolve-se a partir de uma curva qualquer desenhada no *Rhinoceros* e selecionada no *Grasshoper*, como ilustra a figura 44. Com essa curva inicia-se a relação geométrica na qual a construção de linhas reversas equidistantes entre si vão estruturando a superfície. As linhas externas da superfície, praticamente paralelas à curva desenhada, podem ser divididas em segmentos. Na superfície ilustrada (fig. 45) faz-se divisão em quatro partes. A programação permite que esses segmentos

²⁰ Para gerar outra superfície seria necessário mudar a posição do plano de reflexão de modo a garantir continuidade das formas, situação não abordada neste trabalho.

sejam também ulteriormente divididos, resultando na divisão de pontos correspondentes que, ao serem conectados, formam as geratrizes.

A imagem a seguir (fig. 45) ilustra um modelo que sofreu alteração na sua composição a partir da transformação da diretriz curva inicialmente reta.

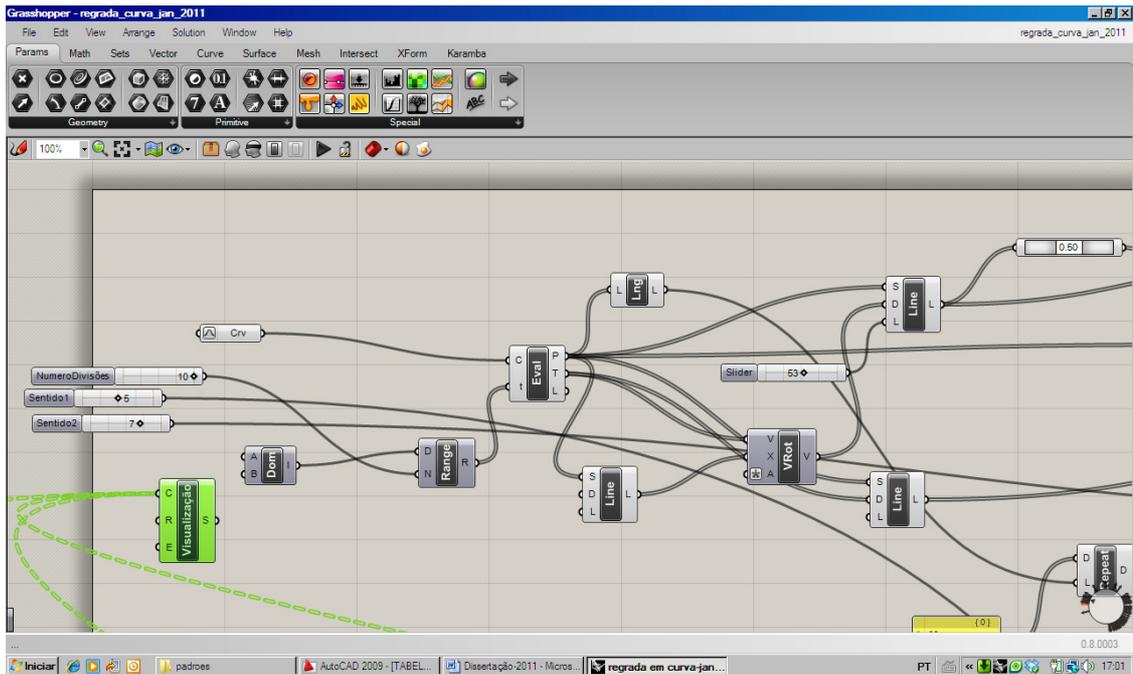


Fig. 44. Programação parcial de geração de superfície a partir de diretriz curva. Fonte: Autor

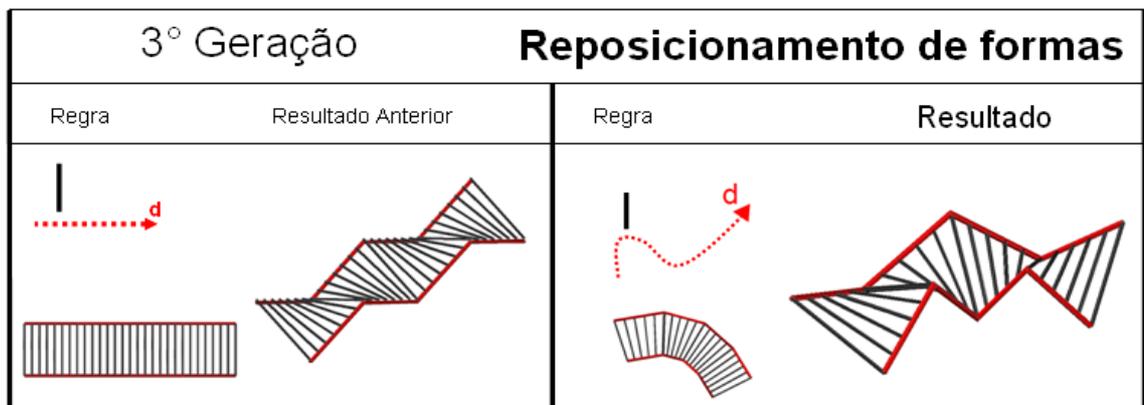


Fig. 45 Vista superior e perspectiva da composição inicial com diretriz em linha reta. Vista superior e perspectiva da composição modificada a partir da alteração do princípio gerador, a diretriz, inicialmente em linha reta transformou-se em curva, reposicionando a forma. Fonte: Autor

3.2 RELAÇÃO SUPERFÍCIE - JUNÇÃO

3.2.1 TIPOLOGIAS DE JUNÇÕES

A partir das combinações geradas foi possível analisar as características geométricas das junções em cada ponto de encontro das peças roliças. As variações observadas decorrem de aspectos como: a) eixos longitudinais coincidentes ou não coincidentes; b) contato entre as peças - extremidade com extremidade ou extremidade com meio da peça; c) quantidade de peças; d) com ponto de contato ou separados por algum outro componente da articulação. A figura 46 ilustra esses aspectos.

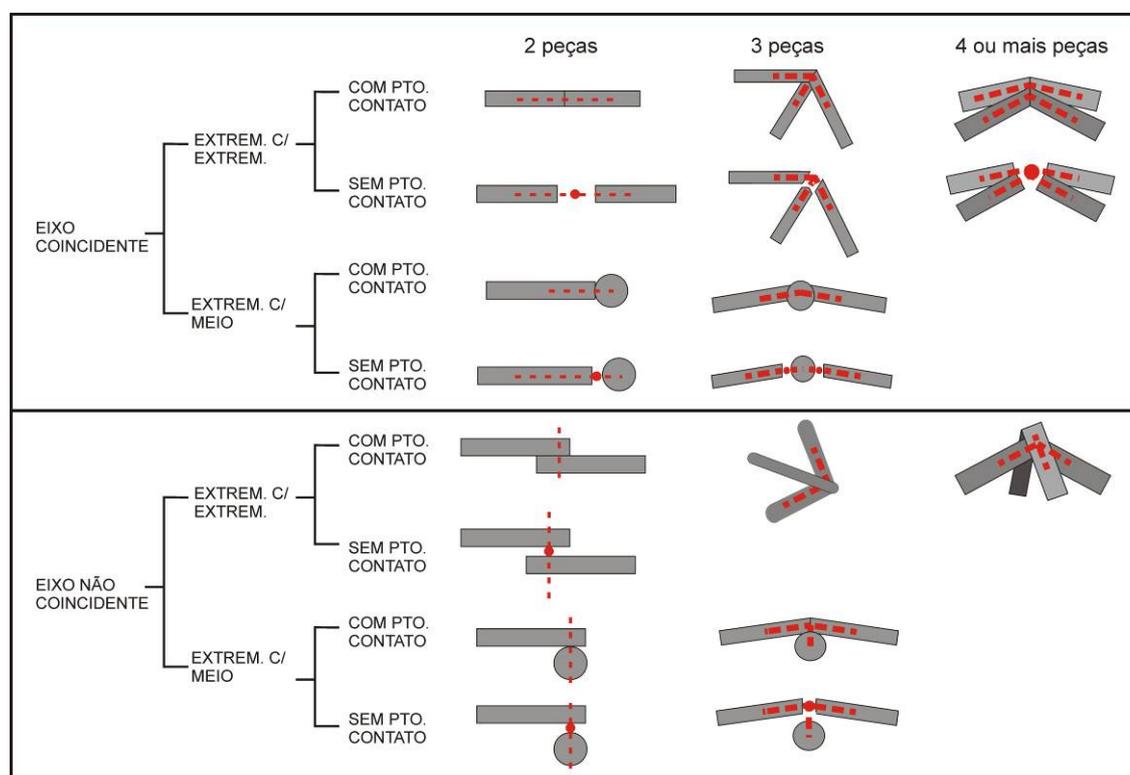


Fig. 46. Figura indicando as possíveis variações das características dos pontos de junção. Fonte: Autor.

Soluções arquitetônicas envolvem opções por eixos coincidentes ou não coincidentes bem como ter ou não ponto de contato entre as peças. O diâmetro da peça pode definir os sistemas de articulação mais aptos a determinadas dimensões, considerando esforços solicitados em cada ponto. Outro aspecto que influencia o tipo de encontro dos elementos roliços é a inclinação, em menor ou maior grau, que as peças

assumem no espaço tridimensional, formando ângulos diferentes de acordo a posição no sistema de coordenadas (x, y e z) como ilustra a figura 47.

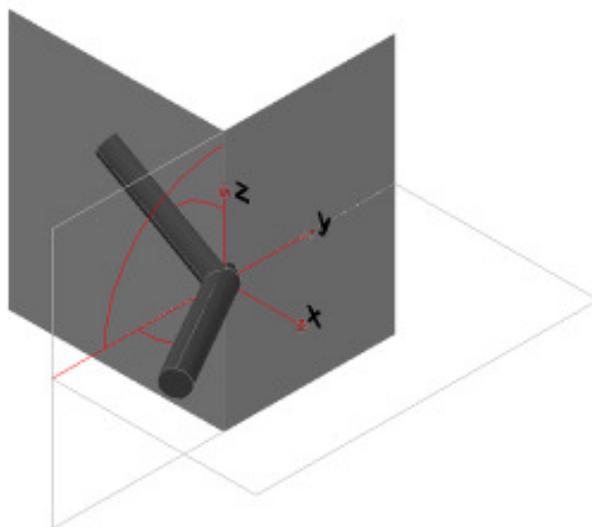


Fig. 47. As peças roliças podem assumir diversas inclinações no espaço tridimensional.

A partir de superfícies com **eixos coincidentes**²¹ observa-se: c) quantidade de peças; b) contato entre as peças - extremidade com extremidade ou extremidade com meio da peça em cada encontro de peças em todas as possibilidades formais propostas. Na sequencia repete-se o processo a partir de superfícies com **eixos não coincidentes** para a 1° e 2° geração. Neste caso as peças que acompanham as linhas das geratrizes estão apoiadas sobre as peças que seguem as linhas das diretrizes. Por isso, além dos itens c e b anteriormente citados, considera-se a posição dos eixos das peças. Finalizando esse processo, analisou-se o comportamento das extremidades das peças (item d das tipologias de junções), através da simulação de sistemas conectivos existentes que foram aplicados nas tipologias de junções geradas. Essa etapa é explicada no item 3.2.3.

²¹ Considera-se superfícies com eixos coincidentes aquelas formadas por peças roliças cujos eixos longitudinais se encontram, ao passo que as superfícies com eixos longitudinais não coincidentes são aquelas cujo um grupo de peças possui eixo longitudinal acima dos eixos longitudinais das demais peças. Neste último caso, os roliços são apoiados sobre outras peças roliças.

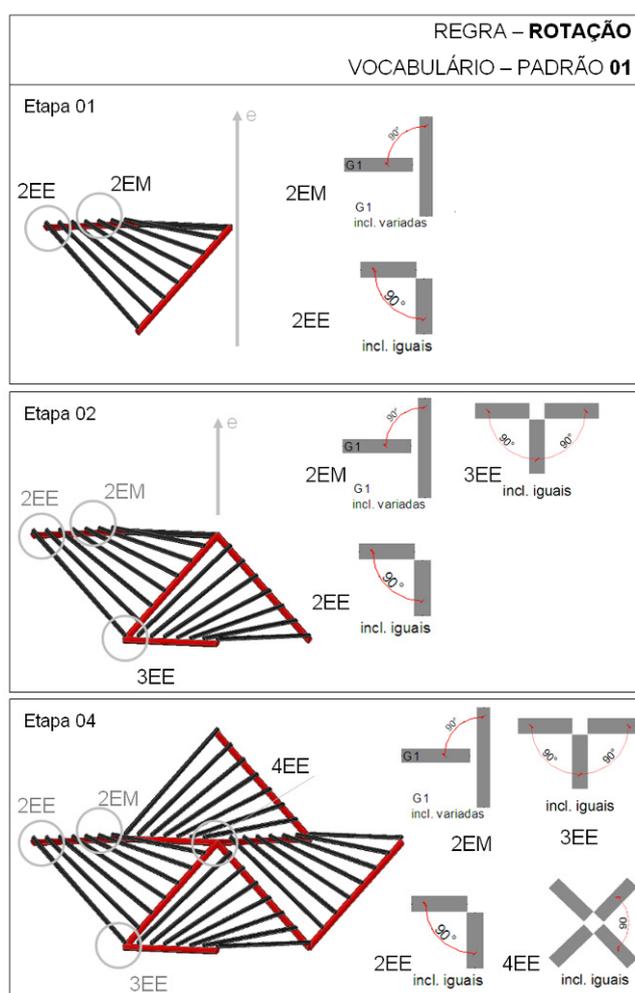


Fig. 48. Imagem indicando a sequencia de geração de superfície e tipologias de junções.
Fonte: Autor.

As tipologias de junção formada pela composição entre os elementos roliços foram identificadas em cada superfície observando quais tipologias surgiram com a aplicação das regras de geração. Este procedimento foi realizado em cada uma das três etapas de geração de superfície como exemplifica a figura 48. A figura 49 descreve as superfícies geradas com as tipologias de junções identificadas, sendo que as demais tipologias e relação com superfície encontram-se no apêndice C. Os pictogramas, usados esquematicamente, descrevem em vista superior a situação extremidade com extremidade e vista para a situação extremidade com meio. O item QTID. refere-se a quantidade de peças; o item JUNÇ. refere-se ao tipo de encontro das peças sendo Ec/E extremidade com extremidade e Ec/M extremidade com meio.

2º GERAÇÃO					PADRÃO 01					PADRÃO 02				
CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO			
REFLEXÃO		2	E c/ E	2A			2	E c/ E	2A					
		2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B					
		3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A					
		3	E c/ M	3B			3	E c/ M	3B					
DIRETRIZ						DIRETRIZ								
REFLEXÃO		2	E c/ E	2A			2	E c/ E	2A					
		2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B					
		3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A					
GERATRIZ						GERATRIZ								

Fig. 49. Quadro com os tipos de junção existentes em cada solução arquitetônica gerada pelo sistema na segunda etapa de geração, considerando eixo das peças coincidentes. Fonte: autor.

O mesmo processo é repetido com a 1º e 2º geração considerando-se as superfícies com eixos **não coincidentes**. O quadro 50 exemplifica a relação das superfícies com as tipologias encontradas, estando no apêndice C os demais quadros. A parte mais escura dos pictogramas ilustra a peça com eixo longitudinal acima das demais, ou seja, ilustra a peça que está apoiada sobre a inferior.

2º GERAÇÃO					PADRÃO 01					PADRÃO 02				
CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO			
REFLEXÃO		2	E c/ E	2EEa			2	E c/ E	2A1					
		2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2B1					
		3	E c/ E	3EEc			3	E c/ E	3EEc					
		3	E c/ M	3EMa			3	E c/ M	3EMa					
DIRETRIZ						DIRETRIZ								
REFLEXÃO		2	E c/ E	2EEa			2	E c/ E	2EEa					
		2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa					
		3	E c/ E	3EEb			3	E c/ E	3EEb					
GERATRIZ						GERATRIZ								

Fig. 50. Quadro com os tipos de junção existentes em cada solução arquitetônica gerada pelo sistema na segunda etapa de geração, considerando eixo das peças não coincidentes. Fonte: autor.

3.2.2 REGRAS DE GERAÇÃO E GRUPOS DE JUNÇÃO

Com os dados obtidos foi possível definir as tipologias de junção de acordo as regras de geração. Assim, pela regra aplicada é possível prever ou antecipar a superfície resultante bem como as tipologias de junções necessárias. A figura 51 exemplifica essas tipologias, desenhadas em vista superior. Destaca-se que a angulação entre o eixo das peças considerando a projeção sobre o plano xy e a inclinação das peças em relação ao plano horizontal é referenciada em nota abaixo do pictograma como também é possível localizar, no apêndice D, as regras e as respectivas tipologias de junções encontradas.

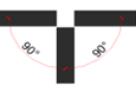
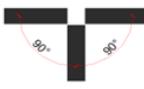
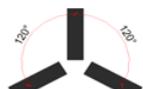
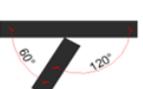
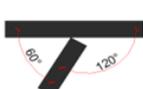
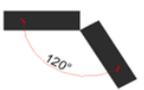
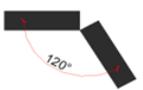
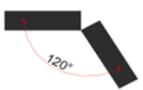
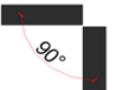
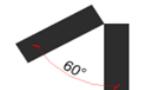
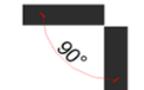
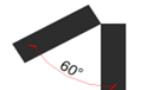
				
				
				
				
				
				
REFLEXÃO ROTAÇÃO PADRÃO 02	REFL+TRANSL DIRETRIZ PADRÃO 01	REFL+TRANSL DIRETRIZ PADRÃO 02	REFL+TRANSL GERATRIZ PADRÃO 01	REFL+TRANSL GERATRIZ PADRÃO 02

Fig. 51. Quadro exemplificando a relação regras de geração e tipologia das junções para solução com eixo coincidente para 1° e 2° geração. Fonte: Autor.

A partir do estabelecimento de relações entre tipologias de junção e regras de geração, foram selecionadas as tipologias de junção necessárias ao sistema formal proposto. As 1^{as} e 2^{as} gerações, com eixo coincidente, formam 20 tipos de junções; com eixo não coincidente formam 41 e a 3^o geração, com eixo coincidente, gera 86 junções

As diferenças de inclinação (26° para padrão 01 e 02 e 45° para padrão 03) não foram consideradas para diferenciar as tipologias de junção por se manterem constantes em todo o sistema de geração. Com eventual alteração de inclinação, as tipologias permanecem iguais sendo somente alterado o valor proposto para a inclinação.

3.2.3 CONTATO ENTRE PEÇAS

A geometria das junções “com ponto de contato e sem ponto de contato”, indicada no item 3.2.1 foi testada, simulando sistemas de conexão existentes. Nas superfícies com eixo coincidente aplicaram-se os sistemas: *dowel-nut*; chapa metálica externa; chapa metálica interna e barra rosqueada. Nas superfícies com eixo não-coincidente aplicou-se barra rosqueada e alça metálica. Os resultados podem ser visualizados no apêndice F e G. A figura 53 ilustra o experimento.

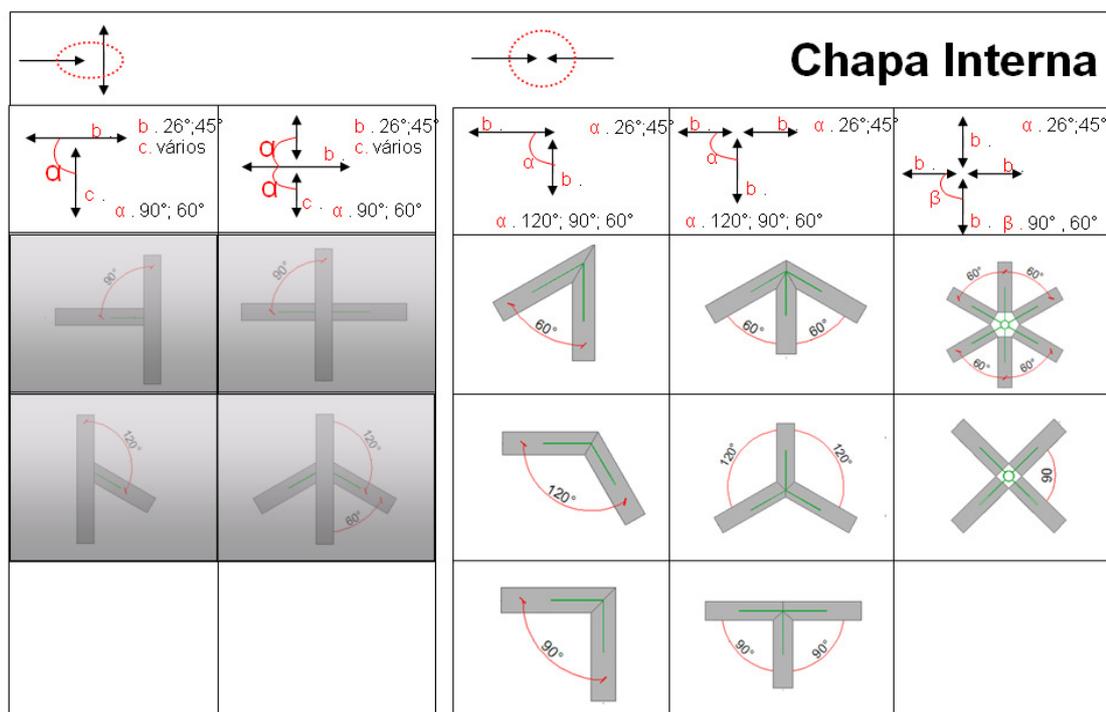


Fig. 53. Tipologias de junção da 1ª e 2ª geração utilizando chapa interna. Fonte: Autor.

3.3 CONEXÃO GENÉRICA

Agarwal e Cagan (1998) utilizaram gramática de formas para geração de cafeteiras variando componentes de acordo a função exercida em diferentes regiões topológicas. Os autores dividiram o objeto em três regiões: a base; o recipiente de armazenamento de água; e a unidade de filtro, projetadas individualmente e combinadas numa forma final. Utilizaram a gramática de formas paramétrica, *parametric shape grammars*, (AGARWAL e CAGAN, 1998), uma extensão da gramática de formas onde as formas são definidas através do preenchimento de condições em aberto dentro de um esquema geral pré-definido.

Considerando que a maioria dos pontos de encontro das peças roliças de madeira geram condições específicas e, por isto, necessitam de diferentes soluções conectivas para atender os requisitos solicitados, propõe-se uma conexão genérica capaz de atender as combinações geradas. Para tanto definem-se os componentes básicos necessários bem como as restrições de articulação cujos requisitos podem ser alterados de acordo regras pré-estabelecidas. Em outras palavras, definem-se os componentes básicos da conexão genérica e aplicam-se regras de posição e quantidade de componentes individualmente, a partir dos parâmetros provenientes das tipologias de junção. A conexão genérica é então modelada para gerar alternativas de articulações, permitindo combinação dos componentes através da variação individual dos atributos, definidos a partir de sistemas conectivos existentes.

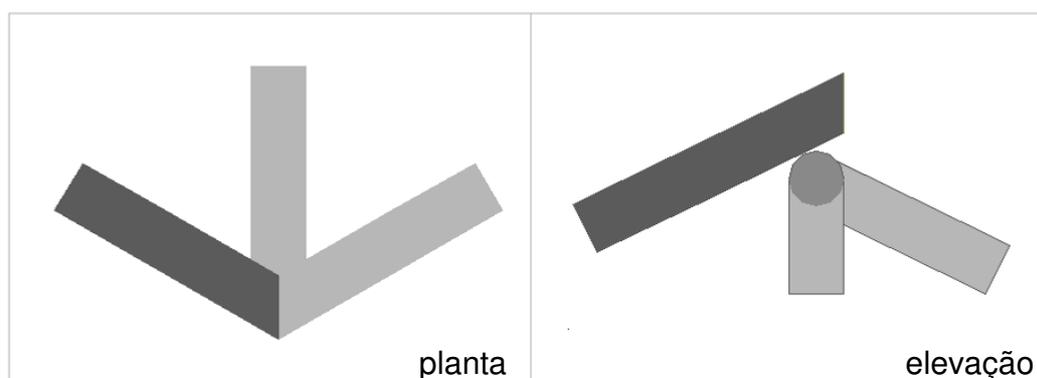


Fig. 54. Desenho esquemático de tipologia de junção existente indicando junção com eixo coincidente que recebe outra peça tornando a junção com eixo não coincidente. Fonte: Autor.

Este procedimento foi realizada para a 1ª, 2ª e 3ª geração com eixo coincidente. A geração de superfícies com eixo não coincidente determina configurações que necessitam de eixo coincidente, pois formam dois sistemas simultâneos com junções em eixo coincidente que, por sua vez, recebe outras peças com eixo não coincidentes, como ilustra a figura 54.

3.3.1 COMPONENTES DE CONEXÃO

Através da análise das tipologias de junções foi possível definir os parâmetros fundamentais e os valores a serem atribuídos na conexão. As figuras 55 e 56 ilustram os parâmetros extraídos das tipologias de junção encontradas onde α descreve os ângulos entre o eixo das peças projetados no plano xy e β indica o ângulo das peças com o plano xy (inclinação). As variáveis das características geométricas nos pontos de junção são: os ângulos; a quantidade de peças; o tamanho do nó central (-; 0; +); bem como a necessidade, ou não, desse elemento separador. Desse modo foi possível chegar à geometria fundamental das conexões necessárias as superfícies geradas.

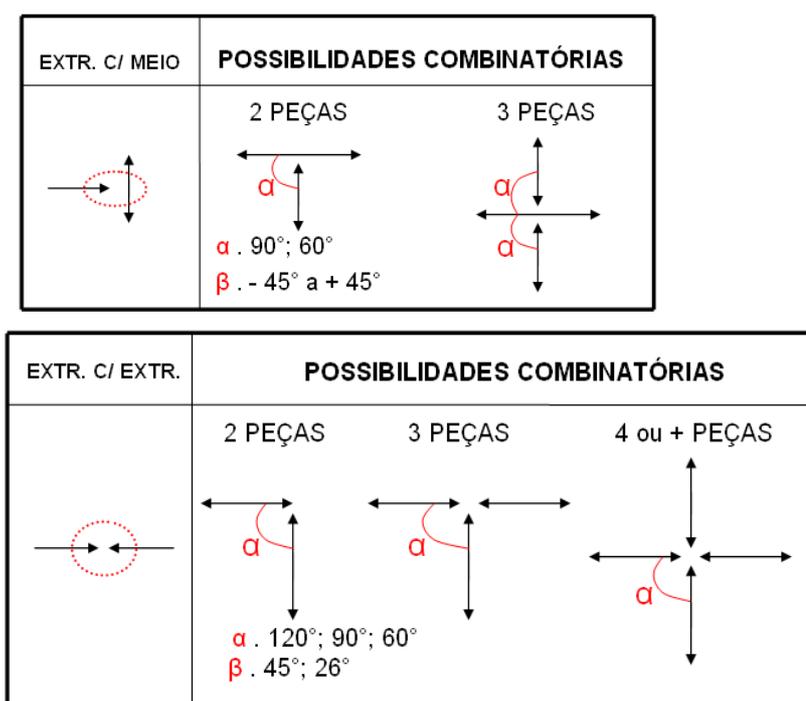
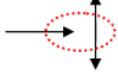
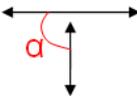
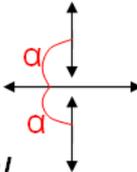


Fig. 55. Parâmetros das junções identificados para a 1º e 2º geração com eixo coincidente. As flechas indicam os eixos longitudinais das peças de madeira. Fonte: Autor

EXTR. C/ MEIO	POSSIBILIDADES COMBINATÓRIAS		
	2 PEÇAS 	3 PEÇAS 	
	α . $>31^\circ <155^\circ$ / $>75^\circ <105^\circ$ (curva) β . 4°; 5°; 13°; 15°; 20°; 21°; 26°; 28°; 35° / 7°; 19° (curva)		

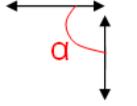
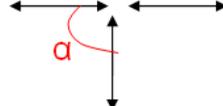
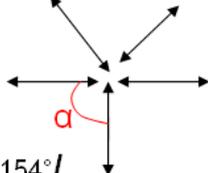
EXTR. C/ EXTR.	POSSIBILIDADES COMBINATÓRIAS		
	2 PEÇAS 	3 PEÇAS 	5 PEÇAS 
	α . 52°; 55°; 60°; 78°; 90°; 94°; 137°154° / $>75^\circ <105^\circ$ (curva) β . 16°; 21°; 26°; 28°; 35° / 26°; 30°; 33°; 35°; 45°; 50° (curva)		

Fig. 56. Parâmetros das junções identificados para a 3ª geração com eixo coincidente. As flechas indicam os eixos longitudinais das peças de madeira. Fonte: Autor

A partir das características de contato entre as peças, dois princípios foram definidos para as conexões genéricas: extremidade com extremidade, (aqui denominado princípio - EE) ou extremidade com meio (aqui denominado princípio - EM). A figura 57 ilustra os dois princípios discriminando os componentes de acordo com a função que desempenham na conexão.

Os componentes 01 e 03 definem elementos de conexão que serão fixados nas peças roliças e o componente 02 o elemento de separação das peças roliças e/ou de união dos demais componentes. Desse modo o componente 01 e 03 tem a função de fixar as peças roliças ao passo que o componente 02 pode: a) separar os roliços e/ ou pode ser utilizado para minimizar a necessidade de recorte dessas peças; e b) unir os componentes 01 e 03 propiciando coesão no conector.

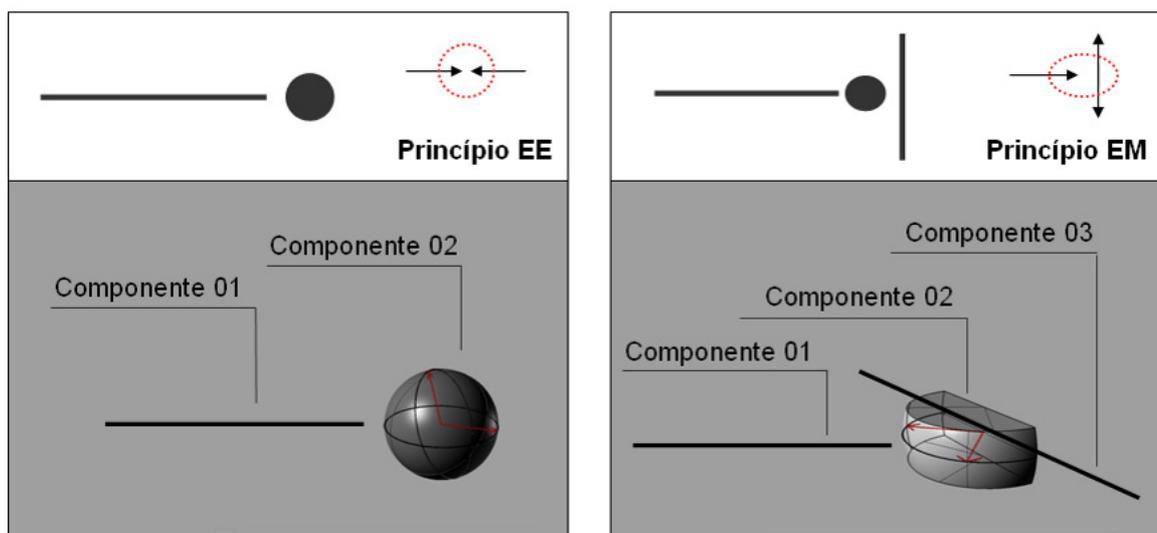
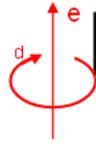
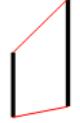
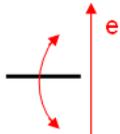


Fig. 57. Desenho ilustrando a característica geométrica fundamental dos conectores: o 1º para situações de extremidade com extremidade e o 2º para situações extremidade com meio de peça. Fonte: autor.

3.3.2 REGRAS GENERATIVAS DE CONEXÃO

Três etapas diferentes entre si formam as regras para composição da conexão genérica. A 1ª etapa define as regras de posição e quantidade de componentes em função dos parâmetros das tipologias de junção. Para isso considera-se inicialmente os componentes como eixos longitudinais centrais da madeira roliça com exceção do componente 03, cujo componente corresponde ao eixo longitudinal situado no quadrante do roliço junto do componente 02. As dimensões dos componentes são variáveis em função do diâmetro da peça de madeira roliça. O quadro 58 ilustra as regras dessa etapa de geração de conexão.

		
Regras	Componentes	Descrição
R1	01	 <p>$n=2;3;4;5;6$ $e=\text{centro nó}$ $\text{ângulos}= 52^\circ \text{ a } 145^\circ$</p> <p>rotação em xy</p>
R2	02	 <p>$e=\text{centro nó}$ $r=>0<2x \text{ diam.}$</p> <p>escala</p>
R3	01	 <p>$n=1$ $e=\text{centro nó}$ $\text{ângulos}= -50^\circ \text{ a } 50^\circ$</p> <p>rotação em z</p>

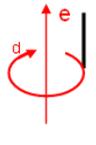
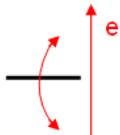
		
Regras	Componentes	Descrição
R4	01	 <p>$n=1$ $e=\text{centro nó}$ $\text{ângulos}= 31^\circ \text{ a } 155^\circ$</p> <p>rotação em xy</p>
R5	01	 <p>$n=1$ $e=\text{comp.03}$</p> <p>reflexão</p>
R2	02	 <p>$e=\text{centro nó}$ $r=>0<2x \text{ diam.}$</p> <p>escala</p>
R3	01	 <p>$n=1$ $e=\text{centro nó}$ $\text{ângulos}= -45^\circ \text{ a } 45^\circ$</p> <p>rotação em z</p>

Fig. 58. Quadro ilustrando regras de posição e quantidade de componentes para articulação.
 Fonte: autor.

Nessa etapa também se definiu as limitações dimensionais estabelecidas pelas tipologias de junções considerando separadamente as 03 fases de geração. No princípio EE da 3ª geração, a inclinação de 50° foi considerada separadamente dado que ocorre somente na superfície com diretriz curva. A figura 59 ilustra as variações para o princípio conectivo EE e a figura 60 ilustra as variações para o princípio conectivo EM.

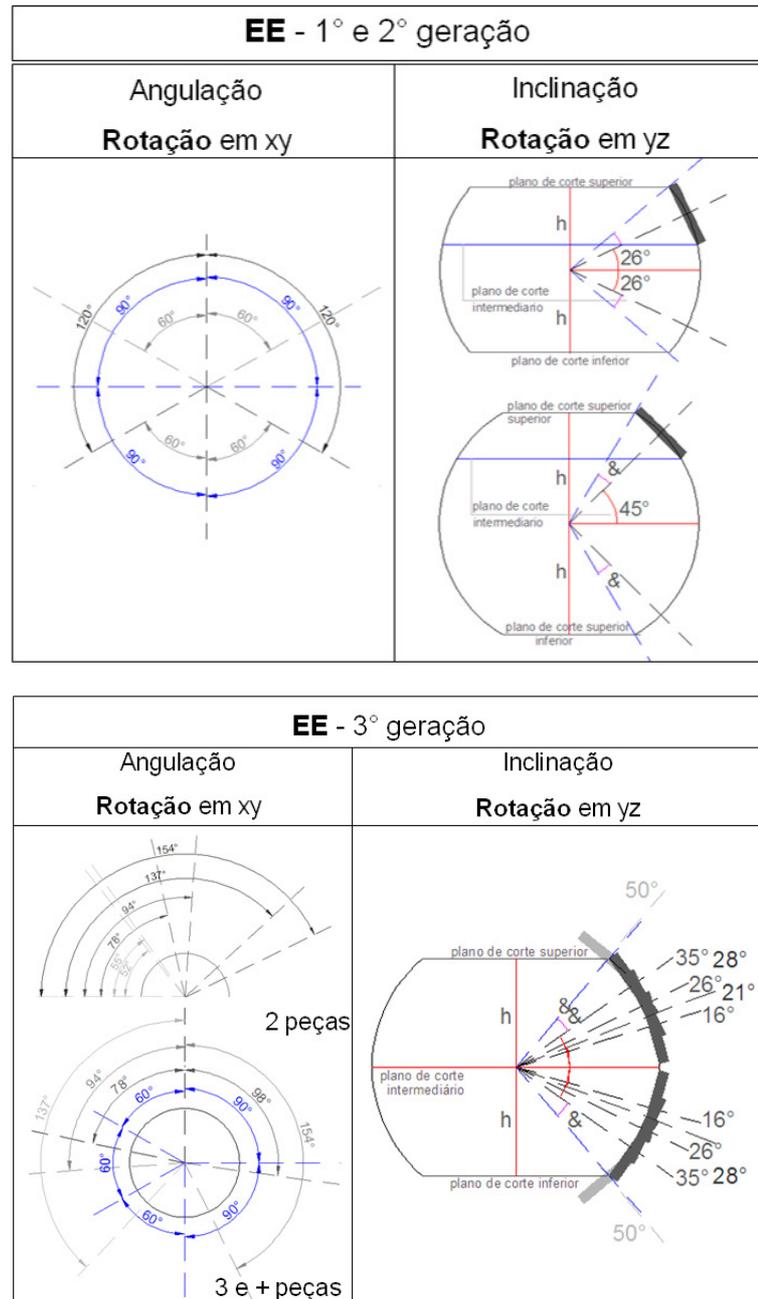


Fig. 59. Ilustração das limitações dimensionais para a regra de rotação no princípio EE.
Fonte: Autor.

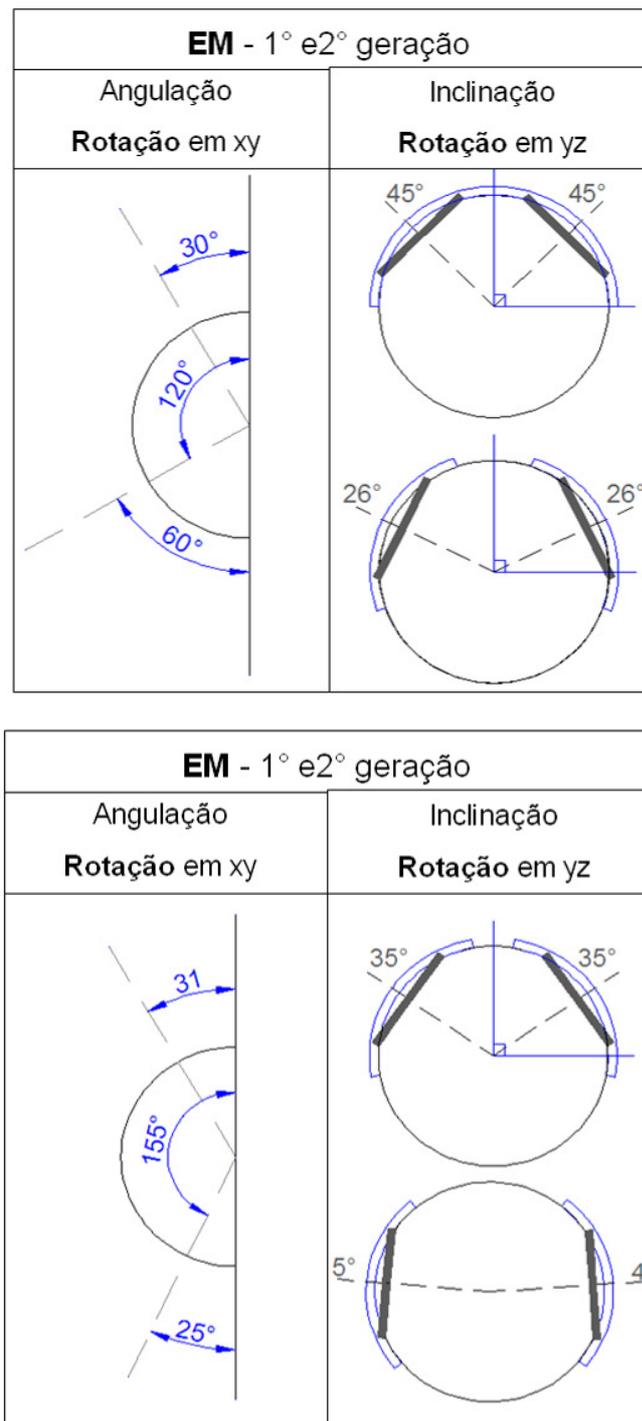


Fig. 60. Ilustração das limitações dimensionais para a regra de rotação no princípio EM.
 Fonte: Autor

As limitações das dimensões para rotação no plano vertical, rotação em yz, foram consideradas a partir de cortes por planos horizontais em esfera virtual, considerada com as seguintes variações: inteira, cortada por plano superior, cortada por

plano intermediário, cortada por plano superior e intermediário e cortada por plano superior e inferior.

Quando cortada por plano superior, o plano situa-se após a inclinação máxima do roliço presente nas superfícies propostas. Desse modo a altura para o plano de corte, indicado na figura 59 pela letra h, corresponde: $\text{sen}(\alpha + 35^\circ) \cdot (\text{diâmetro do roliço} + 15\%)$. O valor de α foi calculado pela expressão: $\text{sen}(\alpha_1) = (\text{diâmetro}/2) / (\text{diâmetro do roliço} + 15\%)$, obtendo-se valor de $25,7^\circ$ que arredondou-se para 26° . O valor de 35° é a máxima inclinação da 3ª geração, que neste caso o ângulo necessário é de 61° ($26^\circ + 35^\circ$). Para a 1ª e 2ª geração o valor atribuído pode ser de 71° quando a inclinação for de 45° , pois $45^\circ + 26^\circ = 71$, e/ou 52° para inclinação de 26° , pois $26^\circ + 26^\circ = 52^\circ$.

Quando cortada por plano intermediário, este plano situa-se após a inclinação mínima das peças roliças sem considerar sua versão negativa, pois neste caso a esfera cortada pode ser invertida para atender as conexões refletidas por plano xy, como ilustra a figura 61. Desse modo a altura para o plano de corte intermediário foi calculado como: $\text{sen}(\alpha - 16^\circ) \cdot (\text{diâmetro do roliço} + 15\%)$. O valor de α corresponde a 26° como indicado anteriormente.

Quando a esfera virtual é cortada por plano superior e inferior, o plano superior é refletido por plano x,y situado no eixo central da esfera, gerando o plano de corte inferior.

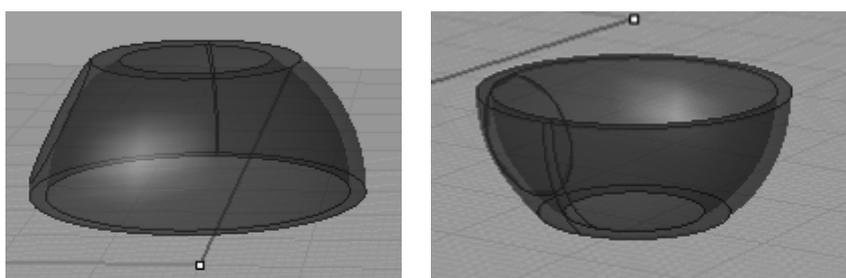


Fig. 61. Esfera virtual recortada por plano superior e mesma esfera refletida por plano x,y.
Fonte: Autor.

A **2ª etapa** envolve regras de geração de atributos para os componentes definindo os vocabulários dessa etapa. Baseada em sistemas conectivos metálicos, nesta etapa demonstram-se regras para gerar variações de elementos conectores através da substituição de vocabulário pré-definido para cada componente individualmente.

O componente 01 foi trabalhado considerando como vocabulário: chapa interna, barra rosqueada e chapa externa dupla²².

Desse modo, a chapa interna segue o eixo longitudinal, aplicando-se regra de escala para ampliar a peça no sentido transversal do roliço, sendo $\frac{1}{2}$ diâmetro vetor positivo e $\frac{1}{2}$ diâmetro vetor negativo. As chapas externas partem da aplicação da “translação” para deslocar o eixo longitudinal do centro para as duas extremidades da peça roliça. Após, são aplicadas regras de escala para ampliar as peças no sentido do eixo transversal do roliço, sendo $\frac{1}{8}$ diâmetro vetor positivo e $\frac{1}{8}$ diâmetro vetor negativo, resultando em chapa de menor altura, diminuindo área de desbaste para fixação. A barra rosqueada é formada a partir do eixo longitudinal, cujo cilindro é desenvolvido ao seu redor.

O componente 02, caracterizado como um nó central, foi considerado como positivo ou inexistente. Sendo inexistente faz com que as peças roliças se encostem havendo necessidade de entalhá-las para ajustar as superfícies das peças. Quando positivo foi considerado inclinado ou perpendicular ao plano xy. Sendo inclinado segue perpendicularmente a inclinação do roliço permitindo que seja cortado transversalmente, sem necessidade de corte oblíquo para se adaptar ao nó central. O vocabulário deste componente é: hexágono, hexágono inclinado, quadrado, quadrado inclinado, planos perpendiculares ao roliço²³ e/ou inexistente para princípio EE. Para princípio EM: esfera, triângulo ou inexistente. A partir do ponto central pré-estabelecido e considerando o ponto de encontro dos eixos dos roliços definem-se os polígonos que podem variar a sua forma inclinando suas faces de modo a ficarem perpendiculares ao eixo longitudinal dos roliços.

O componente 03 segue o eixo longitudinal e localiza-se no quadrante do círculo que compõe a seção transversal do roliço, permitindo a junção com os demais componentes. Como se caracteriza por peça de meio, não permite chapa interna ou barra rosqueada seguindo o eixo longitudinal. Considerou-se como vocabulário a chapa

²² As chapas: externa, curva e interna deverão ser fixadas nos roliços com o auxílio de barra rosqueada, com aperto de porcas nas extremidades das barras de aço. (BRITO, 2010).
A barra rosqueada, quando inserida na extremidade do roliço, deverá ser rosqueada em pino metálico, previamente conectado a madeira roliça, com furo rosca fêmea compatível com o diâmetro da barra. (BRITO, 2010).

²³ Tais planos podem ser unidos com chapas metálicas formando um nó central customizado para cada situação.

externa e a chapa curva. A figura 62 ilustra os vocábulos utilizados para os componentes da conexão genérica.

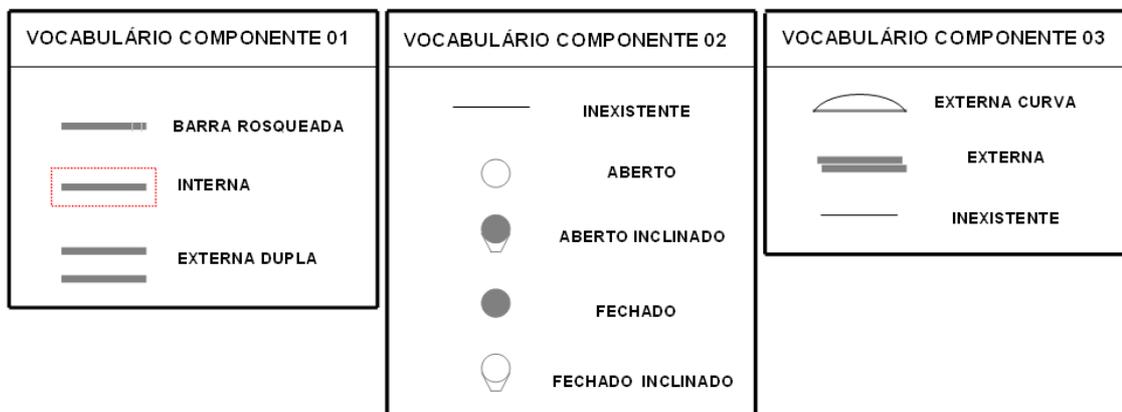


Fig. 62. Ilustração dos vocabulários de acordo o componente da conexão genérica. Fonte: Autor.

A 3ª etapa define como o vocabulário dos componentes 01 e 03, podem ser combinados com o vocabulário do componente 02. A figura 63 demonstra as combinações possíveis entre os componentes de acordo o vocabulário utilizado.

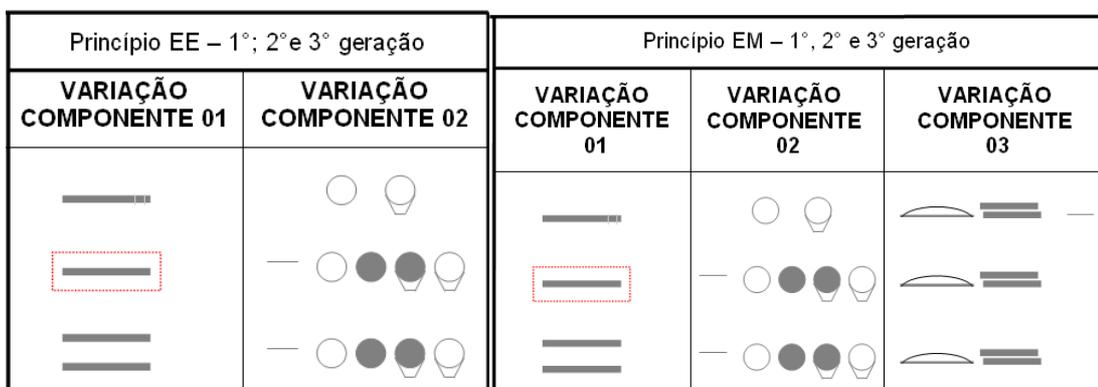


Fig. 63. Relação combinatória entre vocabulário dos componentes do princípio EE e princípio EM. Fonte: Autor.

As regras foram testadas no *Grasshoper*²⁴, pois além de permitir a visualização tridimensional das combinações pretendidas, permite o controle das relações geométricas pré-estabelecidas pelo designer. É uma plataforma de projeto que admite a modelagem paramétrica, sendo possível esboçar um modelo digital e gerar centenas de variações. (KHABAZI, 2010). Desse modo é possível experimentar diferentes

²⁴ Programa desenvolvido por David Rutten at Robert McNeel & Associates.

combinações bem como estabelecer as restrições necessárias para cada conexão. Os componentes das conexões foram parametrizados em relação ao diâmetro médio das peças roliças de madeira, onde a variação do diâmetro da mesma resulta em alteração das dimensões da conexão e seus componentes.

A programação foi feita separadamente para cada um dos dois princípios (EE e EM) da conexão, partindo da definição do ponto inicial de cada conexão genérica. No caso do princípio-EE o ponto inicial encontra-se no centro do componente 02 ao passo que no princípio-EM o ponto inicial encontra-se no ponto comum ao componente 03 e 02. Na sequência foram inseridas as regras da 1ª etapa que definem os parâmetros necessários para atender as tipologias de junções e depois modelados os vocábulos da 2ª etapa.

A última etapa combinou os componentes para gerar as alternativas de articulações. A figura 64 ilustra o processo e a figura 65 descreve a programação no *Grasshopper*.

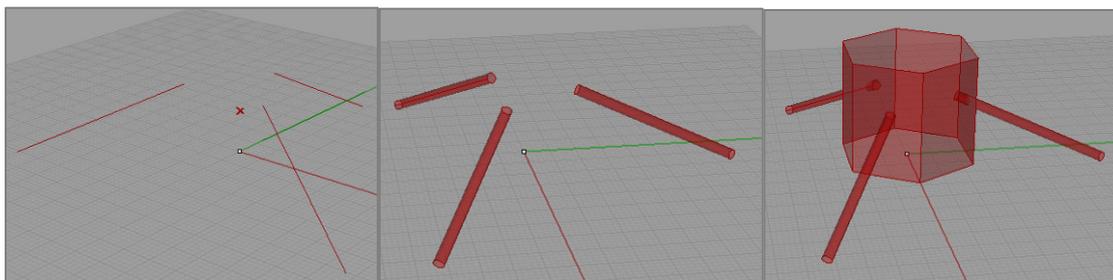


Fig. 64. Exemplo das etapas para gerar conexão genérica. Fonte: Autor.

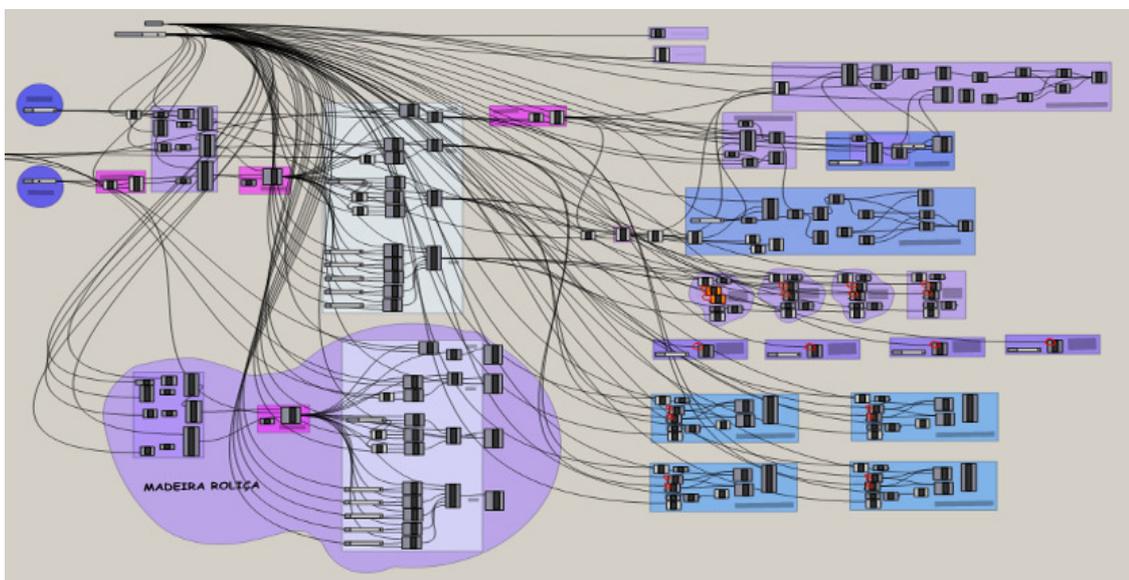


Fig. 65. Imagem da programação realizada no *grasshopper* para o princípio EE. Fonte: Autor

Considerando as tipologias de junções existentes na 3ª etapa de geração, com ângulos mais irregulares e em maior número que os ângulos da 1ª e 2ª geração, foi elaborada solução para o componente 02 de modo a torná-lo mais flexível e apto a atender a variação angular proveniente das múltiplas posições assumidas pelos componentes 01 e 03.

Assim, para o princípio EE, o componente 02 foi estruturado também a partir de esfera na qual foram modelados planos perpendiculares ao eixo longitudinal dos elementos roliços de modo a recebê-los sem a necessidade de entalhes na face transversal da peça. O ponto central da esfera é coincidente com o ponto de encontro dos eixos longitudinais das peças de madeira. O raio da esfera foi calculado em função do diâmetro do roliço e com acréscimo de dimensão para que as peças mais próximas, ângulo de 52° entre seus eixos longitudinais, não tivessem contato. O valor do raio é igual ao diâmetro do roliço + 15%, valor obtido pelo cálculo do triângulo retângulo formado em função do ângulo de aproximação das peças e do diâmetro do roliço. Esse valor coincide com a medida do ponto central da lateral da face que cortará a esfera, como ilustra a figura 66 a seguir.

A figura 67 demonstra exemplos de articulações geradas variando os vocábulos dos componentes conectivos.

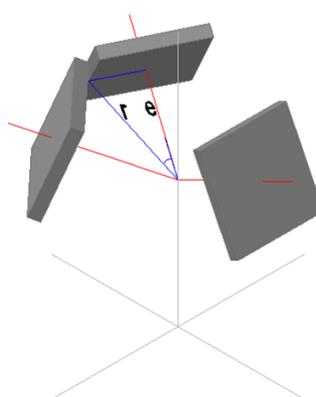


Fig. 66. Cálculo do raio da esfera em relação ao menor ângulo entre peças. Fonte: autor.

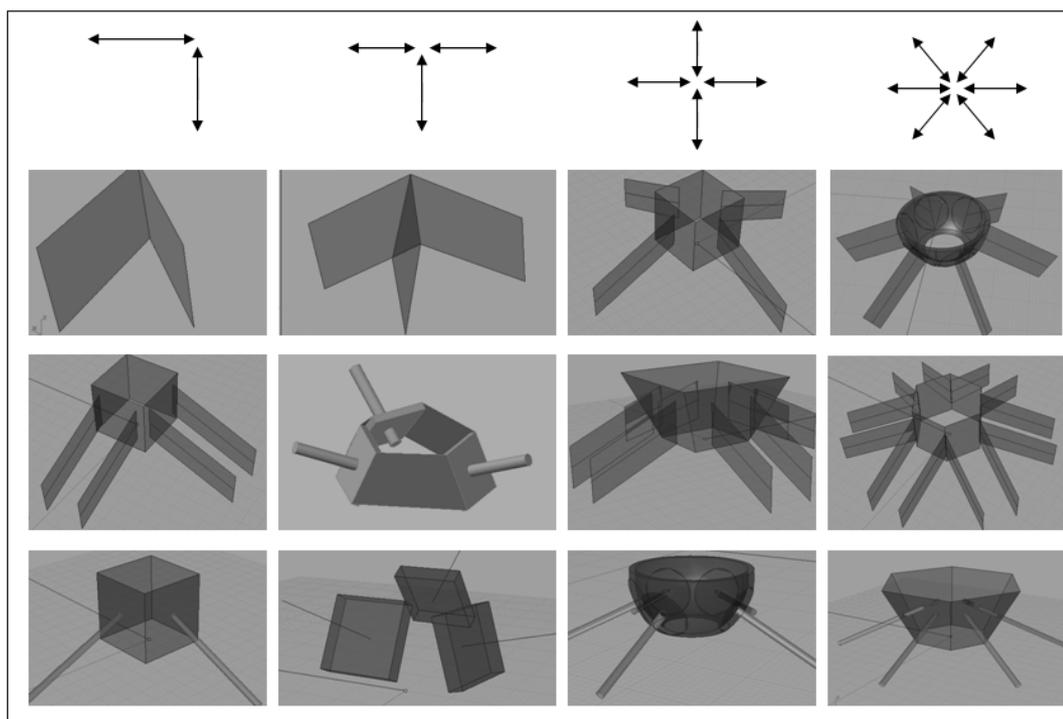


Fig. 67. Quadro com exemplos de articulações geradas a partir do princípio EE. Fonte: Autor.

Para o princípio EM, o componente 02 foi considerado inexistente, como uma esfera e como um triângulo de dimensões variáveis. No caso da esfera foi necessário ampliar seu diâmetro em relação à esfera utilizada para o princípio de conexão EE, para que a mesma pudesse atender todas as angulações e inclinações. Para o componente 02 com forma de triângulo trabalhou-se com este fechado ou aberto. O triângulo aberto é adequado para receber a fixação da barra rosqueada. O componente com esta configuração é combinado com os atributos do componente 01 ao passo que o componente 03 mantém-se como chapa externa reta ou curva. O triângulo foi programado através da angulação entre a peça de meio com a peça que aproximasse desta pelas extremidades, sendo o menor ângulo encontrado de 31° . Assim modelaram-se dois triângulos, um variando de 0° a 60° e outro de 0° a -60° , como ilustra a imagem 68.

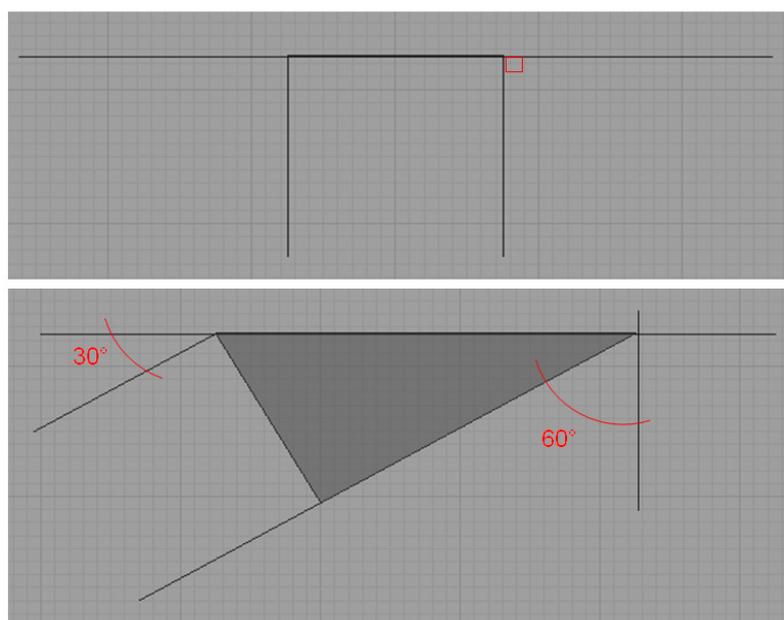


Fig. 68. Representação em planta de componente 02 em forma de triângulo. Na 1ª imagem com angulação nula e na 2ª com 60°, máxima rotação necessária. Fonte: Autor.

Quando da existência de três peças, qualquer geração do componente 02 em triângulo ou esfera, é espelhado através de plano que contem o eixo longitudinal do roliço de meio. A inclinação dessa conexão acompanha a circunferência do roliço sem interferência no caso de duas conexões na mesma peça, como ilustram as figura 60 e 69. O estudo da limitação permitiu identificar a angulação máxima para o arco que forma a chapa curva do componente 03. Assim possível utilizar o ângulo de 90° sem ocorrer sobreposição de peças.

A imagem 69 ilustra exemplos das conexões modeladas pela variação dos vocábulos dos componentes e a imagem 70 ilustra exemplos de articulações representadas juntamente com as peças roliças.

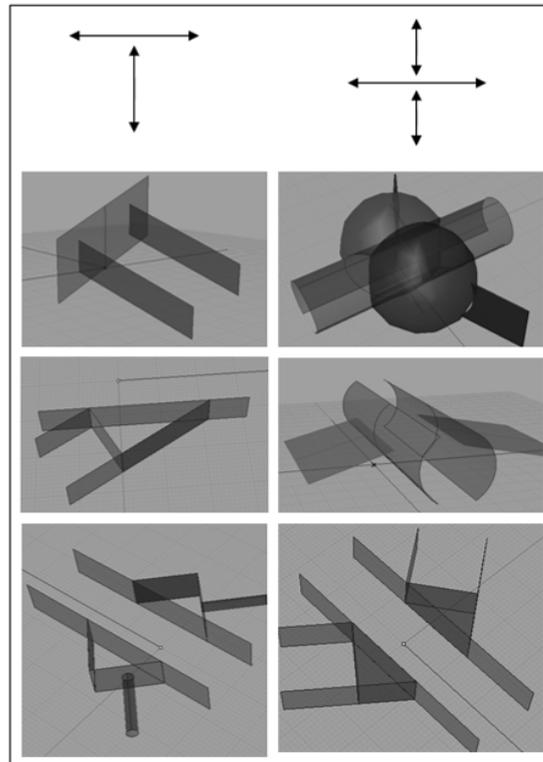


Fig. 69. Ilustração com exemplos de conexão para princípio EM. Fonte: Autor.

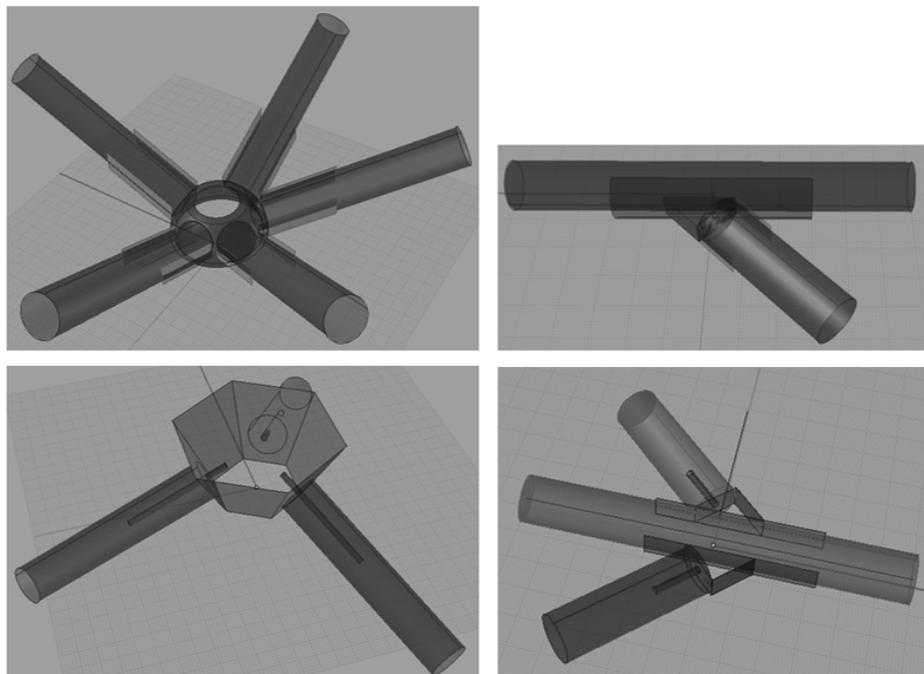


Fig. 70. Imagem com exemplo de conexões propostas. Fonte: Autor

Conexões existentes:

O modelo genérico de conexão proposto também mostrou-se apto a descrever conexões existentes. O quadro 71 mostra a análise do modelo através do vocabulário usado em cada componente.

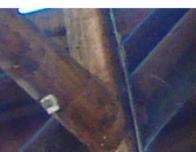
Análise			Princípio EE			Princípio EM				
Componentes			Quantidade de peças							
01	02	03	02	03	04 +	02 e 03				
A	—	—								
B	—	A					B	C	D	
C	—	—								
D	—	—								
E	—	—								
F	—	E					F	G	H	
G	—	●								
H	—	—								
I	—	—								
J	○	I					J	K	L	
K	●	—								
L	—	—								

Fig. 71. Quadro com a descrição das conexões existentes. Referências das imagens encontram-se no apêndice H. Fonte: Autor.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 GERAÇÃO DE SUPERFÍCIES

Na 1^o fase trabalhou-se com três modelos de padrões, um com projeção do perímetro formando um quadrado e os outros dois, um losango. No padrão 01, todos os vértices possuem ângulo de 90°, o que possibilitou o deslocamento do eixo de rotação para dois destes, localizados nos vértices mais altos em relação ao plano xy. No padrão 02, os vértices cuja diretriz encontra com seu ponto mais alto em relação ao plano xy do sistema cartesiano, apresentam ângulo de 60°. Isso forma uma superfície de 06 módulos quando aplicada regra de rotação. No padrão 03 a origem da linha da diretriz parte do vértice de 60°, sendo o ponto mais alto da mesma no vértice com ângulo de 120°, onde localiza-se o marcador, o que gera uma superfície de 03 módulos quando aplicada a regra de rotação. O ângulo do vértice que contem o eixo de rotação determina quantos módulos dos padrões são necessários para completar 360°, a rotação completa, indicando como a variação do padrão afeta as combinações na fase 02 de geração.

Além disso, para cada padrão é possível variar a inclinação das peças que acompanham as diretrizes o que determina mudanças de inclinação de toda a superfície, visto que as geratrizes são ligadas as diretrizes. Os padrões testados apresentam diretrizes de iguais tamanhos e reversas. Entretanto, é possível testar outras posições para os elementos, o que determinaria alteração no padrão e, conseqüentemente, nas combinações possíveis da segunda fase de geração.

A regra de translação foi aplicada pelo plano que contem a geratriz da extremidade e pelo plano que contem a diretriz, nos dois padrões. Em ambos os casos essa regra não permite a continuidade de superfície, visto que as retas são reversas e geram só um ponto de contato.

As regras de rotação e reflexão+rotação geram superfícies centralizadas devido à junção dos padrões num ponto central, para os três vocábulos. As regras de reflexão+translação geram superfícies lineares, pois os padrões se agrupam seguindo diretriz retilínea. No caso do padrão 03, a regra de rotação e reflexão+rotação geram as mesmas junções, com os mesmo ângulos

Na 3^o fase a regra de reflexão+rotação e a regra de rotação geram igual superfície e conseqüentemente mesmas tipologias de junções.

4.2 RELAÇÃO SUPERFÍCIE - JUNÇÕES

Dentro os itens indicados na página 54 - item 3.2.1., observa-se que as tipologias de junções são afetadas, inicialmente, pela escolha do eixo longitudinal das peças - item a), sendo coincidente ou não. Isso reflete na alteração das características geométricas nos pontos de encontros das peças roliças solicitando soluções de conexões específicas conforme a escolha prévia da posição dos eixos nas superfícies.

Os itens b) e c), quantidade de peças e o tipo de contato entre peças são provenientes da geração formal proposta cujas aplicações de diferentes regras proporcionam variações nas junções sendo possível uma análise por fases de geração, conforme descrito a seguir.

Na 1^a fase, as junções são geradas entre duas peças, extremidade com extremidade e extremidade com meio da peça, sendo que as junções de extremidade com extremidade ocorrem nos vértices dos padrões.

Na 2^a fase, a regra de reflexão bem como a de reflexão+translação, ambas pelo plano que contem a geratriz, são as soluções formais que conservam as características das junções mais próximas com as junções presentes nos padrões da 1^a fase, sendo necessário apenas mais um tipo de conexão: extremidade com extremidade e 03 peças. Por sua vez, regras de reflexão e de reflexão+translação, ambas pelo plano que contem a diretriz geram vários encontros de três peças-extremidade com meio. As regras de rotação e de reflexão+rotação apresentam características compositivas semelhantes, marcadas pelo ponto central da superfície, ponto de junção de várias peças, comum a essas soluções formais. A diferença ocorre pela posição dos eixos longitudinais dos roliços, fato que acarreta soluções de conexões diferentes nas junções dos padrões. O número de padrões após regra de rotação, é que define a quantidade de peças a serem unidas no ponto central.

As tipologias de junções geradas pelo padrão 03 podem ser comparadas com as tipologias geradas pelo padrão 02. As exceções estão nas inclinações dos roliços, que diferem-se devido a inclinação atribuída aos padrões na 1^a fase de geração e nas

tipologias de junções geradas pelas regras de rotação e reflexão+rotação pois utilizam 03 padrões para rotação completa.

A relação das regras de geração com as tipologias de junções, ilustrada no apêndice D, demonstra que a regra que proporciona mais tipos diferentes de junção é a reflexão+rotação, com cinco tipologias. As regras de reflexão e reflexão+translação ambas pelo plano que contem a geratriz, são as que apresentam menor quantidade de tipos possuindo um a mais que as junções dos padrões, com dois tipos.

No caso da **3ª geração**, como o padrão é parametrizado, as combinações já iniciam com um número maior de tipologias de junção. Enquanto o padrão 01 possui 04 tipologias e o 02 possui 05 tipologias, os padrões 01 e 02 parametrizados possuem 16 tipologias cada. As tipologias nesta fase são em maior número, mas preserva-se a relação das regras de geração com as tipologias geradas.

Em relação ao item c) observa-se que as peças extremidade com meio possuem inclinações diferentes. No caso das superfícies geradas na 1º e 2º geração, os 12 pontos de junção (EM) geram 03 tipologias. Isso ocorre em função dos padrões serem simétricos entre si. Para eixo não coincidente, dos 12 pontos de junção (EM), 06 são iguais gerando dobro de peças do eixo coincidente. Para os padrões parametrizados, cada junção gera uma angulação específica totalizando 24 junções diferentes, 12 para cada padrão da terceira fase. Na superfície com diretriz curvas todos os encontros de peças são diferentes entre si. A angulação em relação ao plano xy também influencia nessa diferenciação, pois as peças partem para direções distintas, alterando as inclinações, como ilustra a figura 72.

Na análise de **eixos não coincidentes** observa-se a necessidade de um número maior de tipologias de junção para atender o sistema. Além de conservar tipologias com eixos coincidentes, geram um subsistema de eixos coincidentes para depois acrescentar peça de eixo não coincidente. No caso de junção de três peças, extremidade com extremidade, há diferenças no decorrer das gerações, pois a peça que fica por cima das outras altera sua posição, gerando características diferentes na mesma tipologia de junção. É necessário resolver o encaixe das peças com eixo coincidente para depois sobrepor e fixar a peça com eixo não coincidente as demais. As superfícies com menos tipologias de junção são geradas pelas regras de reflexão e reflexão+translação, ambas pelo plano que contem a geratriz. Em razão de gerarem, na maioria das junções, soluções entre 02 peças, são as que mais adaptáveis a este sistema.

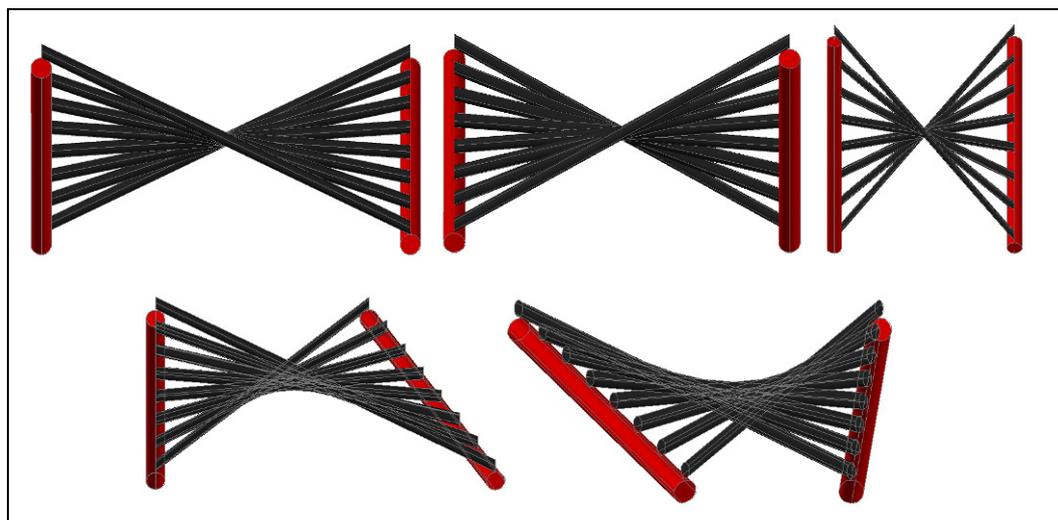


Fig. 72. Elevações dos padrões. Fonte: autor.

O item d) com ponto de contato ou separados por algum outro componente da articulação permite um agrupamento de junções pela relação da característica da extremidade das peças: 1) com recorte ou entalhe (-), 2) aproximadas por algum ponto de contato (0 ou nulo); ou 3) separadas por algum tipo de conector. (+). No item 1) é necessário entalhar as peças para que haja superfície de contato. No item 2) a área de contato é somente uma linha ou ponto podendo ser necessário um desbaste na peça para ampliar essa área. No item 03 há outro elemento que separa as peças que pode ser ajustado a inclinação do roliço para que este possa ser cortando transversalmente.

Na aplicação de **sistemas conectivos** existentes, nas tipologias de junções geradas, observa-se que somente a chapa externa atende todos os componentes. Nas junções com 04 e/ou mais peças é necessário um anel metálico para uni-las, devido dificuldade de entalhar 04 peças ou mais e ainda propiciar área para fixação de chapas, pregos e/ou parafusos. O sistema *Dowel-Nut* exigiu a separação de junções com 03 peças para permitir o encaixe dos conectores. Tal sistema não pode ser aplicado na junção extremidade com meio e 03 peças devido à falta de espaço para fixar seus componentes metálicos. O mesmo ocorreu com a chapa interna sendo agravada para extremidade com meio e 02 peças. Com exceção de tipologias de junções com 04 peças ou mais, que foram previamente separadas por peça metálica, as outras tipologias necessitam de entalhe para ajustar-se as diferentes inclinações e angulações impostas pelas superfícies.

Desse modo é possível conhecer as tipologias de junção e como a composição arquitetônica afeta as mesmas, e/ou vice-versa, propiciando alteração na composição arquitetônica e na junção simultaneamente.

4.3 CONEXÃO GENÉRICA

Como já explicitado, a conexão genérica volta-se para os dois casos de articulação: extremidade com extremidade de peça (EE) e extremidade com meio de peça (EM). Para esses dois princípios definiram-se as regras que formam as conexões e as regras para a modelagem das conexões.

Os **parâmetros de junção** definem as características básicas das tipologias de junção e definiram as **regras de posição e quantidade de componentes**. Na 1ª e 2ª geração, se observa que as quantidades de peças em cada junção variam de 02, 03, 04 e 06, que os ângulos entre as peças são 60°, 90° e 120°. Os ângulos de inclinação são de 26° e/ou 45° de acordo escolha feita para os padrões. Isso também determina inclinações variáveis para as junções específicas 2EM (duas peças encontro extremidade com meio). Na 3ª geração, devido à combinação de padrões parametrizados, os ângulos entre as peças são irregulares e em maior quantidade. Nas **regras de geração**, vocábulos específicos para cada um dos componentes foram definidos, considerando sua posição e função na conexão. As **regras para união dos componentes** definem quais combinações entre vocabulários são viáveis.

Análise do princípio EE:

A 1ª e 2ª gerações configuram tipologias de junção com igual inclinação, ângulos exatos e poucas variações entre as superfícies, o que possibilita o componente 02 baseado em polígonos regulares adequado aos ângulos formados pelas peças roliças. Para as superfícies geradas pelo padrão 01, trabalha-se com o quadrado, e para as superfícies geradas pelo padrão 02 e 03 trabalha-se com o hexágono. Essas duas peças foram modeladas em solução perpendicular ao plano xy e em solução inclinada adequada a inclinação dos roliços. O procedimento inclinado minimiza o recorte da peça visto que neste caso necessita-se apenas de recorte transversal e perpendicular ao

eixo longitudinal. A figura 73 ilustra uma conexão cujo roliço é cortado na extremidade perpendicularmente ao seu eixo longitudinal.

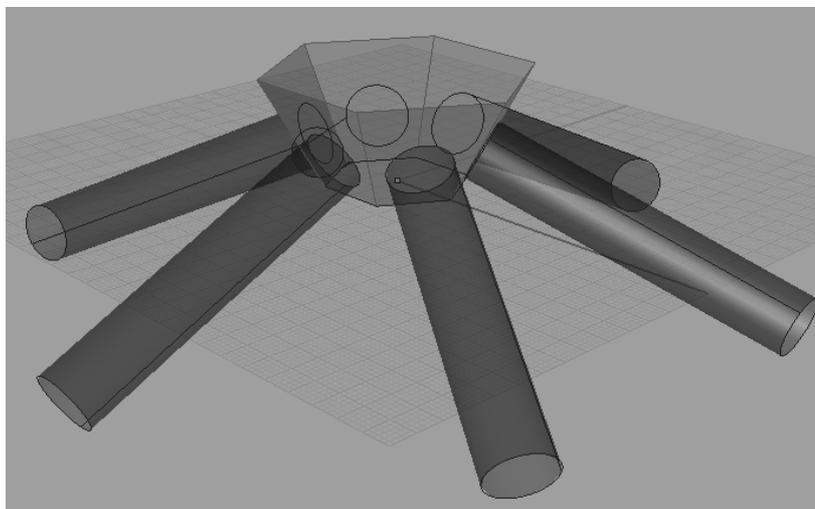


Fig. 73. Figura ilustrando o encontro da peça roliça com componente 02 inclinado, fato que permite o roliço ser cortado transversalmente, sem inclinações. Fonte: Autor.

Na 3^o geração, a solução de conexão proposta adapta-se as junções requeridas pelo sistema compositivo. A cada posição das peças, o componente 02 forma planos perpendiculares às peças roliças. Adapta-se à tipologia de junção sem a necessidade de entalhar o roliço, pois os planos facetam a esfera virtual exatamente na posição cujo roliço tangencia o componente 02.

A solução com barra rosqueada pode ser combinada com as soluções do componente 02, mas necessita que esse elemento seja positivo e vazado, ao considerar espaço para fixação deste componente²⁵. A solução com chapa interna se adapta a todas as soluções propostas do componente 02 que, quando inexistente, obriga a união das chapas, em ponto central da junção, para formar a conexão. O componente 02 positivo para chapas externas permite a formação de peça única para conectar os roliços.

Análise para combinações do princípio EM:

Este princípio difere-se do anterior por apresentar mais um componente, o componente 03. Ao passo que o componente 01 preserva as suas características, como apresentada na conexão anterior, o componente 03 possui como vocabulário a chapa

²⁵ O mesmo pode ser inexistente a barra rosqueada pode ser usada diretamente para fixar dois roliços, mas será necessário entalhar as peças de madeira para ajustá-las.

externa curva e chapa externa plana e caracteriza-se pela ausência de chapa metálica interna. O componente 02, além da possibilidade de ser inexistente, apresenta peças semelhante a um nó, promovendo um espaçamento entre os roliços.

Para o componente 02 o trabalho apresenta duas situações: uma com o componente 02 em forma de esfera e outra com o componente 02 em forma de triângulo. Quando é necessária a junção de 03 peças, a esfera é espelhada pelo eixo do roliço sendo necessário prever esse encontro e dimensionar o corte da esfera. Em situações onde serão necessárias várias conexões, uma ao lado da outra, a situação pode agravar-se pelo tamanho que a esfera necessita. No caso da solução solucionada com um triângulo o resultado foi mais satisfatório tanto pela possibilidade de atender as angulações como pelo apoio que a mesma gera à extremidade do roliço permitindo corte perpendicular mesmo quando a madeira estiver inclinada. Para atender as inclinações, a peça metálica fixa-se no roliço na posição solicitada, sendo duplicada (em reflexão) para unir 03 roliços. Como indicado na figura 60, não ocorre sobreposição.

Nos dois princípios (EE e EM) o recorte dos roliços para unir as peças é dificultado, além das irregularidades do material, pelas diferentes angulações encontradas nas superfícies propostas. Assim para cada junção seria necessário recortar a extremidade do roliço de determinada maneira. O componente 02 positivo e adequado à posição do roliço, pode facilitar a junção por permitir corte transversal na extremidade da peça, minimizando os locais de entalhe e padronizando o tipo corte para todos os pontos de junções. A figura 74 ilustra a situação de entalhes em relação ao formato do componente 02 nas conexões e a figura 75 ilustra a relação entre as tipologias de junções com o tipo de corte necessário nas fases transversais dos roliços.

Comp. 02	Madeira roliça
—	Peça roliça precisa ser entalhada
	Peça roliça precisa de corte inclinado
	Somente corte transversal

Fig. 74. Quadro indicando o tipo do componente 02 e sua relação com o corte na extremidade do roliço. Fonte: Autor

Relação tipo junção com tipo de corte na fase transversal do roliço											
forma conexão	—		●		●		forma conexão	—		●	
	tipos junções	90°		90°		90°			tipos junções	90°	
02 roliços	01	02+	01	01	0	0	02 roliços	00*	01	0	0
03 roliços	02+	02+	01	01	0	0	03 roliços	00*	01	0	0
04+ roliços	03+	03+	01	01	0	0	junções	06	68	03	68
qtidade junções	03	27	03	27	03	27	corte	01	63	01	01
qtidade tipos corte	03	23	01	23	01	01	quantidade de planos necessários para corte fase transversal da peça roliça de acordo tipologia de junção quantidade de tipos de corte para atender as tipologias de junções				
* considerando fixação com 01 ponto de contato (roliço de topo)											

Fig. 75. Quadro com relação entre tipologias de junções com o tipo de corte necessário na extremidade do roliço de acordo a forma do componente 02. Fonte: Autor

Em relação à análise realizada nos exemplos encontrados, é possível observar que o componente 02 é sempre inexistente para encontro de 02 peças e para situações do princípio EM. Também não se encontrou exemplos de componente 02 adequado a posição do roliço. A maioria dos exemplos utilizados necessita de entalhe na fase externa e transversal da madeira cilíndrica.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Este trabalho partiu da premissa de que as conexões utilizadas para gerar composições arquitetônicas são dificultadas pela forma cônica e irregular do material e das variações de posição que as peças roliças assumem no espaço tridimensional. A antecipação dos princípios compositivos permitiria projetar e controlar simultaneamente composição e conexão, otimizando processos projetuais.

Assim, identificaram-se as características existentes em cada ponto de encontro das peças roliças que formam as composições, e o conhecimento das tipologias de junções permitiu a elaboração de conexão genérica, apta a atender as superfícies propostas.

O método demonstra a capacidade de vincular as tipologias de junções com as composições geradas através do controle das regras aplicadas. A partir dessas tipologias foi possível planejar um sistema conectivo capaz de adaptar-se a grande variedade de angulações das superfícies, ampliando a adequação da madeira roliça a soluções arquitetônicas diversificadas utilizando somente dois tipos de encontro entre as peças: extremidade com extremidade e; extremidade com meio de peça.

A variação de vocabulário, aptos a substituírem componentes da conexão genérica, permite explorar múltiplas alternativas de combinações compositivas e comparar diferentes opções de conexões que podem ser adequadas para um conjunto específico de superfícies. Apoiando-se na relação regras de geração com junções é possível identificar qual princípio de conexão será necessário para determinada solução compositiva, permitindo ao arquiteto explorar e manipular as dimensões plásticas das conexões. A inserção dos dados referentes as tipologias de junções num software paramétrico (*Rhinoceros* e *Grasshoper*) permitiu modelar as diferentes situações de conexões solicitadas além de demonstrar a possibilidade de gerar conexões com outras angulações e quantidade de peças não presente nas superfícies propostas.

Outra contribuição é a possibilidade de adequar todas as soluções de articulação dentro das mesmas características formais padronizando os modelos de articulação dentro de uma mesma família. A organização do conhecimento, relacionando composições e junções, permite planejar as conexões necessárias dentro de escolha de vocábulos iguais ou semelhantes.

A escolha de eixos coincidentes e não coincidentes, para uso em composições, pode ser melhor avaliado em razão do método proposto disponibilizar as tipologias de junções de cada composição. O uso de eixos coincidentes pode parecer simplificado inicialmente, mas, conforme a combinação dos padrões causa dificuldade para a elaboração de junções devido ao aumento do número de peças e angulações em pontos da solução arquitetônica escolhida. O método possibilita avaliar o reflexo das decisões tomadas, visto o domínio das composições e das junções, simultaneamente.

Soma-se a esses fatores, a capacidade da conexão genérica de minimizar a necessidade de peças roliças com cortes inclinados, pois, determinando a forma do componente 02 da conexão, de acordo a posição do roliço, permite-se que a extremidade da peça chegue perpendicularmente à conexão. O mesmo pode ter sua fase externa cortada transversalmente. Além disso, as superfícies propostas geram uma variedade de angulação entre os roliços, que acarretam em diferentes tipos de corte para cada tipo de junção. Esses cortes proporcionam uma média de 7% de perda de material para cada roliço com 1 metro de comprimento. A conexão adaptada a posição do roliço permite igual corte transversal nas extremidades das peças. A escolha do componente 01 e 03 definirá perfurações e/ou desbastes necessários nas laterais da madeira, como no caso de chapas externas. Dados com as medidas exatas de cada peça roliça bem como considerações sobre as deformidades em seu eixo longitudinal aumentariam as informações necessárias para fabricar uma conexão customizada para cada ponto de junção.

A inclusão de informações sobre quantidade e dimensões de perfurações necessárias às chapas metálicas a partir de estudos sobre esforços solicitantes em cada conexão, irá contribuir para melhor definição das dimensões dos componentes conectivos. Neste trabalho, as dimensões das conexões foram consideradas proporcionais ao diâmetro médio do roliço. É necessário ampliar os estudos estruturais que indiquem os esforços em cada ponto de encontro dos roliços, iniciado com uma verificação estrutural simplificada em seleção das superfícies geradas. (apêndice B).

Outros desdobramentos possíveis são estudos de materiais a serem utilizados para fabricar as articulações bem como o estudo da fabricação dessas peças em tecnologia CAD/CAM. Nessa diretriz é possível integrar dados sobre sistemas de cobertura, sendo viável programar em software paramétricos, a inclinação máxima que as peças poderão assumir em função do fechamento proposto. Indica-se assim

possibilidades funcionais para aplicação das superfícies propostas neste trabalho, que além de coberturas, pode ser utilizada como elementos de fachada. Neste último caso seria necessária a rotação tridimensional da superfície.

Modelos de articulação propostos também podem ser aprofundados no que se refere à execução, como no exemplo formado a partir de planos perpendiculares a posição do eixo longitudinal do roliço. Neste caso é possível planejar como executar a proposta partindo de esfera e/ou de chapas que unem, ligam esses planos. Além disso, outros sistemas conectivos podem ser acrescentados ao vocabulário dos componentes permitindo novas soluções de articulações.

A madeira roliça é um material irregular e heterogêneo, mas é possível obter um sistema homogêneo através de futuro desenvolvimento de soluções para moldar os outros elementos que entram em contato com as peças roliças. Abre-se perspectiva para criar um programa que seja alimentado com as dimensões dos roliços, de modo a fornecer dados exatos às conexões, considerando que essas irregularidades dimensionais podem ser amenizadas e absorvidas pelas articulações paramétricas. Outra possibilidade refere-se ao problema do nivelamento do telhado, que fica desigual com a estruturação em madeira roliça. Nesses casos são utilizadas cunhas e entalhes para nivelar a cobertura. A partir de procedimento para medição dos roliços e inserção de tais dados em programa CAD/CAM, o nivelamento poderá ocorrer com o desenvolvimento de diretrizes para cortar as ripas de acordo as variáveis dimensionais dos roliços.

A relação de regras compositivas com tipologias de junções geradas também pode ser inserida em programa computacional permitindo respostas mais rápidas em ambiente automatizado de apoio à decisão e suporte a projetos arquitetônicos com madeira roliça.

O método pode ser aplicado a soluções arquitetônicas para além da madeira roliça, sendo possível utilizá-lo para outros tipos de barras. Explora-se a geração formal e paralelamente identifica-se as tipologias de junções que cada composição necessita. Soma-se a possibilidade do re-uso das conexões (JOHANSSON e KLIGER, 2007), através do desenvolvimento de regras genéricas que descrevam quando é apropriado usar as respectivas conexões e qual é seu comportamento.

REFERENCIAS

ABDALLA, Anna Cristina P. B.. **Utilização de madeira de Eucalyptus em estrutura de pontes**. Dissertação de mestrado. Orientador: José Nivaldo Garcia. Piracicaba, São Paulo, 2002.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190: Projeto de estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

AGARWAL, M. e CAGAN, J. **A blend of different tastes: the language of coffeemakers**. Environment and Planning B: Planning and Design, 25(2), 205-226. 1998.

ALLGAYER, Rodrigo. **Formas naturais e estruturação de superfícies mínimas em arquitetura**. Dissertação. Orientador: Benamy Turkienicz. Porto Alegre, 2009.

ALTOÉ, Emanuella Sossai. **Diretrizes projetuais para edificações unifamiliares em toras de eucalipto no Espírito Santo**. Dissertação de Mestrado. Orientador Cristina Engel de Alvarez. UFES. Vitória, 2009.

BARISON, Maria Bernardete. **Geométrica: Desenho Geometria e Arquitetura On Line**. Disponível em : <<http://www.mat.uel.br/geometrica>> Acesso em: novembro, 2010.

BATISTA, Fábio Domingos. **A tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba: da Casa Tradicional à Contemporânea**. Dissertação de Mestrado. Orientador Carlos Alberto Szücs. UFSC. Florianópolis, 2007.

BENEVENTE, Varlete Aparecida. **Durabilidade em Construções de Madeira – uma questão de projeto**. Dissertação de Mestrado. Orientador João César Hellmeister. USP, São Carlos, 1995.

BRITO, Leandro. **Recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. Dissertação de mestrado. USP-SC, São Carlos, 2010.

CALIL JUNIOR, Carlito; et al, **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. São Carlos: Suprema, 2006.

CARPENTER OAK & WOODLAND LIMITED. Solar Canopy, The Earth Centre, Doncaster. Disponível em <<http://www.carpenteroakandwoodland.com/timber-engineering/gallery/solar-canopy-doncaster-earth-centre>>, acessado em agosto de 2010.

CELANI , Gabriela. **Cad Criativo**. Rio de Janeiro. Editora Campus, 2003.

CRUZEIRO, E. C. **Produção e Construção de Casas em Madeira de Reflorestamento Sistema IF**. Dissertação. Orientadora Akemi Ino. São Carlos, São Paulo: 1998.

- DUARTE, Jose Pinto. **Personalizar a habitação em série: Uma gramática discursiva para as casas da Malagueira do Siza**. Fundação Calouste Gulbenkian, 2007.
- FLEMMING, URICH. More than the sum of parts: the grammar of Queen Anne houses **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 14, p. 323-350, 1987.
- FISCHER, T.; HERR, C. M. **Teaching Generative Design**, In SODDU, C. (ed.). Proceedings of the 4th International Generative Art Conference, Generative Design Lab DIAP, Politecnico di Milano, 2001.
- GODOI, Giovana de. **Sistemas Generativos de Projeto: Um Estudo de Campo em Monte Alegre do Sul**. Dissertação de Mestrado. Orientação Maria Gabriela Caffarena Celani. Unicamp, Campinas 2008.
- HOLZ, Arge. Timber Engineering. **Design-Details and structural systems**. Roundwood structures, E19. EU Comett Programme . v. 2. 1ºed. Centrum Hout. Netherlands, 1995.
- HORTA, Maurício. **Trevo de concreto**. Revista arquitetura e urbanismo, ano 24, nº 181, pgs. 64-75, Abril 2009.
- IBOIS. École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Laboratory for timber construction. Welding for wood. Disponível em <<http://ibois.epfl.ch/page12311.html>> acessado em 21 de outubro de 2010.
- INO, Akemi. **Sistema estrutural modular em eucalipto roliço para habitação**. Tese de doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1991.
- JOHANSSON, Peter; KLIGER, Robert. **Knowledge reuse in the design of steel connections using 2d-cad drawings**. Suécia, 2007. Disponível em: <http://www.itcon.org/data/works/att/2007_1.content.08399.pdf>
- JOWERS, Iestyn. **Computation with Curved Shapes: Towards Freeform Shape Generation in Design**. Tese. The Open University, 2006.
- KHABAZI, Zubin. **Generative algorithms using grasshopper**. Publicação digital: 2010.
- KNIGHT, T. **Shape Grammars in education and practice: history and prospects**, 2000. Disponível em <<http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/>>. Acesso em: 09 de maio de 2009.
- KNIGHT, Terry W. **Transformation in design**. A formal approach to stylistic change and innovation in the visual arts. 1994.
- KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. New York: Taylor & Francis, 2003.
- KONING, H.; EIZENBERG, J. **The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses**. Environment and Planning B, v. 8, p. 295-323, 1981.

LEDERGERBER-RUOFF, Erika Brigitta. **Isometrias e ornamentos no plano euclidiano**. São Paulo: Atual, 1982.

LELIS, A.T. (coordenador) et AL. **Biodeterioração de madeiras em edificações: manual**. São Paulo: IPT, 2001.

LIAPI, Katherine; KIM, Jinman. **Tensegrity Structures of Helical Shape: A Parametric Approach, Computation: The New Realm of Architectural Design** [27th eCAADe Conference Proceedings. pp. 53-58. Istanbul, 2009.

LUSAMBO, Edward; WILLS, Brian M. D. **The Strength of Wire-connected Round Timber Joints**. Published by Elsevier Science Ltd. Silsoe Research Institute, 2002.

MACHADO, A. **Desenho na engenharia e arquitetura**. São Paulo, 1980.

MARCH, Lionel e STEADMAN, Phillip. **The geometry of environment: An introduction to spatial organization design**. Methuen and Co Ltd. Canada, 1974.

MAYER, Rosirene. **A linguagem de Oscar Niemeyer**. Dissertação de mestrado. Orientador Benamy Turkienicz. UFRGS. Porto Alegre, 2003.

MEREDITH, Michael. **From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture**. Actar, 2008. ISBN: 978-84-96540-79-8

MITCHELL, William J. **A Lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição**. Ed. da Unicamp. Campinas, São Paulo, 2008.

MONTANA QUIMICA. **Guia da Madeira**. Disponível em: <<http://www.montana.com.br/Guia-da-Madeira/Industrializacao/Madeira-Rolica>>. Acessado em 07/11/2009.

NAFI (National Association of Forest Industries). **Pole Frame Construction**. Disponível em <<http://www.timber.org.au/menu.asp?id=131>>. Acessado em 12/10/2010

NATTERER, Julius. **A way to sustainable architecture by new technologies for engineered timber structures**. Cimad'04. a Madeira na construção, 1º congresso ibérico, Guimarães, 2004.

PADRÓN, Ivan. **Conceptos Geométricos**. 2006. Disponível em <http://www.geometriadescriptiva.com/teoria/aperez/cap_01a-conceptos_geometricos/05-superficie.htm> acessado em outubro de 2010.

PARTEL, Priscila Maria Penalva. **Painéis estruturais utilizando madeira roliça de pequeno diâmetro para habitação social: desenvolvimento do produto**. Usp/São Carlos. Tese. 2006. Orientador Akemi Ino.

PARTEL, Priscila Maria Penalva. **Sistemas Estruturais e Construtivos utilizando madeira roliça de reflorestamento**. Dissertação de mestrado. Orientador Carlito Calil Junior. São Carlos: EESC/USP, 1999.

PIETRO, Donato Di. **Geometria Descritiva**. Buenos Aires. Ed. Alsina, 1960.

POTTMANN, Helmut; ASPERL, Andreas; HOFER, Michael; KILIAN, Alex. **Architectural Geometry**. Bentley Instituto Press. 1º edição, 2007

PRATS, Miquel. **Shape Exploration in Product Design: Assisting Transformation in Pictorial Representations**. Department of Design and Innovation, Faculty of Technology, The Open University. 2007. Tese de doutorado.

PROJETO DESIGN. Edição 196 Maio de 1996. Arco Editorial Ltda. São Paulo

RANTA-MAUNUS, Alpo (coordenador do projeto). **Round Small Diameter Timber for Constructions**. Final report of project FAIR CT 95-0091. VTT Technical Research Centre of Finland. Espoo,1999.

ROSEN, Joe. **Symmetry Discovered**. Concepts and applications in Nature and Science. New York: Dover,1998.

RUDOLPH, Paul. **The six determinants of Architectural Form**. In: JENCKS, Charles; KROPF, Karl. Theories and Manifestoes of contemporary architecture. Academy editions, 1997.

SANTOS, Luis Filipe Batista Silveira dos Santos. **Sistemas generativos de Projecto: Integração de ferramentas Digitais no Projecto de Arquitectura**. Aplicação ao caso de Estudo: a Casa pátio da Medina de Marrakech. Dissertação de mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2009.

SCHREINER, Fernanda Reis. **Gramática de formas e o projeto do mobiliário modular multifuncional: um estudo de caso. 2009**. Dissertação de mestrado. Orientador Benamy Turkienicz. UFRGS. Porto Alegre, 2009.

SEGAWA, Hugo. **Universidade livre do meio ambiente**. Revista projeto. n. 170. dez. 1993.

SERAPIÃO, Fernando. Residência, Petrópolis, RJ. Arquiteto. James Lawrence Vianna. Revista **PROJETO DESIGN**. Edição 340 Junho de 2008. Arco Editorial Ltda. São Paulo. Disponível em <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/james-lawrence-vianna-residencia-petropolis-01-07-2008.html>>, acessado em 28 de abril de 2010.

STINY, George **Two exercises in formal composition**. Environment and Planning B, v. 3, p.187-210, 1976.

STINY, George. **Kindergarten grammars: designing with Froebel's building gifts**. Environment and Planning B. London, Volume 7 p. 409-462, 1980.

STINY, George; GIPS, James. **Shape grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture**. Em C. V. Freiman, ed., Information Processing 71 .North Holland, Amsterdam. p. 1460-1465. 1972.

STINY, George; MITCHELL, William J. The Palladian grammar. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 5, p. 5-18, 1978.

STOCKING, Angus W. **Generative Design Is Changing the Face of Architecture.** Building Design. 15 de outubro de 2009 .

TRADA - Timber research and development association. **Round timber in construction: An Introduction.** Publicado em 2004. Disponível em <https://www.trada.co.uk>, acessado em maio de 2009.

VALLE, Ivan Manoel Rezende do. **O modelo reduzido no ensino de construção em madeira.** In: EBRAMEM. Anais do VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. São Carlos: EESC/USP, 2000. CD-ROM.

WEBER, Raquel. **A linguagem da estrutura na obra de Vilanova Artigas.** Dissertação de mestrado. Orientador Benamy Turkienicz. UFRGS. Porto Alegre, 2005.

WESTPHAL, Leonardo. **A linguagem da Arquitetura Hospitalar de João Filgueiras Lima.** Dissertação de mestrado. Orientador Benamy Turkienicz. UFRGS. Porto Alegre, 2007.

WILMER, Celso Braga; PEREIRA, Maria Regina Ferraz. **Geometria para desenho industrial.** 2ªed. Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

WISNIK, Guilherme. **Lucio Costa.** São Paulo: Cosac & Naify, 2001. 127 p. : il.

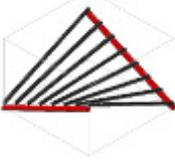
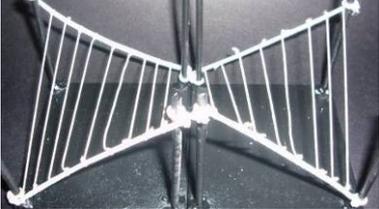
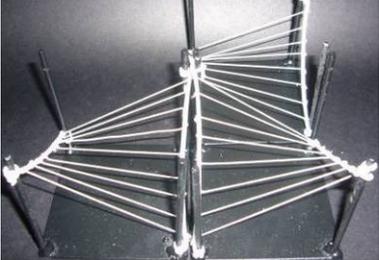
WOLFE, Ronald W., GJINOLLI, Agron E., and KING, John R. **Space-frame connection for small-diameter round timber.** . In: WCTE 2000, World Conference on Timber Engineering, Whistler Resort, British Columbia, Canada: July 31-August 3, 2000. Disponível em < <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2000/wolfe00c.pdf> > acessado em 02/02/2010.

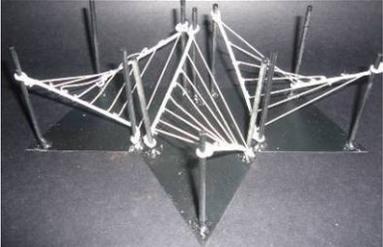
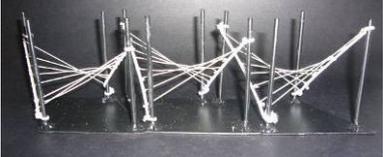
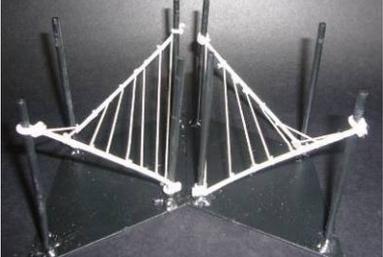
WOLFE, R.; MOSELEY, C. Small-diameter log evaluation for value-added structural applications. **Forest Products Journal.** Madison, WI. v.50. p. 48-58. Outubro 2000.

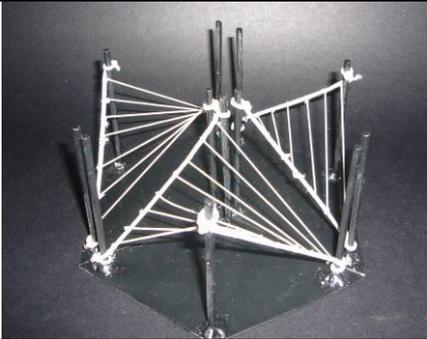
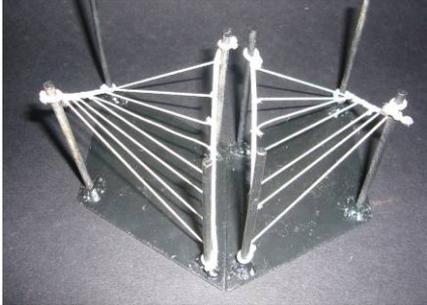
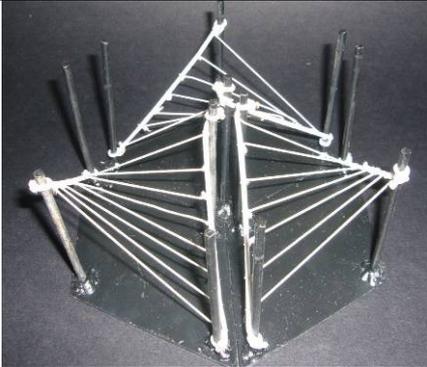
ZANGIÁCOMO, André Luiz. **Estudo de elementos estruturais roliços de Madeira.** Tese de doutorado. Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

APÊNDICES

Apêndice A - Geração de superfície

		 PADRÃO 01	
		RESULTADO 2º GERAÇÃO	
2. REGRAS	2.1. ROTAÇÃO		
	2.2. TRANSLAÇÃO		
	2.3. REFLEXÃO		
	2.4. REF.+TRANSL.		
	2.5. REF.+ROTAÇ.		

	<p style="text-align: center;">PADRÃO 02</p> 	
		RESULTADO 2º GERAÇÃO
2. REGRAS	2.1. ROTAÇÃO	
	2.2. TRANSLAÇÃO	
	2.3. REFLEXÃO	
	2.4. REF.+TRANSL.	
	2.5. REF.+ROTAÇ.	

	 <p>PADRÃO 03</p>	
	RESULTADO 2º GERAÇÃO	
2. REGRAS	2.1. ROTAÇÃO	
	2.2. TRANSLAÇÃO	
	2.3. REFLEXÃO	
	2.4. REF.+TRANSL.	
	2.5. REF.+ROTAÇ.	

Apêndice B - Verificação estrutural

Considerando as propriedades da madeira roliça, cujas estruturas podem ser mais esbeltas em função da relação peso versus resistência, com capacidade de suportar sobrecargas de curta duração sem efeitos nocivos (BRITO, 2010), o objetivo desta etapa da metodologia é verificar se as superfícies geradas, mesmo com as deformações propostas, são viáveis para uso estrutural.

A partir de uma análise simplificada, o objetivo é verificar tensões e os deslocamentos em estruturas de madeira para a utilização em coberturas²⁶, considerando madeiras roliças de reflorestamento. Para tanto foram testados exemplares da 2^o e 3^o geração sendo: reflexão e translação para padrão 01 e 02; rotação para padrão 02 e 03; superfície parametrizada curva e superfície parametrizada rotação ambos da 3^o fase de geração, como ilustra a figura 01 a seguir.

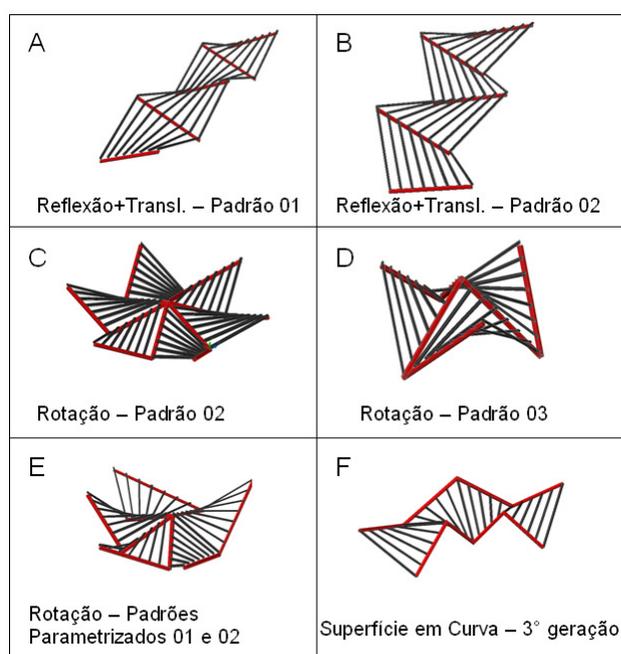


Figura 1. Imagens ilustrando as superfícies testadas estruturalmente através do software abaqus.

Os testes para analisar a estrutura dos modelos foram feitos com ajuda de um software de análise por elementos finitos, o *Abaqus*, da *Dassault Systèmes S.A.*, com as

²⁶ A geração de superfícies sobre plano horizontal possibilita tal aplicação.

propriedades e informações das superfícies inseridas no software, e utilizando um elemento de malha de 0.05 m e estrutura do tipo viga.

Os carregamentos na estrutura são devidos: ao vento de 50 kg/m^2 aplicado perpendicularmente a cada viga, ao peso do telhado, de 30 kg/m^2 aplicado na vertical da estrutura e ao peso da estrutura, na direção da gravidade (de 9.81 m/s^2). Já os engastes estão localizados nos pontos onde estão os pilares de sustentação, são engastes totais, ou seja, que não permitem deslocamentos em qualquer direção.

Como a madeira roliça é um elemento cônico, seu diâmetro não é uniforme em toda a peça. Para nível de cálculo foi considerado diâmetro de 15 cm. Este é um valor que pode ser considerado como madeira roliça de pequeno diâmetro de acordo a classificação proposta pela Associação Brasileira de Preservadores de Madeira-ABPM. (PARTEL, 2006). Partel (2006) indica que a madeira com este diâmetro ou menor, é viável para aplicação em diversos sistemas estruturais “gerando edificações com componentes econômicos de madeira roliça para composição de estruturas leves”. (PARTEL, P. 33, 2006). Quanto às propriedades da madeira a serem consideradas para dimensionamento de estruturas²⁷ são: densidade, resistência, rigidez ou módulo de elasticidade e umidade. (Brito, 2010 p. 152). Desse modo serão considerados os valores indicados pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997) para inserir valores referentes a propriedades do material. Por tratar-se de espécie vegetal há variação desses valores conforme a madeira escolhida. As espécies reflorestadas disponíveis na região e comumente usadas para construção civil são *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*²⁸, sendo o *Eucalyptus saligna* o mais usado. Os dados de suas propriedades são apresentados na figura 02.

²⁷ Quando utilizadas para estrutura, as peças deverão ser selecionadas e esta seleção pode ser feita através de classificação mecânica ou classificação visual. Brito (2010) faz uma revisão dos limites tolerados para defeitos das peças em caso de classificação visual. Sendo espécies de reflorestamento, também deverão ser previamente tratadas garantindo a durabilidade perante agentes destruidores. Isto é necessário porque as madeiras de reflorestamento não são naturalmente duráveis, divergindo de espécies que tem durabilidade natural. Detalhamento de projeto adequado e manutenção das edificações são fatores que contribuem com a durabilidade das edificações de madeira.

²⁸ Dados obtidos por duas empresas fornecedoras do material na região: Flosul Madeiras (Capivari do Sul-RS) *Saligna* e *Grandis* e Postes Mariane (Guaíba-RS) *Saligna*, *Grandis* e *Dunnii*.

Material: Eucalyptus Saligna*	
Módulo de Elasticidade Longitudinal (E_1):	14933 MPa
Módulo de Elasticidade Transversal (E_2)* **:	746.65 MPa
Módulo de Cisalhamento (G_{12})* **:	746.65 MPa
Coefficiente de Poisson (ν_{12}):	0.40
Resistência a Compressão Longitudinal (f_{c0}):	46.8 MPa
Resistência a Tração Longitudinal (f_{t0}):	95.5 MPa
Resistência a Tração Normal as Fibras (f_{t90}):	4.0 MPa
Resistência ao Cisalhamento (f_v):	8.2 MPa
Massa Específica a 12% de Umidade:	731 Kg/m ³
* Dados obtidos na NBR 7190:1997 com exceção de ν_{12}	
** E_2 e G são aproximados por $E_1/20$.	

Figura 2. Propriedade do material utilizados no software *abaqus*.

No experimento estrutural utilizou-se os dados do *Eucalypto saligna* fornecidos pela norma, considerando diâmetro de 15 cm para as peças que compõe as superfícies. Esses dados são valores médios e para efeito de cálculo estrutural é necessário considerar método dos estados limites.

A figura 03 ilustra uma imagem da superfície com os dados obtidos pelo *Abaqus*. As demais superfícies estão demonstradas na sequencia do apêndice B.

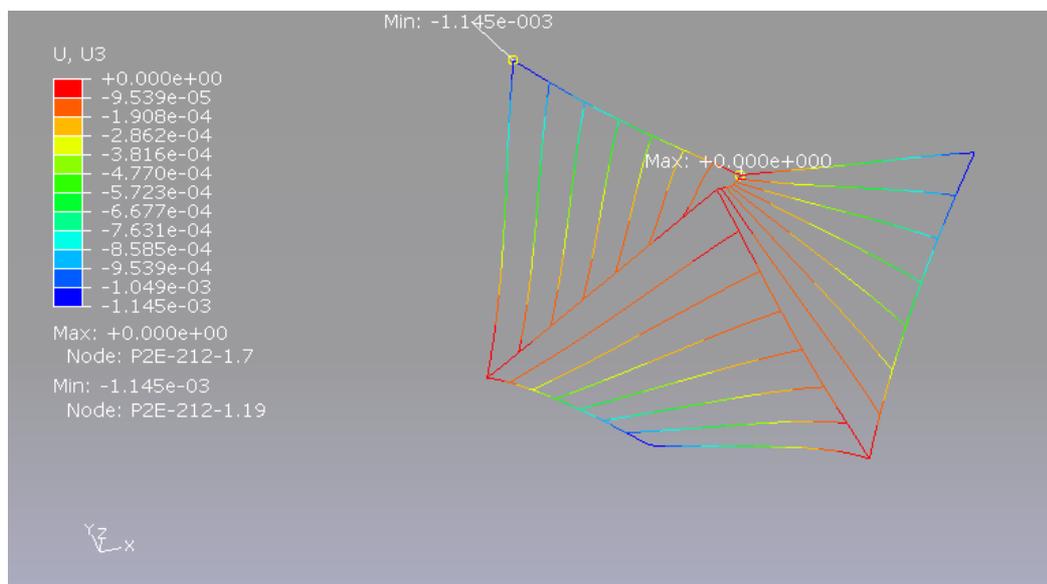


Figura 3. Exemplo de dados obtidos no *software Abaqus* para padrão 03 com regra de rotação.

A análise dessa **verificação estrutural simplificada** permitiu observar que a estrutura suporta o carregamento proposto e com as condições de contorno impostas. O

valor máximo de tensão longitudinal encontrado é de 2,698 MPa para tração e 2,379 MPa de compressão, ao passo que a resistência a tração longitudinal do *Eucalyptus saligna* é 95,5 MPa e a resistência a compressão longitudinal 46,8 MPa. Percebe-se que as tensões são bem baixas, bem menores que as resistências do material como ilustra os quadros 04 e 05.

Dados da NBR 7190: 1997			
Resistência			
Espécie da madeira	Tração longitudinal fto	Compressão longitudinal fco	Cisalhamento fv
<i>Eucalyptus saligna</i>	95,5 MPa	46,8 MPa	8,2 MPa

Figura 4. Quadro com os valores das propriedades da madeira.

Quanto ao deslocamento observa-se que os valores estão menores que 12mm tanto no sentido positivo como negativo do eixo. O valor máximo para deslocamento no sentido positivo do eixo é de 2,438 mm e para deslocamento no sentido negativo do eixo com 12,22 mm, sendo o próximo valor de 7,348mm.

A superfície com rotação da 3° geração apresentou um deslocamento maior que as demais superfícies, justamente nas pontas dos módulos parametrizado com vão maior, como ilustra a figura 06.

Superfícies	Tensão Longitudinal (S11)		Tensão Cisalhamento (S12)		Deslocamento Eixo Z (U3)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
	MPa		MPa		mm	
1 a- 241 - A	+1.817	- 1.817	+0.009858	-0.00985	+ 0.000	- 1.940
2 a- 241 - B	+1.110	-1.279	+0.06463	-0.06463	+2.438	-2.351
2 a -212 - C	+2.122	-2.071	+0.2103	-0.05881	+0.4563	-7.348
2 e -212 - D	+0.8296	-1.504	+0.04440	-0.03085	+0.000	-1.145
G.03-Rot - E	+2,698	-2,379	+0.1654	-0,3679	+0,7116	-12,22
G.03-Curva - F	+0.8726	-0.8176	+0.06806	-0.06358	+0.00939	-1.362

Figura 5. Quadro com os valores obtidos após ensaios das superfícies no software Abaqus.

Apesar de a análise realizada ser simplificada é possível observar que as superfícies deformações pela parametrização apresentam resultados semelhantes as demais superfícies geradas na 2° geração.

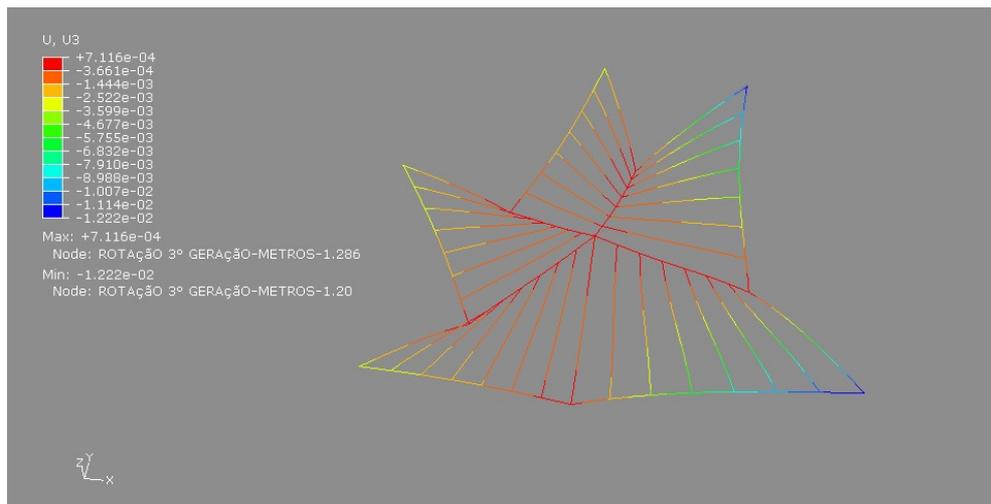


Figura 6. Superfícies com respectivos dados obtidos a partir da simulação no *software* Abaqus.

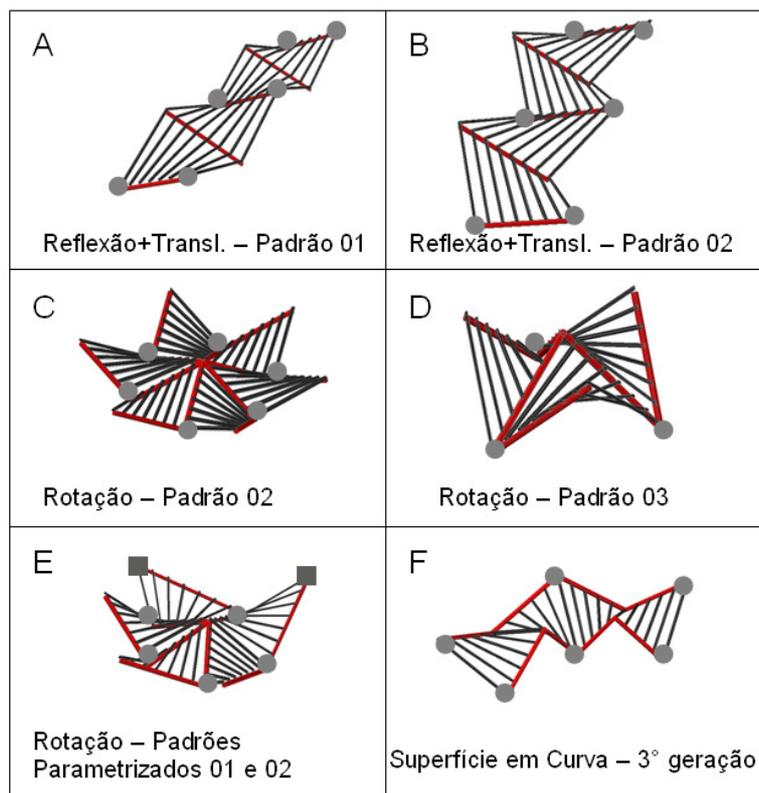


Figura 7. Superfícies indicando a posição dos pontos de apoio determinados. Fonte: Autor.

Além disso, os pontos de apoio utilizados indicam a possibilidade de unir dois padrões com apoio somente nas extremidades e, no caso de rotação, não é necessário utilizar apoio central (figura 07). Na superfície representada pela letra E (figura 07), realizou-se outra análise acrescentando pilares nas extremidades dos módulos

(representado por quadrado na imagem 07), onde a superfície apresentou maior deslocamento. Nesses pontos o deslocamento passou de 12,22mm para menos de 1mm (ver continuação apêndice B). Esta análise também permite definir os pontos de apoio das superfícies observando os vãos disponibilizados pelas combinações.

O próximo passo, não realizado neste trabalho, deverá ser a verificação dos esforços em cada ponto de junção para complementar os dados a serem fornecidos à conexão genérica.

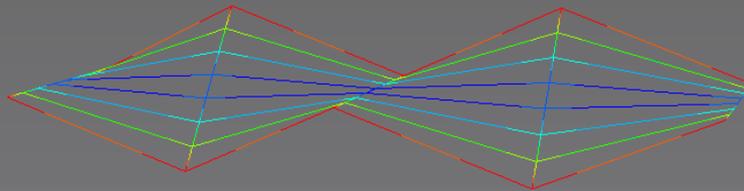
As imagens a seguir apresentam os resultados obtidos no software abaqus sendo 03 imagens para cada superfície analisada. Essas imagens demonstram: a) deslocamento na direção Z indicado no gráfico da imagem por U_3 ; b) Tensão Longitudinal de Tração e Compressão indicado no gráfico da imagem por S_{11} ; e c) Tensão de Cisalhamento (Normal) indicado no gráfico da imagem por S_{12} .

Reflexão+Translação – Padrão 01

Eucalipto Saligna

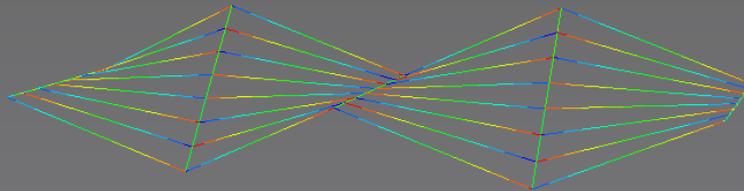
A

U, U3
 +0.000e+00
 -1.617e-04
 -3.234e-04
 -4.851e-04
 -6.468e-04
 -8.085e-04
 -9.702e-04
 -1.132e-03
 -1.294e-03
 -1.455e-03
 -1.617e-03
 -1.779e-03
 -1.940e-03
 Max: +0.000e+00
 Node: P1A-241-1.1
 Min: -1.940e-03
 Node: P1A-241-1.1502



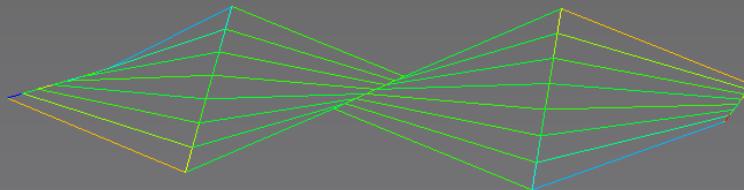
Z
Y
X

S, S11
 Rel. radius = 1.0000, Angle = -90.0000
 (Avg: 75%)
 +1.817e+06
 +1.514e+06
 +1.212e+06
 +9.086e+05
 +6.058e+05
 +3.029e+05
 -1.856e+01
 -3.029e+05
 -6.058e+05
 -9.087e+05
 -1.212e+06
 -1.514e+06
 -1.817e+06



Z
Y
X

S, S12
 Rel. radius = 1.0000, Angle = -90.0000
 (Avg: 75%)
 +9.858e+03
 +8.215e+03
 +6.572e+03
 +4.929e+03
 +3.286e+03
 +1.643e+03
 -3.591e-01
 -1.643e+03
 -3.286e+03
 -4.929e+03
 -6.572e+03
 -8.215e+03
 -9.858e+03



Z
Y
X

Max: +9.858e+03
 Elem: P1A-241-1.114
 Node: 2
 Min: -9.858e+03
 Elem: P1A-241-1.848
 Node: 9

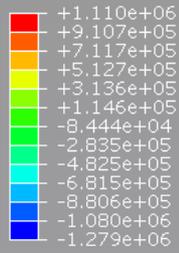
Reflexão+Translação – Padrão 02

Eucalipto Saligna

B

S, S11

Rel. radius = 1.0000, Angle = -90.0000
(Avg: 75%)

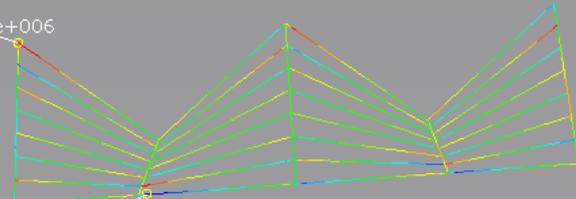


Max: +1.110e+06

Min: -1.279e+06

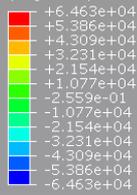
Max: +1.110e+06
Elem: P2A-241-1.570
Node: 34

Min: -1.279e+06
Elem: P2A-241-1.67
Node: 102



S, S12

Rel. radius = 1.0000, Angle = -90.0000
(Avg: 75%)

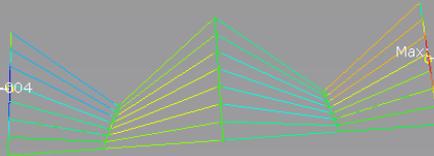


Max: +6.463e+04

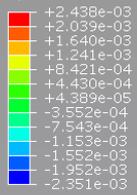
Min: -6.463e+04

Max: +6.463e+04
Elem: P2A-241-1.571
Node: 557

Min: -6.463e+04
Elem: P2A-241-1.226
Node: 244



U, U3

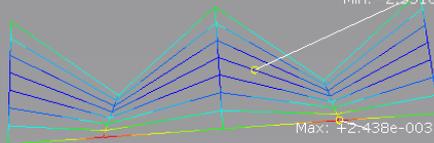


Min: -2.351e-003

Max: +2.438e-003

Max: +2.438e-03
Node: P2A-241-1.11

Min: -2.351e-03
Node: P2A-241-1.410

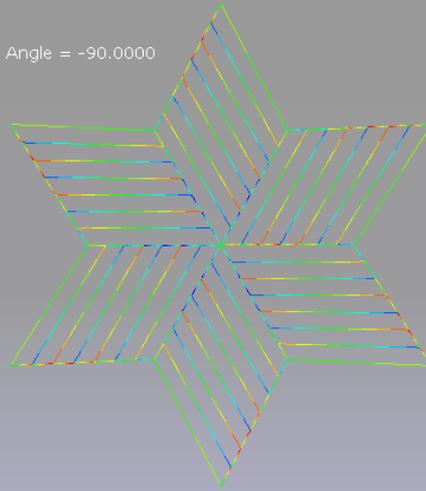
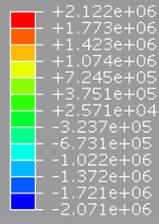


Rotação – Padrão 02

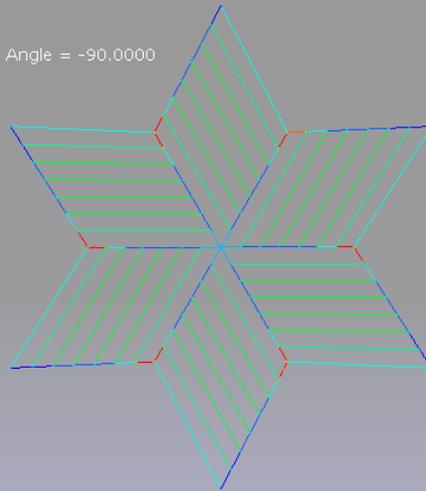
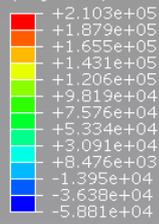
Eucalipto Saligna

C

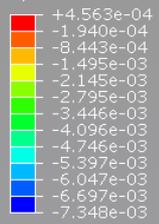
S, S11
 Rel. radius = 1.0000, Angle = -90.0000
 (Avg: 75%)



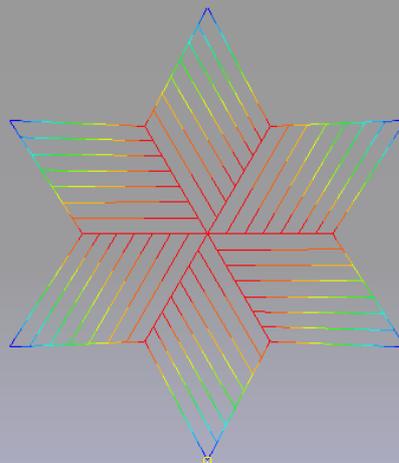
S, S12
 Rel. radius = 1.0000, Angle = -90.0000
 (Avg: 75%)



U, U3



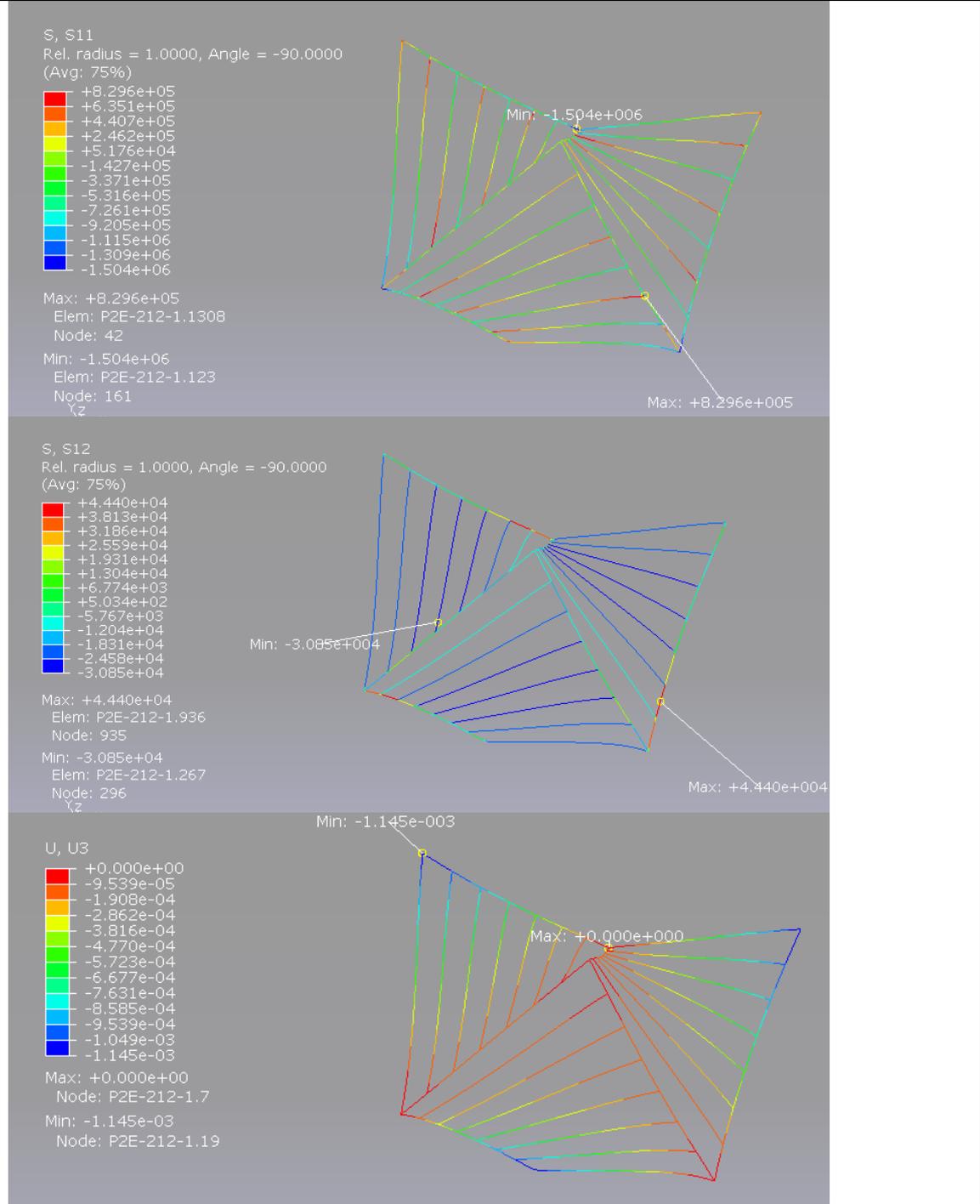
Min: -7.348e-03
 Node: P2A-212-1.41



Rotação – Padrão 03

Eucalipto Saligna

D

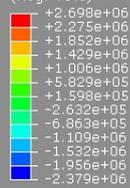


Rotação – Padrões Parametrizados 01 e 02

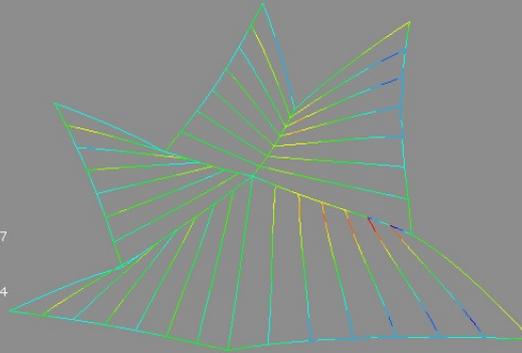
Eucalipto Saligna

E1

S, S11
Rel. radius = 1.0000, Angle = -90.0000
(Avg: 75%)

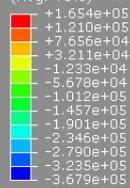


Max: +2.698e+06
Elem: ROTAÇÃO 3º GERAÇÃO-METROS-1.337
Node: 51
Min: -2.379e+06
Elem: ROTAÇÃO 3º GERAÇÃO-METROS-1.144
Node: 29

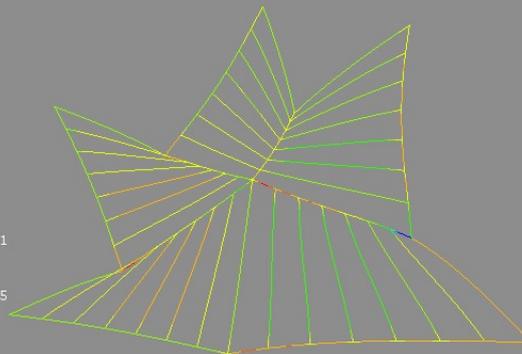


Z
Y
X

S, S12
Rel. radius = 1.0000, Angle = -90.0000
(Avg: 75%)

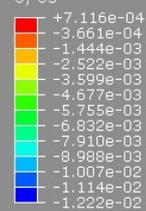


Max: +1.654e+05
Elem: ROTAÇÃO 3º GERAÇÃO-METROS-1.241
Node: 250
Min: -3.679e+05
Elem: ROTAÇÃO 3º GERAÇÃO-METROS-1.145
Node: 11

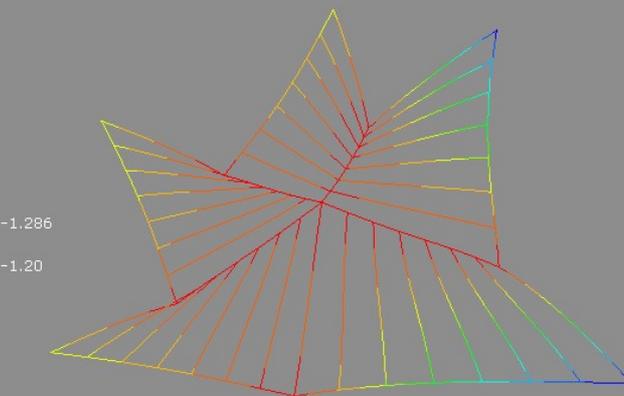


Z
Y
X

U, U3



Max: +7.116e-04
Node: ROTAÇÃO 3º GERAÇÃO-METROS-1.286
Min: -1.222e-02
Node: ROTAÇÃO 3º GERAÇÃO-METROS-1.20

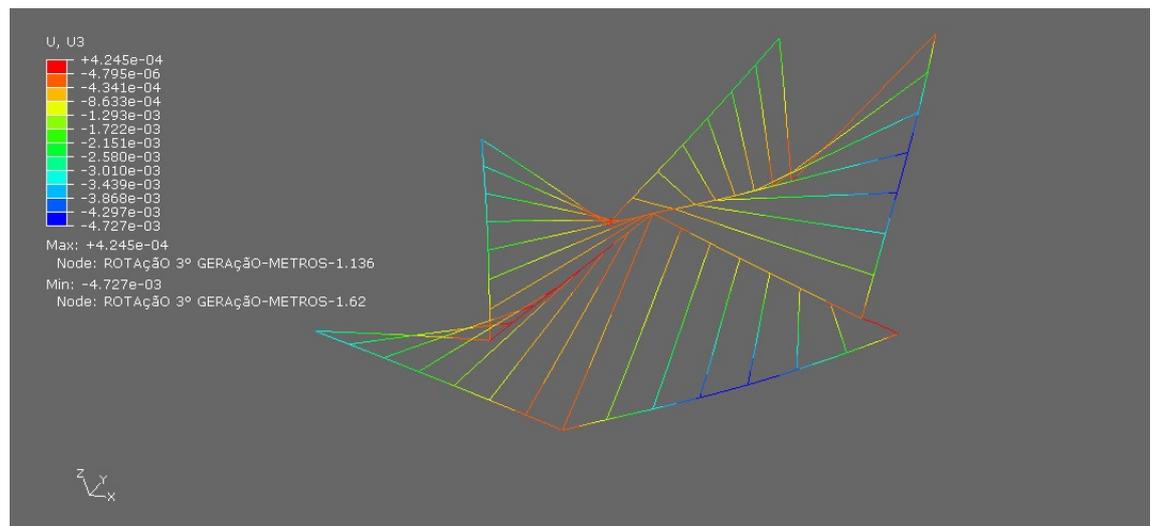
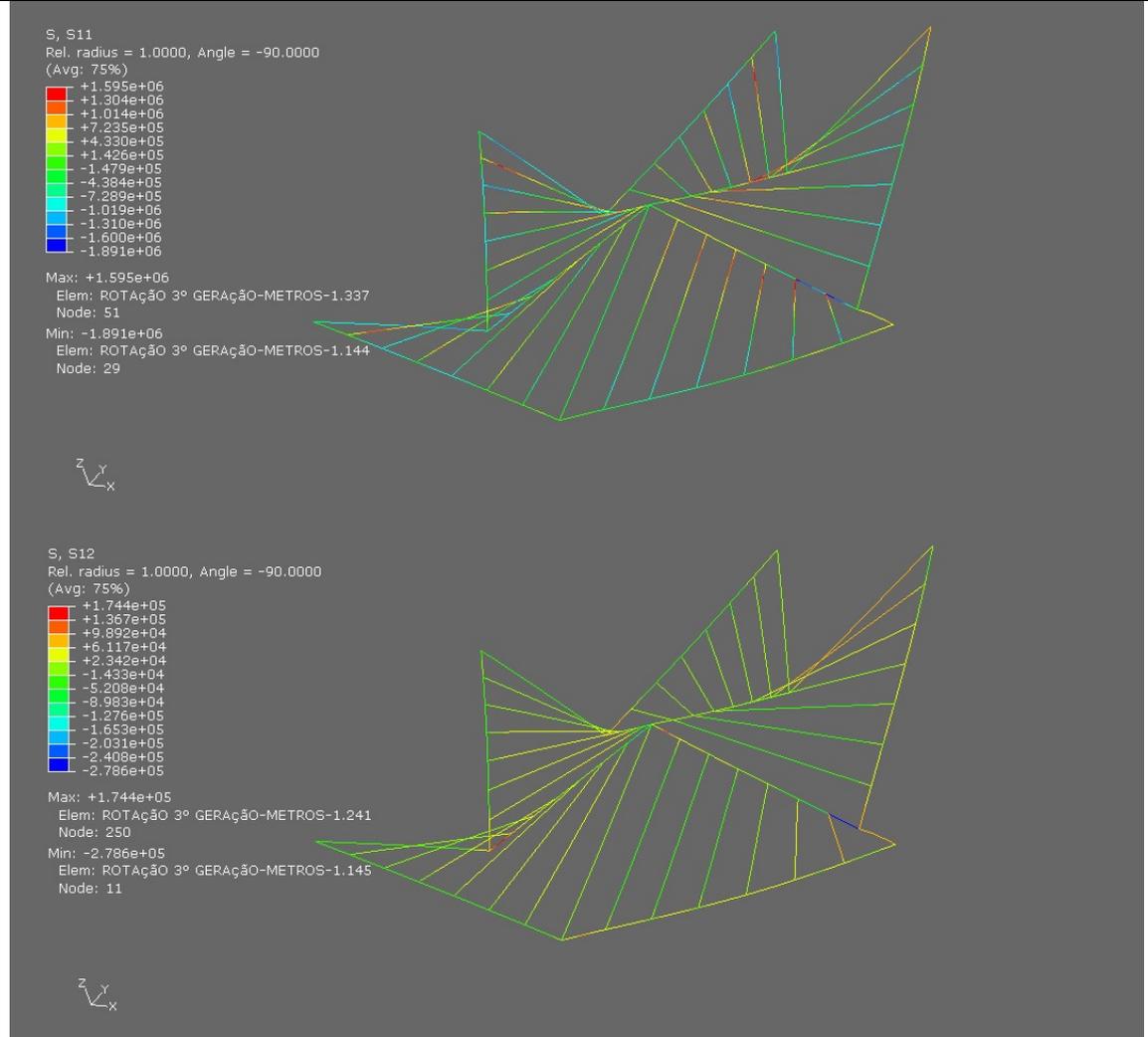


Z
Y
X

Rotação – Padrões Parametrizados 01 e 02

Eucalipto Saligna

E2



Superfície em Curva – 3^o geração

Eucalipto Saligna

F

S, S11

Rel. radius = 1.0000, Angle = -90.0000
(Avg: 75%)

+8.726e+05
+7.317e+05
+5.909e+05
+4.500e+05
+3.092e+05
+1.683e+05
+2.748e+04
-1.134e+05
-2.542e+05
-3.951e+05
-5.359e+05
-6.768e+05
-8.176e+05

Max: +8.726e+05
Elem: MODELO CURVO 04 MODULO-3MET-DISS-1.1857
Node: 36

Min: -8.176e+05
Elem: MODELO CURVO 04 MODULO-3MET-DISS-1.1630
Node: 29

S, S12

Rel. radius = 1.0000, Angle = -90.0000
(Avg: 75%)

+6.806e+04
+5.709e+04
+4.612e+04
+3.515e+04
+2.418e+04
+1.321e+04
+2.243e+03
-8.727e+03
-1.970e+04
-3.067e+04
-4.164e+04
-5.261e+04
-6.358e+04

Max: +6.806e+04
Elem: MODELO CURVO 04 MODULO-3MET-DISS-1.2707
Node: 55

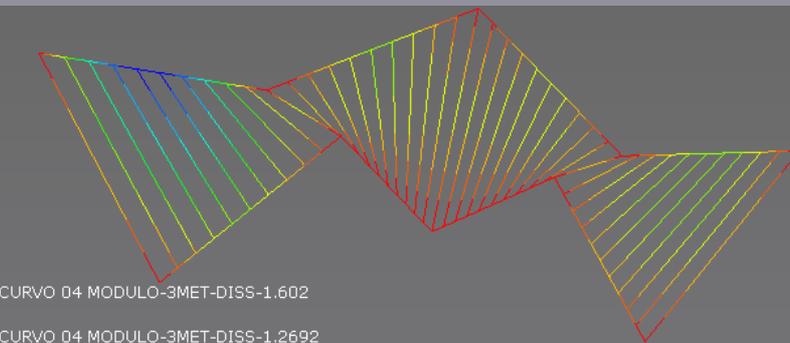
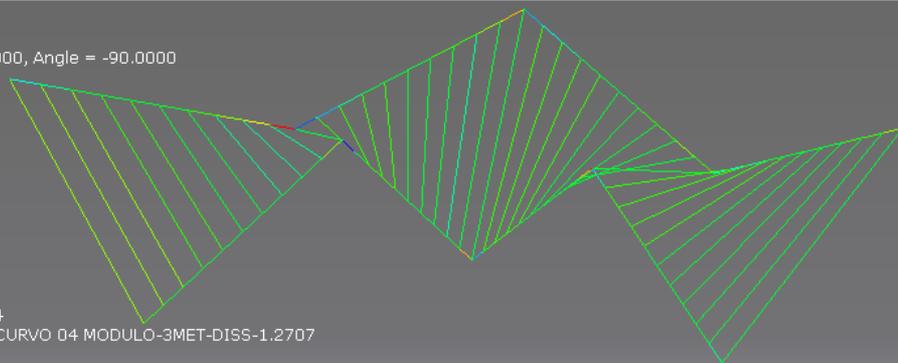
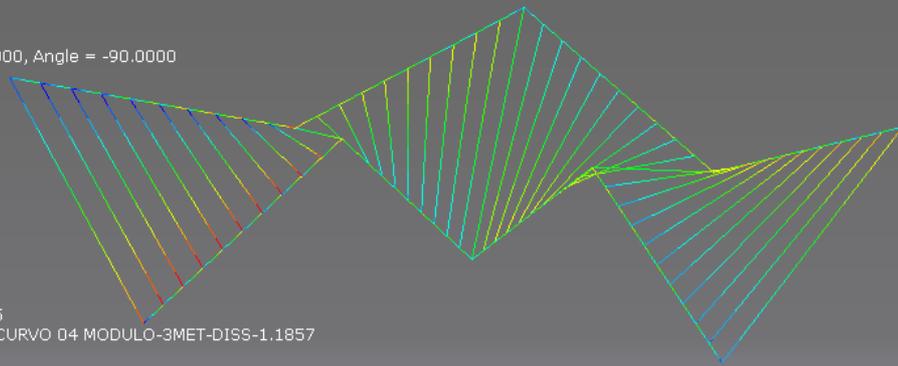
Min: -6.358e+04
Elem: MODELO CURVO 04 MODULO-3MET-DISS-1.862
Node: 918

U, U3

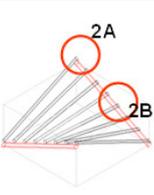
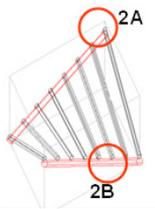
+9.389e-06
-1.049e-04
-2.191e-04
-3.334e-04
-4.476e-04
-5.619e-04
-6.762e-04
-7.904e-04
-9.047e-04
-1.019e-03
-1.133e-03
-1.247e-03
-1.362e-03

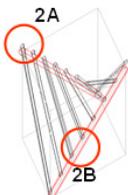
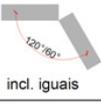
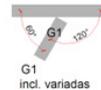
Max: +9.389e-06
Node: MODELO CURVO 04 MODULO-3MET-DISS-1.602

Min: -1.362e-03
Node: MODELO CURVO 04 MODULO-3MET-DISS-1.2692



Apêndice C - Relação superfícies e tipologias de junções

PADRÃO 01				EIXO COINCIDENTE		PADRÃO 02				EIXO COINCIDENTE	
CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO		CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	
	2	EE	2EE	 incl. iguais			2	EE	2EE	 incl. iguais	
	2	EM	2EM	 incl. variadas G1			2	EM	2EM	 G1 incl. variadas	

PADRÃO 03				EIXO COINCIDENTE	
CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	
	2	EE	2EE	 incl. iguais	
	2	EM	2EM	 G1 incl. variadas	

Resultados formais relacionados com tipologias de junção na primeira etapa de geração considerando eixo das peças coincidentes. Fonte: autor.

2º GERAÇÃO					PADRÃO 01					PADRÃO 02					PADRÃO 03				
CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO		
 ROTAÇÃO	2	E c/ E	2A		 ROTAÇÃO	2	E c/ E	2A		 ROTAÇÃO	2	E c/ E	2A						
	2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B						
	3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A						
	4	E c/ E	4A			6	E c/ E	6A											
 REFLEXÃO + ROTAÇÃO	2	E c/ E	2A		 REFLEXÃO + ROTAÇÃO	2	E c/ E	2A											
	2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B											
	3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A											
	3	E c/ M	3B			3	E c/ M	3B											
4	E c/ E	4A		6	E c/ E	6A													

2º GERAÇÃO					PADRÃO 01					PADRÃO 02					PADRÃO 03				
CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO		
 REFLEXÃO DIRETRIZ	2	E c/ E	2A		 REFLEXÃO DIRETRIZ	2	E c/ E	2A		 REFLEXÃO DIRETRIZ	2	E c/ E	2A						
	2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B						
	3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A						
	3	E c/ M	3B			3	E c/ M	3B			3	E c/ M	3B						
 REFLEXÃO GERATRIZ	2	E c/ E	2A		 REFLEXÃO GERATRIZ	2	E c/ E	2A		 REFLEXÃO GERATRIZ	2	E c/ E	2A						
	2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B						
	3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A						

2º GERAÇÃO					PADRÃO 01					PADRÃO 02					PADRÃO 03				
CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES		QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO		
 REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO DIRETRIZ	2	E c/ E	2A		 REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO DIRETRIZ	2	E c/ E	2A		 REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO DIRETRIZ	2	E c/ E	2A						
	2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B						
	3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A						
	3	E c/ M	3B			3	E c/ M	3B			3	E c/ M	3B						
 REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO GERATRIZ	2	E c/ E	2A		 REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO GERATRIZ	2	E c/ E	2A		 REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO GERATRIZ	2	E c/ E	2A						
	2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B						
	3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A						

Quadro com os tipos de junção existentes em cada solução arquitetônica gerada pelo sistema na segunda etapa de geração, considerando eixo das peças coincidentes. Desenho do autor.

3º GERAÇÃO

PADRÃO 01 – Parametrizado				
CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO
	2	EE	2A	90°; 78°; 55°; 137°
	2	EM	2B	

PADRÃO 02 - Parametrizado				
CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO
	2	EE	2A	60°; 154°; 94°; 52°
	2	EM	2B	

3º GERAÇÃO Substituição Formas																										
CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO																	
<p>ROTAÇÃO</p>	2	E c/ E	2A		<p>DIRETRIZ</p>	2	E c/ E	2A																		
	2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B																		
	3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A																		
	5	E c/ E	5A			3	E c/ M	3B																		
<p>REFLEXÃO + ROTACÃO</p>	2	E c/ E	2A		<p>GERATRIZ</p>	2	E c/ E	2A																		
	2	E c/ M	2B			2	E c/ M	2B																		
	3	E c/ E	3A			3	E c/ E	3A																		
	3	E c/ M	3B			3º Geração Reposicionamento de formas																				
	5	E c/ E	5A			<table border="1"> <thead> <tr> <th>CÔNEXÕES</th> <th>QTID.</th> <th>JUNÇ.</th> <th>NOME</th> <th>TIPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3"> <p>ROTAÇÃO</p> </td> <td>2</td> <td>E c/ E</td> <td>2A</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>E c/ M</td> <td>2B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>E c/ E</td> <td>3A</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					CÔNEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	<p>ROTAÇÃO</p>	2	E c/ E	2A		2	E c/ M	2B		3	E c/ E
CÔNEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO																						
<p>ROTAÇÃO</p>	2	E c/ E	2A																							
	2	E c/ M	2B																							
	3	E c/ E	3A																							

Quadro com os tipos de junção existentes em cada solução arquitetônica gerada pelo sistema na terceira etapa de geração, considerando eixo das peças coincidentes. Desenho do autor.

1º GERAÇÃO														
PADRÃO 01				EIXO NÃO COINCIDENTE	PADRÃO 02				EIXO NÃO COINCIDENTE	PADRÃO 03				EIXO NÃO COINCIDENTE
CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO
	2	EE	2EEa	incl. iguais		2	EE	2EEa	incl. iguais		2	EE	2EEa	incl. iguais
	2	EM	2EMa	G1 incl. variadas		2	EM	2EMa	G1 incl. variadas		2	EM	2EMa	G1 incl. variadas

Quadro com os tipos de junção existentes em cada solução arquitetônica gerada pelo sistema na primeira etapa de geração, considerando eixo das peças *não* coincidentes. Fonte: Autor.

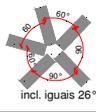
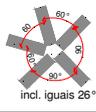
2º GERAÇÃO				PADRÃO 01				PADRÃO 02				PADRÃO 03			
CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	
<p>ROTAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>ROTAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>ROTAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		
	2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa		
	3	E c/ E	3EEa			3	E c/ E	3EEa			3	E c/ E	3EEa		
	4	E c/ E	4EE			6	E c/ E	6EE			3	E c/ E	3EE		
<p>REFLEXÃO + ROTAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EE1a		<p>REFLEXÃO + ROTAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa							
	2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa							
	3	E c/ E	3EEb			3	E c/ E	3EEb							
	3	E c/ E E c/ M	3EEc 3EMa			3	E c/ E E c/ M	3EEc 3EMa							
4	E c/ E	4EEa		6	E c/ E	6EEa									

2º GERAÇÃO				PADRÃO 01				PADRÃO 02				PADRÃO 03			
CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	
<p>REFLEXÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>REFLEXÃO</p>	2	E c/ E	2A1		<p>REFLEXÃO</p>	2	E c/ E	2A1		
	2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2B1			2	E c/ M	2B1		
	3	E c/ E	3EEc			3	E c/ E	3EEc			3	E c/ E	3EEc		
	3	E c/ M	3EMa			3	E c/ M	3EMa			3	E c/ M	3EMa		
<p>REFLEXÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>REFLEXÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>REFLEXÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		
	2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa		
	3	E c/ E	3EEb			3	E c/ E	3EEb			3	E c/ E	3EEb		
<p>REFLEXÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>REFLEXÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>REFLEXÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		
	2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa		
	3	E c/ E	3EEb			3	E c/ E	3EEb			3	E c/ E	3EEb		

2º GERAÇÃO				PADRÃO 01				PADRÃO 02				PADRÃO 03			
CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	CONEXÕES	QTID.	JUNÇ.	NOME	TIPO	
<p>REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO</p>	2	E c/ E	2A1		<p>REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO</p>	2	E c/ E	2A1		
	2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2B1			2	E c/ M	2B1		
	3	E c/ E	3EEc			3	E c/ E	3EEc			3	E c/ E	3EEc		
	3	E c/ M	3EMa			3	E c/ M	3EMa			3	E c/ M	3EMa		
<p>REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		
	2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa		
	3	E c/ E	3EEb			3	E c/ E	3EEb			3	E c/ E	3EEb		
<p>REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		<p>REFLEXÃO + TRANSLAÇÃO</p>	2	E c/ E	2EEa		
	2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa			2	E c/ M	2EMa		
	3	E c/ E	3EEb			3	E c/ E	3EEb			3	E c/ E	3EEb		

Quadro com os tipos de junção existentes em cada solução arquitetônica gerada pelo sistema na segunda etapa de geração, considerando eixo das peças não coincidentes. Fonte: Autor.

Apêndice D - Relação das regras e tipologias de junções

TIPO JUNÇÃO	5EE										
					incl. iguais 26°			incl. iguais 26°			
	3EM	II									
		I									
					06 peças diferentes	06 peças diferentes			06 peças diferentes		
	3EE	I									
		III									
		II									
		I									
						incl. iguais 26°	incl. iguais 26°			06 peças diferentes	
	2EM	I									
			12 peças diferentes	12 peças diferentes	24 peças diferentes	12 peças diferentes	24 peças diferentes	18 peças diferentes	32 peças diferentes		
	2EE	I									
				incl. diferentes	incl. diferentes		incl. diferentes	incl. diferentes 26°; 35°		incl. diferentes	
											
			incl. diferentes	incl. diferentes	incl. diferentes	incl. diferentes	incl. diferentes	incl. diferentes	incl. diferentes		
		III									
				incl. diferentes	incl. diferentes	incl. diferentes	incl. diferentes	incl. diferentes	incl. diferentes	incl. diferentes	
		IV									
		incl. iguais 26°	incl. iguais 26°		incl. diferentes	incl. diferentes 28°		incl. diferentes			
REGRAS PADRÃO		S. REGRADA PADRÃO 01P	S. REGRADA PADRÃO 02P	ROTAÇÃO 3° geração	REFLEXÃO DIRETRIZ 3° geração	REFLEXÃO GERATRIZ 3° geração	REFLEXÃO +ROTAÇÃO 3° geração	SUPERFÍCIE CURVA 3° geração			

Quadro da relação regras de geração e tipologia das junções para solução com eixo coincidente para 3° geração. Desenho do autor.

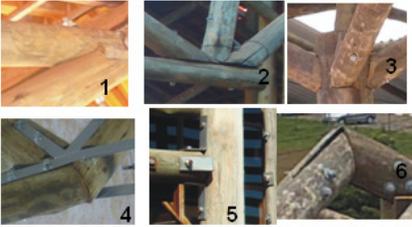
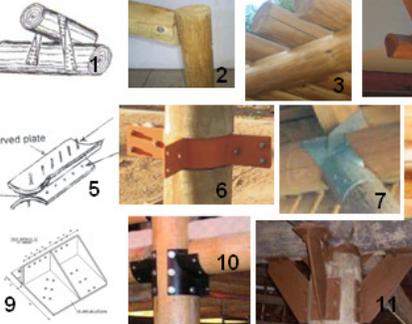
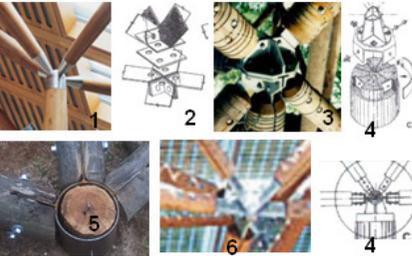
TIPO JUNÇÃO	TIPO JUNÇÃO																												
	6EE I	4EE I	3EM I	3EE I	3EE II	2EM I	2EE I	2EE II	REGRAS PADRÃO	S. REGRADA PADRÃO 01	S. REGRADA PADRÃO 02	S. REGRADA PADRÃO 03	ROTAÇÃO PADRÃO 01	ROTAÇÃO PADRÃO 02	ROTAÇÃO PADRÃO 03	REFLEXÃO DIRETRIZ PADRÃO 01	REFLEXÃO DIRETRIZ PADRÃO 02	REFLEXÃO DIRETRIZ PADRÃO 03	REFLEXÃO GERATRIZ PADRÃO 01	REFLEXÃO GERATRIZ PADRÃO 02	REFLEXÃO GERATRIZ PADRÃO 03	REFLEXÃO +ROTAÇÃO PADRÃO 01	REFLEXÃO +ROTAÇÃO PADRÃO 02	REFL.-TRANSL. DIRETRIZ PADRÃO 01	REFL.-TRANSL. DIRETRIZ PADRÃO 02	REFL.-TRANSL. DIRETRIZ PADRÃO 03	REFL.-TRANSL. GERATRIZ PADRÃO 01	REFL.-TRANSL. GERATRIZ PADRÃO 02	REFL.-TRANSL. GERATRIZ PADRÃO 03

Quadro da relação regras de geração e tipologia das junções para solução com eixo coincidente para 1° e 2° geração. Desenho do autor.

TIPO JUNÇÃO	TIPO JUNÇÃO																					
	6EE	I																				
	4EE	I																				
	3EM	I																				
	3EE	I																				
		II																				
	2EM	I																				
		I																				
	2EE	II																				
REGRAS PADRÃO		S. REGRADA PADRÃO 01	S. REGRADA PADRÃO 02	S. REGRADA PADRÃO 03	ROTAÇÃO PADRÃO 01	ROTAÇÃO PADRÃO 02	ROTAÇÃO PADRÃO 03	REFLEXÃO DIRETRIZ PADRÃO 01	REFLEXÃO DIRETRIZ PADRÃO 02	REFLEXÃO DIRETRIZ PADRÃO 03	REFLEXÃO GERATRIZ PADRÃO 01	REFLEXÃO GERATRIZ PADRÃO 02	REFLEXÃO GERATRIZ PADRÃO 03	REFLEXÃO +ROTAÇÃO PADRÃO 01	REFLEXÃO +ROTAÇÃO PADRÃO 02	REFL.+TRANSL. DIRETRIZ PADRÃO 01	REFL.+TRANSL. DIRETRIZ PADRÃO 02	REFL.+TRANSL. DIRETRIZ PADRÃO 03	REFL.+TRANSL. GERATRIZ PADRÃO 01	REFL.+TRANSL. GERATRIZ PADRÃO 02	REFL.+TRANSL. GERATRIZ PADRÃO 03	

Quadro da relação regras de geração e tipologia das junções para solução com eixo não coincidente para 1° e 2° geração. Desenho do autor.

Apêndice E – Quadro ilustrando soluções conectivas e suas respectivas referências

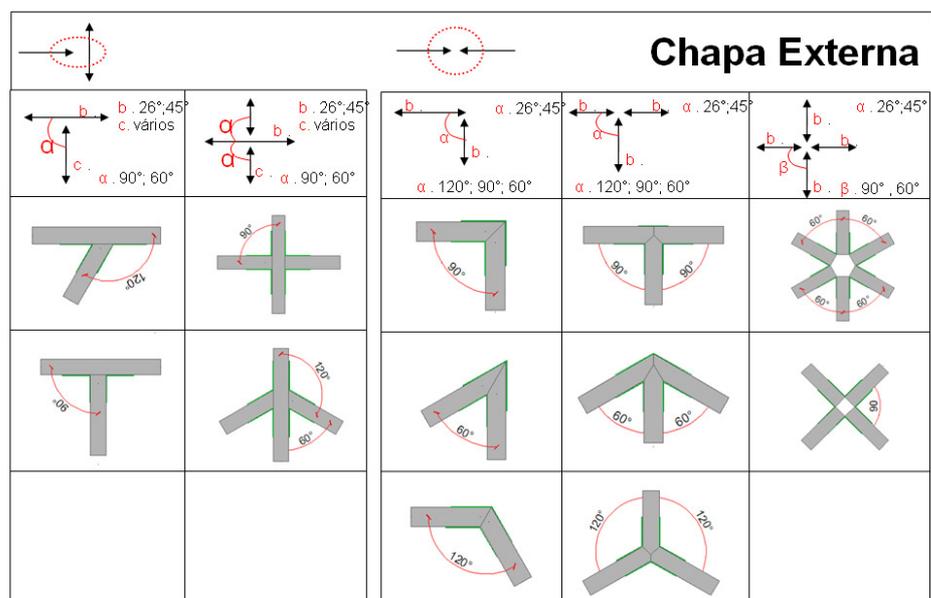
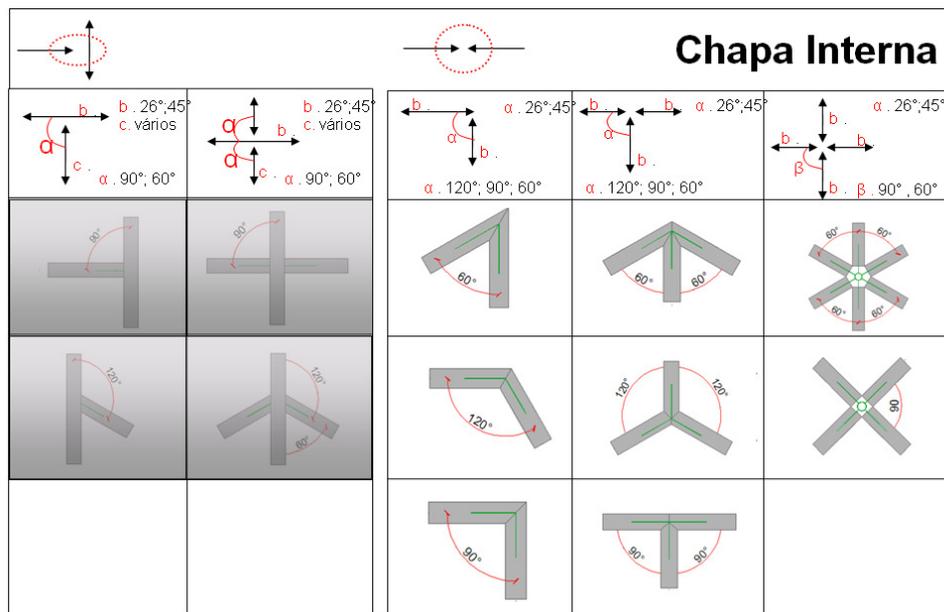
Distância entre roliços	Tipo Conexão	Variações	Fonte das imagens
-	Barra rosqueada Chapa metálica		<ol style="list-style-type: none"> 1. Recepção de visitantes do PNI. Foto do autor. 2. Base Náutica de Foz do Iguaçu. Foto do autor. 3. Creche em São Paulo. Fonte: Brito, 2010 4. Restaurante Velopark. Foto do autor. 5. Espaço das Américas. Foto do autor. 6. Edifício experimental. Foto LaMem.
0	Barra rosqueada Alça metálica Chapa metálica Console		<ol style="list-style-type: none"> 1. e 2. Fonte: Partel, 1999. 3. Cobertura estacionamento. Foto autor. 4. Cernaflor. Foto cedida pelo arquiteto Roberto Lecomte de Mello. 5. Conexão. Fonte: Stern, 2001 6. Prédio da marcenaria. Foto cedida pelo arquiteto Julio Cruz. 7. Fonte: Ranta-Maunus, 1999 8.9. 10. e 11. Fonte: Brito, 2010
+	Nó metálico		<ol style="list-style-type: none"> 1. Refeitório. Fonte: Brito, 2010 2. Detalhe de conectores em perfil metálico. Fonte Huybers, P., 1991 3. Torre de observação. Fonte: Ranta-Maunus, 1999 4. Detalhe conexão. Fonte: Natterer, 1995 Apud Brito 5. Edifício experimental. Foto LaMem. 6. Cobertura Solar Canopy. Fonte: Brito, 2010

Quadro agrupando soluções de conexão existentes observando a questão do tipo de contato entre as peças roliças, indicando as respectivas fontes.

Apêndice F - Aplicação de sistemas conectivos para eixo coincidente

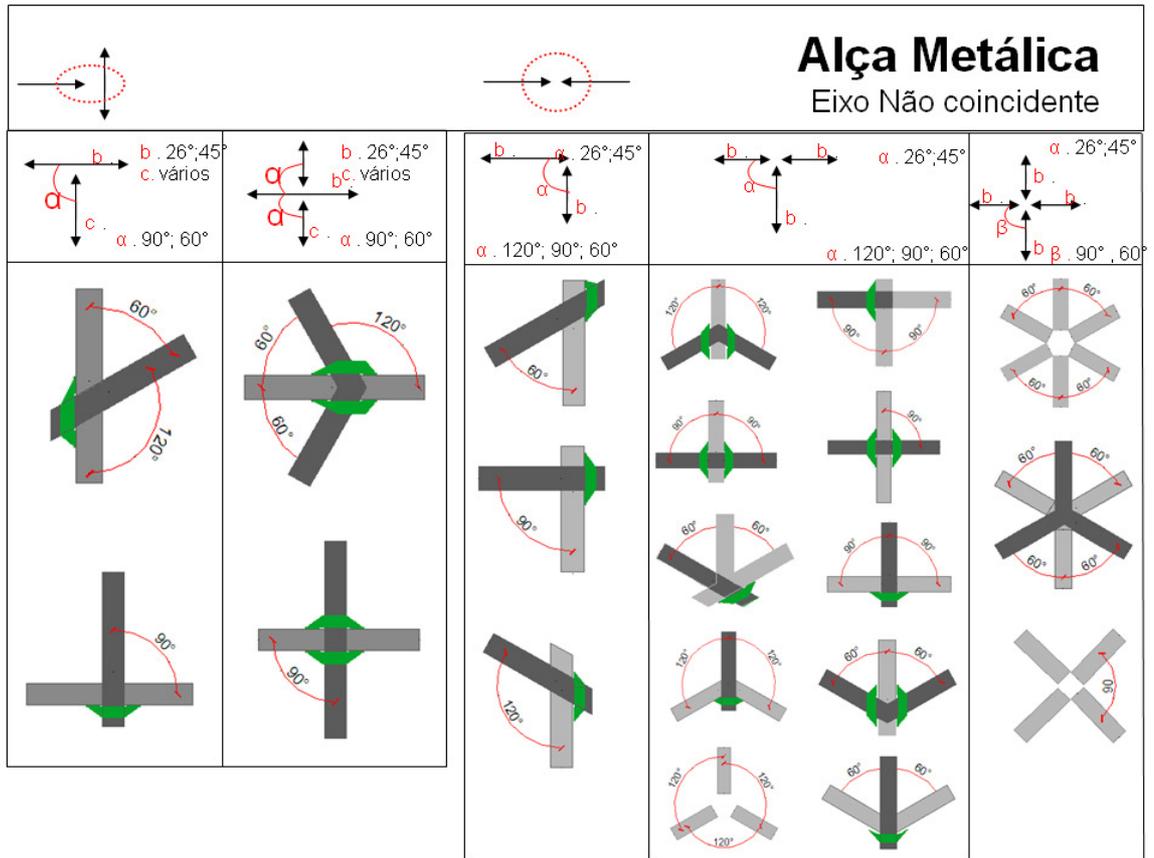
		Barra rosqueada		

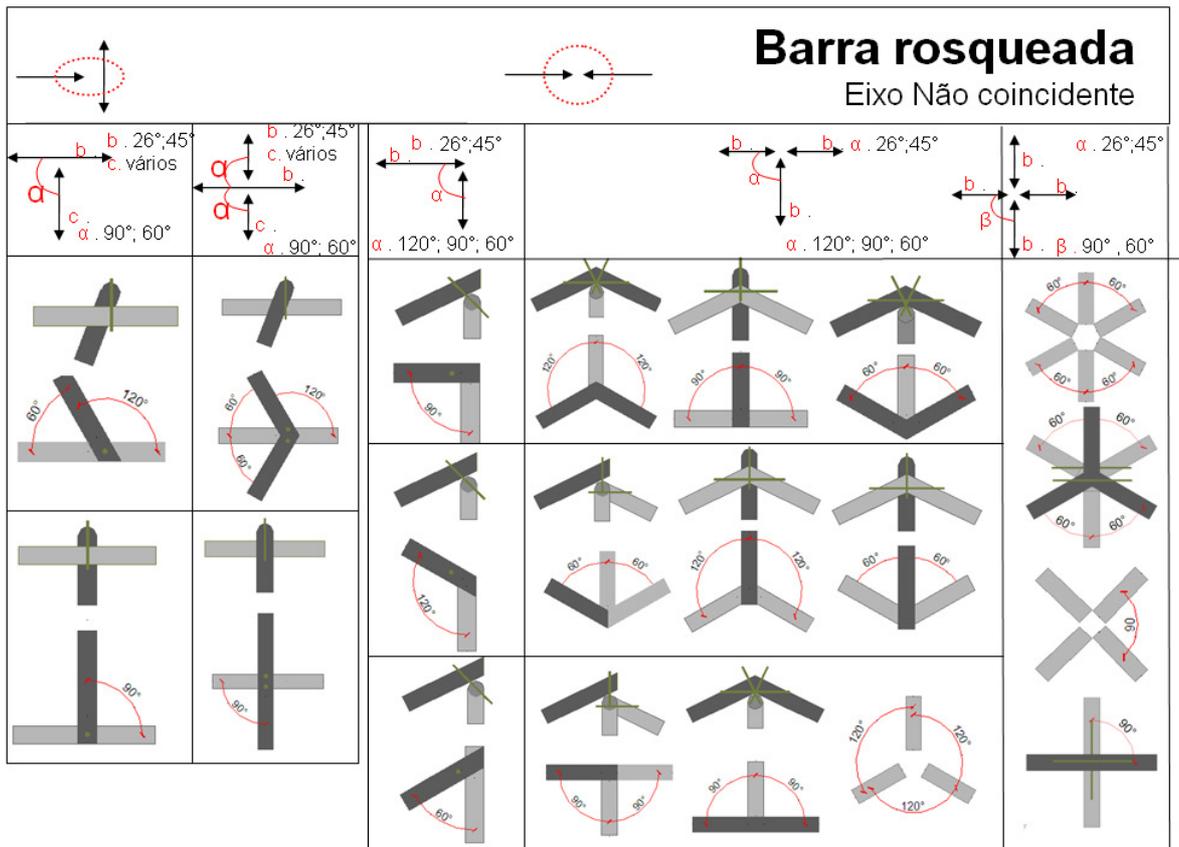
		Dowel-Nut		



Quadros com as tipologias de junção e simulação de sistemas conectivos para soluções com eixo coincidente. As imagens sobrepostas por quadro cinza são as tipologias não atendidas pelo sistema ou que impõe altas restrições aos mesmos.

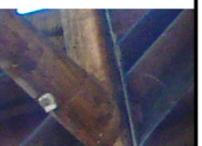
Apêndice G - Aplicação de sistemas conectivos para não eixo coincidente





Quadros com as tipologias de junção e simulação de sistemas conectivos. Eixo não coincidente.

Apêndice H – Análise de conexões existentes com as referências.

Análise			Princípio EE			Princípio EM
Componentes			Quantidade de peças			
01	02	03	02	03	04 +	02 e 03
A	—	—				
B		—	A	B	C	D
C	—	—				
D	—	—				
E		—				
F	—	—	E	F	G	H
G	—	●				
H	—	—				
I	—	—				
J		○	I	J	K	L
K	—	●				
L	—	—				

A - Dowel-nut: Fonte: Brito 2010

B - Quiosque. Localização: Salt Lake City, UT, USA. Fonte: Beaudette Consulting Engineers Inc. apud Brito, 2010

C - Restaurante Vila Ventura. Localização: Viamão-RS. Fonte: Foto do autor em 2010

D - Espaço das Américas. Localização: Foz do Iguaçu-PR. Fonte: Foto do autor em 2009

E - Gabinete do Governador. Localização: Curitiba-PR. Fonte: ProjetoDesign, 1996.

F - Restaurante Velopark. Localização: Nova Santa Rita - RS. Fonte: Foto do autor em 2010

G - Pórtico Alphaville. Localização: Gravataí-RS. Fonte: Foto Eng. Alberto Fridman

H - Townsend City Park Picnic Pavilion. Localização: Townsend, Montana, USA. Disponível em <http://www.bcweb.com/Projects/materials.html#thumb>

I - Ligação com chapa metálica. Fonte: Brito 2010

J - Torre do Lamem. Localização: LaMEM, EESC, USP, São Carlos, SP. Fonte: Foto do autor em 2009

K - Cobertura Solar Canopy. Localização: Doncaster, UK. Fonte: Carpenter Oak & Woodland Limited.

L - Espaço das Américas. Localização: Foz do Iguaçu-PR. Fonte: Foto do autor em 2009

Apêndice I – Transformações euclidianas e Superfícies regradadas.

TRANSFORMAÇÕES EUCLIDIANAS

“Important basic transformation are congruence transformation (translation, rotation, reflection), which preserve all lengths and angles occurring on na object.” (POTTMANN, et al, p. 139, 2007)

Transformações euclidianas, ocorrem tanto no espaço bidimensional como no espaço tridimensional e podem ser aplicadas ao ponto como em figuras complexas. “Uma das características mais importantes, sob o ponto de vista geométrico, é que nesses movimentos o corpo não muda nem de tamanho, nem de forma” (LEDERGERBER-RUOFF, P.58, 1982); (POTTMANN, et al, p. 139, 2007), “mas alteram a posição do objeto” (MITCHELL, p. 127, 2008). Dentro deste conceito encontram-se: translação, rotação e reflexão. March e Steadman (1974) apresentam as transformações geométricas como grupos de simetria (*Symmetry groups in the plane*) e apresentam as possíveis combinações com essas operações. “Uma composição arquitetônica é simétrica desde que ela seja o resultado de operações simétricas, ou seja, de transformações isométricas” (MITCHELL, p. 44, 2008), mantem a semelhança e o tamanho, produzindo formas congruentes.

Outra transformação possível é a homotetia, também chamada de escala. Neste caso o objeto é alterado em tamanho, mas conserva as características de relações topológicas, ou seja, mantem a semelhança²⁹.

- A translação envolve deslocamento de um objeto, em certa distância, ao longo de uma percurso específico, a diretriz.
- A rotação caracteriza-se pelo movimento do objeto ao redor de um eixo de rotação e pode completar os 360° ou outro ângulo inferior. Pode ocorrer no plano horizontal, vertical ou inclinado, sendo o seu eixo de rotação perpendicular ao plano cujo movimento ocorrerá. Neste caso é utilizado a rotação no plano horizontal com o eixo em um dos vértices da figura.

²⁹ Duas figuras planas são semelhantes quando tem a mesma forma, mas não necessariamente o mesmo tamanho.

- A reflexão caracteriza-se por alterar, além da posição do objeto, a sua orientação. (WILMER; PEREIRA, 1978), pois a partir de uma linha ou plano que funcionam como eixo, reflete o objeto.
- A escala altera as dimensões do objeto mas não altera suas características ou relações.

A imagem 08 abaixo ilustra as transformações de uma forma plana.

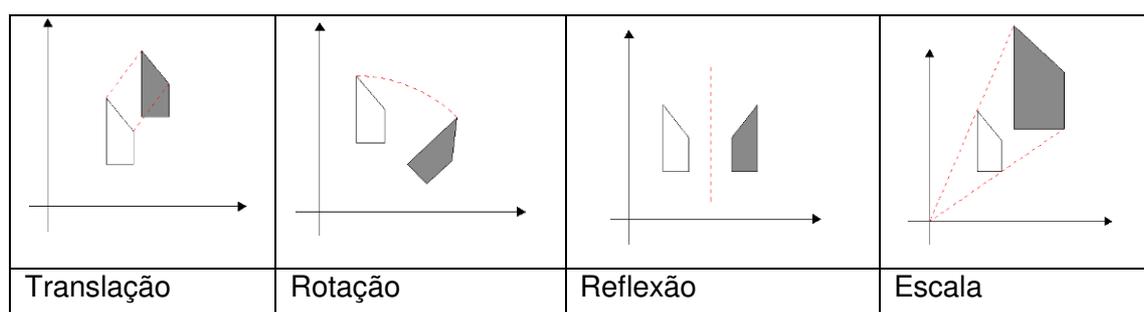


Figura 8. Transformações de uma forma plana baseado em Mitchell (p. 126, 2008).

Outra transformação que pode ser indicada é a “*Glide reflection*”, ou translação refletida (LEDERGERBER-RUOFF, 1982). Trata-se de uma combinação de duas transformações congruentes, a reflexão e a translação, atuando paralelamente a linha, ou eixo, de reflexão. No nível tridimensional, a “*glide reflection*” é a composição da reflexão em relação ao plano R e a translação paralela a este plano. (POTTMANN, et al, p. 145 e 176, 2007).

No nível tridimensional as transformações podem ser chamadas de transformações espaciais, pois ocorrem nas três dimensões. Todas as transformações geométricas consideradas em duas dimensões – transformações planares são aplicadas em um sistema tridimensional. (ROSEN, 1998).

As regras de transformação são importantes ferramentas para geração de objetos arquitetônicos. (POTTMANN, et al, p. 139, 2007). “Frequentemente, uma composição é um jogo em que as relações espaciais entre formas são modificadas por meio da translação e da rotação”. (MITCHELL, p. 127, 2008).

SUPERFÍCIES REGRADAS

“Because ruled surfaces carry a family of straight lines, they can be built more easily and can be found in such entities as concrete architecture and timber frame construction.” (POTTMANN, et al, p. 287, 2007)

Superfícies geométricas, de acordo Pietro (1960), podem ser definidas como o lugar de todas as posições que ocupa, sucessivamente, no espaço uma linha móvel – **geratriz** - que troca de posição e/ou também de forma, segundo uma lei determinada e contínua - **diretriz**. De acordo a natureza da geratriz, as superfícies podem ser **regradas** e **curvas**. Na primeira a geratriz é uma reta móvel e, na segunda, a geratriz é curva sendo também chamada de superfície não regradada³⁰. (figura 09).

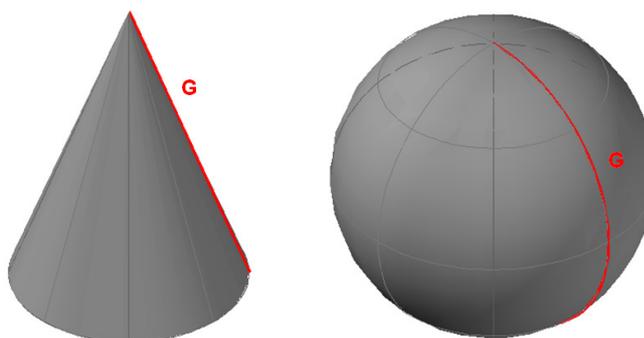


Figura 9. Exemplo de superfícies formadas por geratriz reta e geratriz curva. Fonte: Autor.

A geração de superfícies também pode ser entendida a partir do conceito de transformações geométricas, visto que a aplicação da translação moverá a geratriz em uma direção específica, determinada pela diretriz.

Entre as superfícies regradas encontram-se os planos desenvolvíveis e os não desenvolvíveis. O plano é gerado pelo movimento de uma geratriz (g) que se mantém em contato com uma diretriz (d) reta, sendo paralelas todas as posições da geratriz. (PADRÓN, 2006) como ilustra a imagem 10 a seguir.

³⁰ As superfícies desenvolvíveis possuem dimensões limitada, por isso, ao invés de linhas considera-se segmentos de retas.

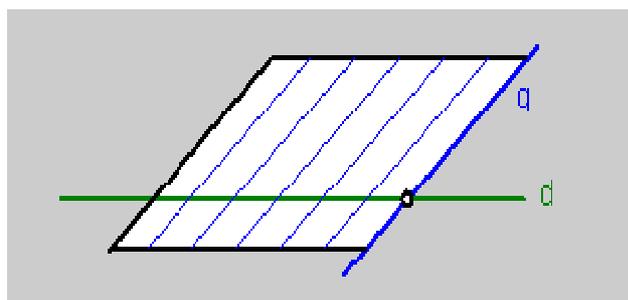


Figura 10. Superfície regradada plano. Fonte: Padrón, 2006.

As superfícies regradadas desenvolvíveis podem estender-se sobre um plano e podem ser divididas em superfície de revolução e de não revolução de acordo a lei que rege o movimento da geratriz. As superfícies de revolução possuem um eixo de rotação, uma reta fixa, e a geratriz gira em torno desse eixo (PIETRO, 1960), como demonstra a figura 11.

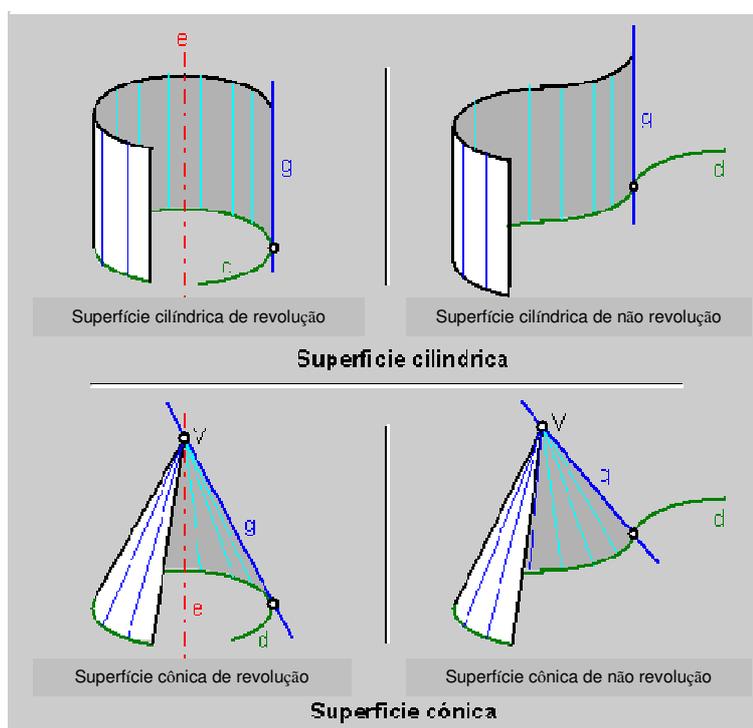


Figura 11. Superfícies regradadas desenvolvíveis. Fonte: Fonte: Padrón, 2006

As superfícies regradadas não desenvolvíveis são superfícies formadas por retas, que não podem ser planificadas. Suas propriedades são: a) não podem ser desenvolvidas

sobre um plano; b) duas geratrizes infinitamente próximas se cruzam; c) o plano tangente à superfície em um ponto contém a geratriz que passa pelo dito ponto, mas não é tangente à superfície em outros pontos da geratriz citada. (BARISON). Entre elas pode-se citar o cilindróide, o conóide e as superfícies duplamente regradadas como o hiperbolóide de revolução e parabolóide hiperbólico. As superfícies regradadas não desenvolvíveis também podem ser divididas de acordo a lei que rege o movimento da geratriz, ou seja, em superfície de revolução e de não revolução. Barison afirma que “Existem diversos tipos de superfícies regradadas não desenvolvíveis e esses tipos são classificados de acordo com a posição da geratriz, diretriz e do plano diretor. As mais conhecidas são: cilindróide, conóide, hiperbolóide parabólico e hiperbolóide de revolução de uma só folha”. A figura 12 ilustra esses exemplos.

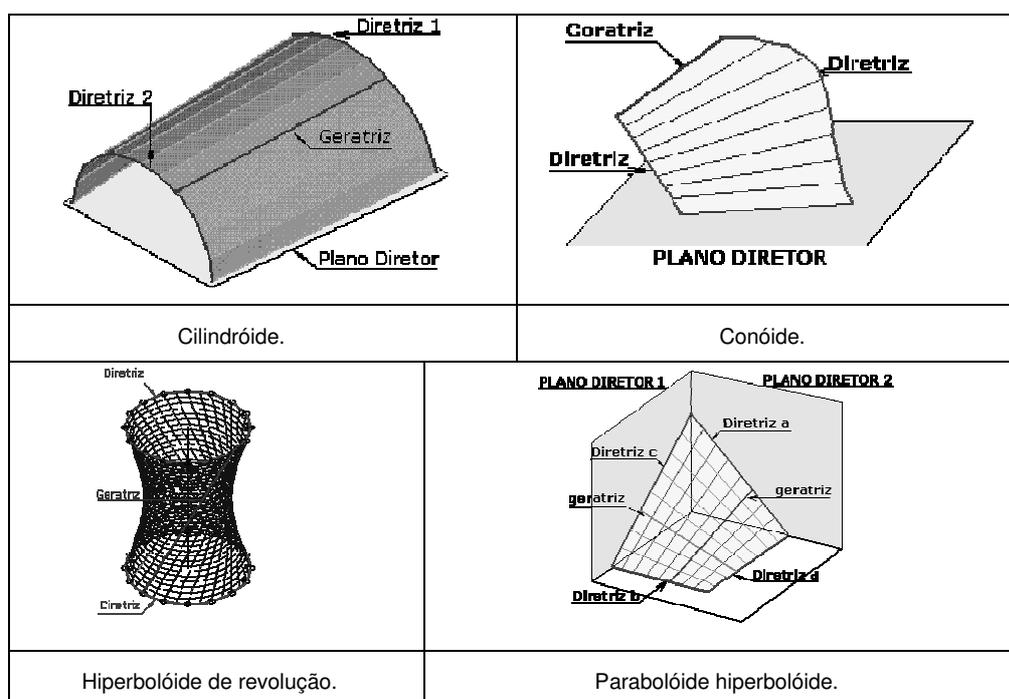


Figura 12. Exemplos de superfícies regradadas não desenvolvíveis. Fonte: Barison.

O parabolóide hiperbólico é uma superfície regradada gerada por uma reta, geratriz, que se move apoiada em duas retas, diretrizes, reversas, isto é, que não pertencem ao mesmo plano. (BARISON). Machado (p. 168, 1980) afirma que “desde que consigamos obter quatro segmentos reversos e gerar superfícies por retas que se apoiem em dois desses segmentos reversos paralelamente a um plano diretor a superfície gerada, por definição é um hiperbolóide parabólico”. As geratrizes são

ligadas por pontos, com mesmo valor de parâmetro, situados nas diretrizes. Ligando dois pontos, um pertencendo a cada diretriz, tem-se uma geratriz arbitrária dessa superfície. É possível ter duas famílias de linhas retas chamadas geratrizes. (POTTMANN, et al, 2007; MACHADO, 1980). Neste caso são conhecidas por duplamente regrada visto que pode ser entendida como duas superfícies regradas sobrepostas inversamente.