

Sistema de geração de espaços flexíveis:

**um estudo de caso em
Instituições de Ensino Superior**

Discente: Lucas Rolim

Orientador: Carlos Nome

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Trabalho Final de Graduação II

SISTEMA DE GERAÇÃO DE ESPAÇOS FLEXÍVEIS :

**UM ESTUDO DE CASO EM
INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR**

Trabalho final de Graduação apresentado à Universidade Federal da Paraíba, no período 2019.1 como requisito para obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo, sob a orientação da Prof. PhD Carlos Nome

JOÃO PESSOA, SETEMBRO 2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L533s Leite, Lucas Rolim de Carvalho Rodrigues.

Sistema de Geração de Espaços Flexíveis: Um Estudo de
Caso em Instituições de Ensino Superior / Lucas Rolim
de Carvalho Rodrigues Leite. - João Pessoa, 2019.

84 f. : il.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Indústria 4.0. 2. Design Algorítmico. 3. Fabricação
Digital. 4. Sistema de Projetos. I. Título

UFPB/BC

APROVADO EM:

MÉDIA FINAL

BANCA EXAMINADORA

Carlos Alejandro Nome (orientador)

Geovany Jessé Alexandre Silva

Ana Gomes Negrão

JOÃO PESSOA, SETEMBRO 2019

Agradecimentos

Primeiramente, à toda minha família, pais, avós, tios e irmãos, pelo apoio e incentivo incondicional. Em especial à minha mãe, Adriana, minha primeira professora, que sempre me ensinou a valorizar minha formação; e ao meu pai, Jan, minha primeira e maior referência pesquisadora, quem me educou no gosto pela ciência.

Aos meus amigos de longa data, Israel, Mônica, Thaynná e Themys, que me acompanham desde a entrada no Ensino Superior e se mantêm ao meu lado nos melhores e piores momentos.

À Universidade Federal da Paraíba, à CAPES, ao Ciência Sem Fronteiras e todas as outras instituições e programas de incentivo à pesquisa no país, que valorizam o desenvolvimento da ciência, e, apesar das dificuldades ajudaram na minha formação e na de milhares de outros.

Aos professores e amigos do Intercâmbio, de Lexington e de Chicago, pela inestimável contribuição na minha formação como pessoa e arquiteto, que despertaram em mim a paixão pelo tema que culmina nesse trabalho. Em especial, à minha 'família geograficamente dispersa', Carol, Dani, Diego, Fernando, João, Marina, Mário, Vinicius e Wendell, pelas memórias compartilhadas nesse período.

Aos amigos criados no curso de Arquitetura, pelo apoio mútuo nessa jornada, e por terem tornado esse período leve e prazeroso.

Por fim, ao Projeto CASA NORDESTE, pela incalculável experiência possibilitada, pelo contato com um trabalho feito com tanto empenho e paixão, por ter me permitido ver além. Ao professor e orientador Carlos Nome, por fazer isso tudo possível; aos parceiros de projeto e amigos criados ao longo destes dois anos: Anne, Bárbara, Bia, Bruno, Carolly, Carlos, Dener, Diego, Henrique, Hugo, Jefferson, João Luiz, Jonnatan, Lara, Marcos, Sophia, Thiago, Vívian, e a todos que fizeram parte, direta ou indiretamente dessa caminhada. E é claro, à Alice, por todas as discussões e reflexões engrandecedoras compartilhadas, por sempre acreditar em mim e me incentivar a ir mais longe, por me apoiar nos bons e maus momentos, por dividir um pouco da sua visão de mundo com a minha.

“ O processo é mais importante que resultado. Quando o resultado conduz o processo, apenas iremos para onde já estivemos. Se o processo conduzir o resultado, talvez não saibamos para onde estamos indo, mas saberemos que queremos estar lá ”

Bruce Mau

Sumário	
Resumo	17
1. Delimitação Do Problema	19
2.1 INDÚSTRIA 4.0	24
2.2 DESIGN ALGORÍTMICO E PARAMÉTRICO	27
2.3 FABRICAÇÃO DIGITAL	34
3.Referências	41
3.1 Fabricação Digital	41
3.2 Flexibilidade	45
3.3 Design Responsivo	49
3.4 CASA NORDESTE	53
4. Método	60
5.1 O SISTEMA	70
5.2 O PROJETO	90
5.3 VALIDAÇÃO	134
6. Considerações Finais	149
7. Referências	151
8. Apêndice	159

Lista de Figuras

<i>figura 01: mapa mental esquematizado da correlação entre indústria 4.0 e Arquitetura</i>	21
<i>figura 02: esquema das 4 Revoluções Industriais, adaptado</i>	24
<i>figura 03: representação esquemática de um algoritmo, segundo Tedeschi (2012), adaptado</i>	27
<i>figura 04: construção de geometria utilizando processos algorítmicos, segundo Tedeschi (2012)</i>	28
<i>figuras 05, 06 e 07: Estudos de Moretti para otimização de ângulos de visão em Estádios; Estudos com Maquete Funicular de Gaudi para projeto da Sagrada Família; La Sagrada Família; Estádio Olímpico de Munique, Frei Otto</i>	29
<i>figura 08: esquema da tomada de decisão em um processo de projeto, baseado em Martinez (2000)</i>	30
<i>figura 09: Curva MacLeamy de Tempo x Esforço, adaptada</i>	31
<i>figura 10: plantas baixas de um apartamento geradas por um algoritmo generativo</i>	33
<i>figura 11: lógica de customização em massa e utilização de fabricação digital na Indústria 4.0</i>	33
<i>figura 12: exemplos de máquinas CNC</i>	34
<i>figuras 13 e 14: Disney Concert Hall, Frank Gehry - atualmente e em construção [55], [54]</i>	35
<i>figuras 15, 16, 17 e 18: utilização da prototipagem rápida no auxílio do processo de projeto</i>	36
<i>figuras 19 e 20: montagem da Instant House; processo de transformação: da forma da casa, para as peças e as placas de corte da Máquina CNC</i>	42
<i>figura 21: vista externa e plano interno da Microhouse; fases de montagem da Microhouse</i>	43
<i>figura 22: render externo da Microhouse</i>	43
<i>figura 23: esquema de uma casa feita pela Facit Homes; Facit Chassi; Exemplo de Mobiliário Interno; Esquema de diferentes configurações que as casas Facit Homes podem assumir;</i>	44
<i>figura 24: exemplo de uma casa feita pela Facit Homes</i>	44
<i>figura 25: imagens da instalação e vistas internas dos módulos;</i>	45
<i>figura 26: esquema de aplicação e expansão dos módulos; imagem da instalação;</i>	45
<i>figura 27: imagens internas da cabine;</i>	46
<i>figura 28: esquema de montagem;</i>	46

<i>figura 29: perspectiva externa</i>	46
<i>figura 30: variações dos cinco módulos;</i>	47
<i>figura 31: diferentes arranjos de cabines;</i>	47
<i>figura 32: cortes Cabin Modules;</i>	47
<i>figura 33: esquemas das cápsulas;</i>	48
<i>figura 34: vista interna de uma das cápsulas;</i>	48
<i>figura 35: vista externa da torre e cápsulas;</i>	48
<i>figura 36: esquema de funcionamento do elemento de abertura da pele da Al-Bahar Towers; simulação da operação da pele de acordo com incidência solar;</i>	49
<i>figuras 37 e 38: Al-Bahar Towers; pele da fachada em operação;</i>	50
<i>figura 39: vista interna do mercado; vista externa do mercado; detalhe dos painéis deslizantes;</i>	51
<i>figura 40: vista interna do mercado;</i>	51
<i>figura 41 e 42: detalhe da tinta foto-cromática da pele; imagem interna da casa;</i>	52
<i>figura 43: vista externa e interna da casa;</i>	52
<i>figura 44: tempos evolutivos da CASA NORDESTE;</i>	53
<i>figura 45: esquema de fabricação e montagem da CASA NORDESTE;</i>	54
<i>figura 46: perspectiva externa da CASA NORDESTE;</i>	55
<i>figuras 47 e 48: perspectiva explodida da CASA NORDESTE; perspectiva do Alpendre da CASA NORDESTE;</i>	56
<i>figura 49: sequência de etapas proposta por Cherry (1999)</i>	61
<i>figura 50: descrição da Villa Malcontenta de Palladio, seguindo a linguagem descrita por Mitchell (2000)</i>	62
<i>figuras 51, 52 e 53: processos de projeto descritos por Broadbent (1973), e Lawson (2005) apud Andrade e Kowaltowski (2011);</i>	63
<i>figura 54: esquema da prática Reflexiva proposta por Schon (1987) apud Nome (2014)</i>	64
<i>figura 55: esquema da lógica paramétrica na construção de múltiplas variações, segundo Tedeschi (2012);</i>	65
<i>figura 56: esquema simplificado da metodologia adotada;</i>	66
<i>figuras 57 e 58: localização do Galpão; fotos internas;</i>	71
<i>figura 59: lista de atividades mapeadas</i>	74
<i>figura 60: lista de condicionantes propostos</i>	75
<i>figura 61: agrupamento das atividades e condicionantes e seu cruzamento</i>	75
<i>figura 62: módulo funcional proposto</i>	77

figuras 63 e 64: esquema de fabricação de elementos de Glulam e CLT, adaptado	80
figura 65: envelope e sistema construtivo proposto	81
figura 66: esquema do processo file-to-factory;	82
figura 67: exemplo de simulações realizadas para definição de elementos sombreadores	83
figura 68: diagrama de nós do passo a passo da aplicação do sistema	86
figura 69: terreno de estudo	90
figura 70: matriz de relação e organograma	92
figura 71: diagrama do Partido 1	93
figura 72: diagrama do Partido 2	94
figura 73: telha de poliisocianurato	96
figura 74: ventilação e trajetória solar para o terreno proposto	96
figura 75: planta baixa esquemática	99
figura 76: entrada sul do edifício	101
figura 77: exemplo das relações possíveis entre ambientes e reflexos na aplicação do sistema	106
figura 78: localização dos pontos de tomadas em um dos ambientes	106
figura 79: camadas de fechamento do portão do Galpão	107
figura 80: processo de form-finding da cobertura tensionada central	108
figura 81: perspectiva externa do espaço central	108
figuras 82 e 83: perspectivas externas do Galpão	109
figuras 84 e 85: perspectivas externas do Galpão	110
figuras 86 e 87: perspectivas externas do Galpão	111
figuras 88 e 89: perspectiva interna de ambiente de laboratório; perspectiva interna do bloco operativo	112
figuras 90 e 91: perspectiva interna da sala de aula; perspectiva externa do pátio central	113
figura 92: cortes esquemáticos	114
figura 93: elevações esquemáticas	115
figuras 94 e 95: detalhe do portão do bloco operativo; perspectiva interna do bloco operativo e máquinas	122
figura 96: relação do edifício com o entorno	123
figura 97: perspectiva explodida dos componentes do edifício	124
figura 98 e 99: cortes perspectivados do edifício	125
figura 100: planta perspectivada do edifício	126

<i>figura 101: tomada industrial tipo Steck</i>	127
<i>figura 102: tomada de sobrepor aparente</i>	128
<i>figura 103: isométrica sistema elétrico</i>	129
<i>figura 104 e 105: isométrica sistema de abasteci- mento de água; isométrica sistema de esgoto</i>	131
<i>figura 106 e 107: isométrica sistema fotovoltaico; detalhe módulo fotovoltaico</i>	133
<i>figura 108: simulações térmicas e lumínicas de dois ambientes</i>	135
<i>figura 109: Relatório de Sustentabilidade preliminar do projeto na Plataforma EDGE; [48]</i>	136
<i>figura 110: Relatório do Consumo de CO2 do site woodoworks.com; [49]</i>	138
<i>figura 111: gráfico custos ao longo do Ciclo de Vida - CLT x Sistema Tradicional, adaptado;</i>	141
<i>figura 112: adaptação do projeto ao longo do tempo, seguindo regras do Sistema</i>	143
<i>figuras 113 e 114: exemplos da flexibilidade de um ambiente seguindo regras do Sistema - mesma vista de um módulo funcional, com atividades diferentes</i>	144
<i>figuras 115 e 116: exemplos da flexibilidade de um ambiente seguindo regras do Sistema - mesma vista de um módulo funcional, com atividades diferentes</i>	145
<i>figura 117: cortadora a laser do Laboratório de Modelos e Prototipagem (LM+P) da UFPB , acervo de Flávia Bezerra</i>	146
<i>figura 118: adaptação do modelo BIM para o modelo de corte</i>	147
<i>figura 119: peças da maquete rotuladas para montagem</i>	147
<i>figura 120: foto da maquete montada</i>	147

Resumo

Tendo em vista a constante mudança no modo como se pensa e se produz arquitetura na contemporaneidade, e também o surgimento diário de tecnologias de amparo a esse desenvolvimento, o estudo proposto aborda a criação de um sistema de projeto de projetos arquitetônicos sob o contexto da Indústria 4.0. A proposta busca refletir não só sobre as vantagens que o diálogo entre arquitetura e Indústria 4.0 pode trazer, mas também sobre a questões éticas, políticas, sociais e econômicas que naturalmente emergem. Espera-se com isso um afastamento de uma visão reducionista e funcionalista do tema, e trazer ao debate sua natureza multifacetada.

palavras-chave: indústria 4.0; sistema de projetos; design algorítmico; fabricação digital

Abstract

In view of the constant change in the way architecture is thought and produced in contemporary times, and also the continuous emergence of technologies to support this development, the proposed study addresses the creation of an architectural design system under the Industry 4.0 scope. The proposal seeks to reflect not only on the advantages that the dialogue between architecture and Industry 4.0 can bring, but also on the ethical, political, social and economic issues that naturally emerge. The study expects to move away from a reductionist and functionalist view of the subject, and bring to the debate its multifaceted nature.

keywords: industry 4.0; design systems; algorithmic design; digital fabrication

1

EFICIÊNCIA

Delimitação do Problema

CUSTOMIZAÇÃO
EM MASSA

PARAMETRIZAÇÃO

PENSAR

1. Delimitação Do Problema

A Indústria da Arquitetura e Construção e Operação (AECO) é um setor que tem muito a ganhar no emprego de novas tecnologias em sua cadeia produtiva. Apontada como um dos menos digitalizados (McKinsey & Company, 2016), essa Indústria tem procurado alternativas na busca de otimização e efficientização dos seus processos.

A Indústria 4.0 é um termo utilizado para definir a quarta revolução industrial. Ela é caracterizada por uma estreita relação entre ambientes digitais e reais, na criação dos chamados sistemas ciber-físicos, e a sua aplicação na indústria tem mudado o modo como fabricamos e pensamos a produção industrial, na busca por sistemas mais eficientes, individualizados e descentralizados (LASI; KEMPER, 2014).

Apesar de mais presente em setores de engenharia e computação, a Indústria da Arquitetura e Construção (AECO) tem incorporado algumas das estratégias da Indústria 4.0 como forma de estimular mudanças de paradigmas no modo como projetamos e construímos nossos edifícios (AL-RATROUT; ZUREIKAT, 2014). De uma forma ou de outra, essas tentativas têm como objetivo a utilização de ferramentas digitais (ou ciber-físicas) para a efficientização dos processos em arquitetura, seja na sua concepção ou na sua construção. Algumas das maneiras que isso se reflete no processo de projeto é a partir do uso de lógicas algorítmicas, paramétricas e responsivas - que tem forte amparo no processamento de dados em modelos computacionais - ; e a utilização de técnicas de fabricação digital, cada vez mais difundidas (IWAMOTO, 2009), desde as etapas de concepção do projeto até a construção do edifício em si.

A utilização dessas lógicas emprestadas da Indústria 4.0 tem permitido explorações que se assemelham a uma produção industrial contemporânea. A otimização dos projetos é garantida a partir da resposta a parâmetros verificáveis; a flexibilidade é assegurada através da parametrização do projeto frente aos condicionantes impostos; na construção, Iwamoto (2009) argumenta que a praticidade, precisão e rapidez com que se constrói auxiliado por máquinas tem trazido mudanças significativas no canteiro de obras e no produto final.

Associadas a métodos e processos de design já consolidados, as ferramentas e lógicas da Indústria 4.0 trazem novas possibilidades ao lidar com complexidade e um alto número de condicionantes. Elas permitem validação dessas metodologias, que agora recebem amparo do poder de processamento dos computadores - os quais ampliam a geração de alternativas - e da grande quantidade de dados gerados por modelos de simulação cada vez mais precisos. Sob essa ótica, investigações de processos projetuais integrados ao uso dessas novas possibilidades tecnológicas são essenciais para a consolidação de uma arquitetura não só alinhada ao seu tempo, mas capaz de responder às demandas de uma sociedade em constante mudança.

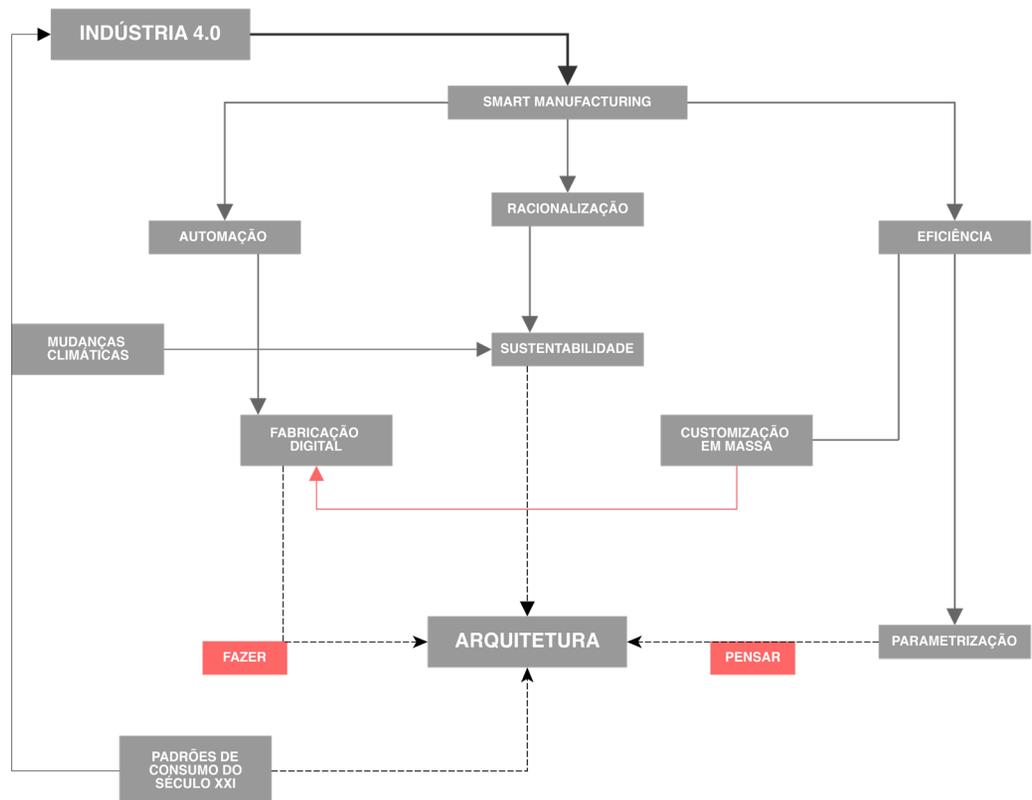
Sendo assim, este trabalho propõe o protótipo de um **Sistema** de Geração de Espaços Flexíveis para Instituições de Ensino Superior (IES) por meio do uso integrado de processos de programação arquitetônica, utilizando técnicas de fabricação digital e ferramentas de design algorítmico e paramétrico

Esse **Sistema** busca atender aos múltiplos usos demandados, de forma responsiva, e será rearranjável temporalmente. Essa discussão se mostra necessária frente à demanda complexa e dinâmica de espaços em IES, que como estudo do SMG (Space Management Group, 2006), sugere mudança e adaptação contínua, e no caso brasileiro é reforçado pelo aumento na demanda de Instituições

de Ensino Superior (Censo da Educação Superior, INEP, 2017). Pretende-se com isso verificar os impactos - tanto no processo de projeto quanto no edifício final - dessas tecnologias a partir de índices verificáveis de: conforto, eficiência energética, desperdício de materiais, custo global etc.

Ainda em consolidação, novas formas de se projetar e construir digitalmente no contexto da Indústria 4.0 emergem rápida e constantemente, ainda sem a real noção de suas implicações a longo prazo. Por isso, além da resposta ao problema delimitado, ao explorar as aplicações desse setor no projeto, o presente trabalho pretende contribuir para as discussões nesse campo da arquitetura.

▼ figura 01: mapa mental esquematizado da correlação entre indústria 4.0 e Arquitetura



Justificativa

Frente aos expostos, este trabalho discute a repercussão da lógica da Indústria 4.0 na Arquitetura sob múltiplas óticas; um tema recente e ainda em consolidação, com potencial de mudanças de paradigma no ato de projetar e construir. O alinhamento da Arquitetura com a era digital, ainda que existente, não é unânime, e esse trabalho busca contribuir para a discussão.

Objeto

Sistema de Geração de Espaços Flexíveis dentro do Centro de Tecnologia – UFPB (Campus I)

Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo visando um **Sistema** de geração de espaços flexíveis que atenda a diversas demandas programáticas de um centro universitário

Objetivos Específicos

- Definir metas de desempenho verificáveis para projeto (de conforto, ecológicos, econômicos) em comparação a edificações tradicionais no mesmo contexto;
 - Desenvolver sistemas complementares flexíveis e escalares;
 - Elaborar soluções construtivas para a implementação em pequena e média escala por meio de uso de ferramentas de fabricação digital;
 - Propor cenários hipotéticos para aplicação desses módulos flexíveis
-

2

Referencial Teórico



1780

Mecânica**1ª** REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

1870

Elétrica**2ª** REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

1969

Automação**3ª** REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

2000+

**Inteligência Artificial Robótica
Big Data
e mais**

**4ª** REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

2.1 INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 é um termo recente: aparece pela primeira vez em 2011, antevendo a 4ª Revolução Industrial (LASI; KEMPER, 2014). Sucessora das três Revoluções Industriais anteriores – a Indústria 4.0 emerge a partir da disseminação de tecnologias digitais em espaço de produção. Ela inaugura a perspectiva de produção fabril futura eficiente e flexível, na qual os produtos controlam seus próprios processos de fabricação, segundo Lasi e Kemper (2014).

Ainda que não consolidada, a discussão da Indústria 4.0 nos últimos 5 anos tem ganhado relevância (LYAO et al., 2017; PICCAROZZI, et al. 2018), e certas noções têm se firmado como base da sua aplicação. Uma delas é o Smart Manufacturing (produção inteligente), que permite que as Indústrias atinjam “sistemas de produção autônomos, auto reguladores e controlados por sensores” (Hofmann, 2017). Kamble et al. (2018) cita três tecnologias recorrentemente descritas como essenciais para o alcance dessa produção inteligente: Cyber Physical Systems (SCF; Sistemas Ciber-Físicos), Internet of Things (IoT; Internet das Coisas) e a Computação em Nuvem.

Segundo Lee (2008) apud Hofmann (2017):

“Os sistemas Ciber-físicos são a integração de computação com processos físicos. Computadores embutidos e redes, monitoram e controlam os processos físicos, geralmente com retroalimentação, onde os processos físicos controlam a computação e vice-versa”.

Dessa forma, os sistemas de produção alcançam níveis de controle e precisão que os permitem potencializar sua eficiência, adaptabilidade e flexibilidade.

A Internet das Coisas (IoT) é descrita por Xu (2017) apud Kamble (2018) como “interação máquina-máquina, sem a interferência humana”. Nela, os equipamentos se conectam à uma rede, e podem ser controlados remotamente.

Já a Computação em Nuvem é a transferência de serviços ligados a computação para a internet (KAMBLE et al., 2018). Nesse modelo, a hospedagem desses serviços é remoto, o que confere velocidade de operação, acessibilidade em qualquer lugar do mundo e computação em grande escala.

Além das possibilidades geradas pelo desenvolvimento das novas tecnologias, seu desenvolvimento se pauta também pelo que Lasi e Kemper (2014) chamam de “application-pull”, ou demanda por aplicação. Consiste na resposta da indústria à mudança na conjuntura sócio-político-econômica, e consequente alteração do padrão de consumo da sociedade, transformando as lógicas de produção e operação. Algumas dessas mudanças de cenário citadas pelos autores são: Individualização de Demanda; curtos períodos de desenvolvimento; flexibilidade; descentralização; eficiência no uso de recursos.

Apesar do crescimento do debate das características da Indústria 4.0, elas ainda concentram-se na Europa – em especial na Alemanha – e também em restritas áreas do conhecimento. Iniciativas Governamentais tem sido um vetor de disseminação e incentivo da aplicação Indústria 4.0. No Brasil, O Ministério da Indústria, Comércio e Serviços lançou uma agenda com etapas para a implementação da Indústria 4.0, e cujo primeiro passo é o estímulo ao debate, avaliação e compreensão do tema. Desse modo, a abordagem da Indústria 4.0 sob uma perspectiva latino-americana e no campo da arquitetura é importante para entender os benefícios de uma quarta revolução industrial alinhado com o contexto socioeconômico dessa região.

2.1.1 INDÚSTRIA 4.0 E ARQUITETURA

Inserida na mesma conjuntura sócio-político-econômica citada, e em meio às transformações digitais correntes, é possível traçar um paralelo entre a Indústria AECO e o que a Indústria 4.0 prega.

O mais importante princípio da indústria 4.0, a estreita relação entre o mundo físico e o digital, encontra reflexo direto em diversas abordagens na arquitetura atual. A 'virtualização' do mundo físico e o diálogo entre os dois, têm permitido que a arquitetura supere alguns dos problemas que tornam a adoção de tecnologia de ponta nessa indústria dificultosa, como a natureza intrinsecamente complexa dos edifícios e a escala em que ela opera (TEDESCHI, 2012).

De um lado, amparado pelo poder de processamento dos computadores atuais, hoje é possível recriar ambientes físicos com extrema precisão no ambiente digital, além de simular fenômenos naturais e artificiais, prever comportamentos estruturais e também variar entre diferentes soluções de design com rápida velocidade, com a real noção de como cada uma dessas soluções impacta a performance final do produto. As ferramentas digitais que temos a nosso dispor hoje permitem que avancemos o modo como utilizamos o computador: de uma ferramenta de representação a um poderoso aliado no desenvolvimento de projetos informados, que respondem a parâmetros bem definidos, e nos aproxima do modo como a Indústria 4.0 desenvolve seus projetos e produtos.

Do outro lado, se possuímos ferramentas capazes de recriar o mundo físico em um ambiente digital, também hoje podemos fabricar o que projetamos no computador com elevada fidelidade. Apesar de já existirem há pelo menos meio século, o avanço e barateamento nas máquinas controladas numericamente por computador (ou CNC) (OLIVEIRA; KOWAL-TOWSKI, 2011) e das técnicas de fabricação digital permitem que materializemos o que construímos no mundo virtual de forma muito rápida e acessível. Esse desenvolvimento tem permitido aos projetistas criarem novas composições formais, explorarem os materiais ao seu limite (IWAMOTO, 2009 p. 7) e também simplificar e automatizar processos de construção. Desde as etapas propositivas do projeto até sua construção.

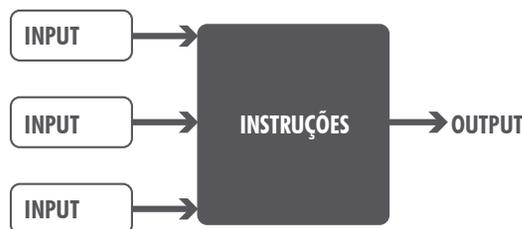
Essa discussão torna-se ainda mais relevante ao considerar a baixa digitalização da Indústria AECO (McKinsey&Company) em todas as etapas e aspectos de sua produção. No cenário brasileiro, isso torna-se mais visível, mediante o predomínio de processos tradicionais. Isso pode ser exemplificados pelo uso ineficiente e pouco integrado de ferramentas BIM nas fases do projeto (ANDRADE; KOWALTOWSKI, 2011) e a predominância de técnicas construtivas tradicionais de alvenaria e concreto (Olivieri et al, 2017), análogo ao empregado no começo do século passado

Sendo assim, propõe-se a exploração da produção em Arquitetura sob a lógica da Indústria 4.0 em duas frentes: o processo de concepção, amparado por ferramentas e lógicas de design paramétricas e algorítmicas; e a materialização do design com a utilização de técnicas de fabricação digital.

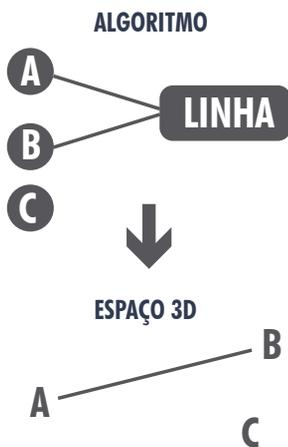
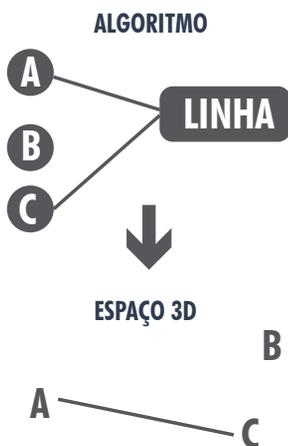
2.2 DESIGN ALGORÍTMICO E PARAMÉTRICO

Design algorítmico é um termo utilizado para definir processos de projeto que utilizam lógicas algorítmicas como base para seu desenvolvimento. Algoritmos são, na definição de Tedeschi (2012): “procedimentos usados para encontrar uma solução para uma questão [...] através de uma lista de instruções bem definidas”.

Muito utilizados na ciência da computação, os algoritmos tiram vantagem do poder de processamento dos computadores, que conseguem realizar tarefas repetitivas de forma muito mais rápida que a capacidade humana. Além disso, por utilizar uma série de instruções bem definidas, em rede, o processo é associativo, ou seja, ao mudar um valor ou input dentro do procedimento, os valores a ele associados mudam correspondentemente.



◀ figura 03: representação esquemática de um algoritmo, segundo Tedeschi (2012), adaptado [5]

CONSTRUÇÃO RETA \overline{AB} MODIFICAÇÃO PARA RETA \overline{AC} 

▲ figura 04: construção de geometria utilizando processos algorítmicos, segundo Tedeschi (2012) [5]

Algoritmos também são utilizados para construir formas tridimensionais em softwares de modelagem. Já que a construção de uma forma qualquer é o resultado de uma série de instruções sequenciais (e.g.: uma reta é a conexão entre dois pontos quaisquer no espaço), sua transposição para um algoritmo é simples. É composto por uma série de regras, e valores de input (eg.: coordenadas dos pontos que constroem a reta) para definir as características daquela configuração específica. A vantagem dessa lógica é que o modelador tem maior controle sobre a forma que constrói e também o permite manipular os valores de input de forma interativa e obtenha formas ou outputs correspondentes.

Em arquitetura, o design algorítmico tem sido impulsionado pela popularização de ferramentas chamadas de visual scripting, que são representações visuais das linhas de código tradicionais, mediante diagramas de nós (TEDESCHI, 2012), nos quais os nós são os blocos de processamento de informação, que executam os procedimentos desejados. As informações descritas podem ser tanto geométricas (formas, comprimentos, raios etc.) como não geométricas. Já as linhas representam o fluxo da informação, de onde ela vem, para onde ela está indo e como se relaciona. Essas ferramentas de visual scripting deixam o processo de criação do algoritmo mais acessível e intuitivo (TEDESCHI, 2012), onde o próprio diagrama de nós já explicita parte da lógica daquele algoritmo.

O design algorítmico está fortemente associado com o conceito de arquitetura ou design paramétrico. Esse termo utilizado pela primeira vez pelo arquiteto italiano Luigi Moretti em 1939 (TEDESCHI, 2012) define uma arquitetura resultante de parâmetros pré-definidos. Apesar de todo edifício ser produto de parâmetros e condicionantes a ele imposto, na arquitetura paramétrica essa relação é bem mais explícita. O trabalho do próprio Moretti para um estádio cujos parâmetros seriam o melhor

ângulo de visão dos espectadores e a viabilidade econômica da construção demonstra isso (TEDESCHI, 2012). Estudos paramétricos datam desde o século XIX, como nos estudos de Gaudi e Frei Otto para otimizações estruturais de suas construções. No entanto, seus estudos eram feitos sobre maquete físicas, cujo único parâmetro incidente era a gravidade.

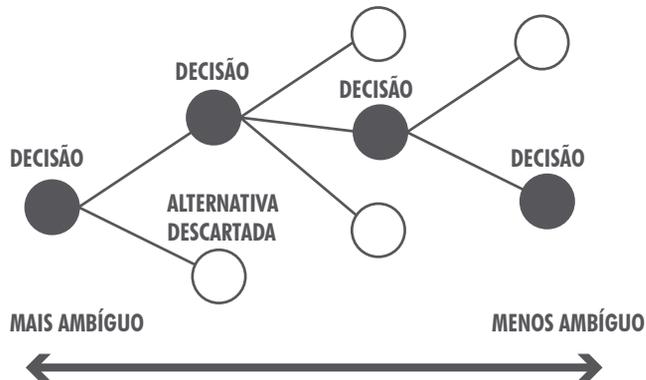
▼ figuras 05, 06 e 07: Estudos de Moretti para otimização de ângulos de visão em Estádios [5]; Estudos com Maquete Funicular de Gaudi para projeto da Sagrada Família [35]; La Sagrada Família [34]; Estádio Olímpico de Munique, Frei Otto [37]



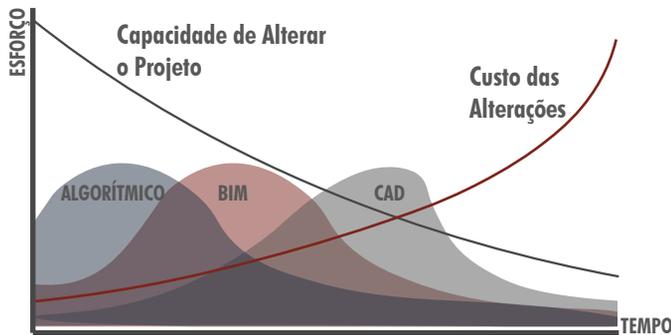
O uso de computadores e da lógica algorítmica em associação com a arquitetura paramétrica permite que utilizemos diversos parâmetros associados entre si através de um algoritmo na criação de formas e sistemas mais complexos. A vantagem do uso dessa abordagem é que ao invés de utilizarmos o computador como uma ferramenta de representação e análise - que apenas reproduz virtualmente o que desejamos (form-making) – utilizamo-lo como participante do processo de projeto. A partir da lógica associativa pode chegar em designs que não prevíamos inicialmente (form-finding). Isso dá ao projetista uma ferramenta de tomada de decisão muito poderosa, já que com o design algorítmico nós projetamos a lógica que define a forma ao invés de uma forma específica em si. “O desenho paramétrico permite a exploração de diferentes alternativas em um modelo interativo, facilitando as decisões de projeto” (OLIVEIRA; KOWALTOWSKI 2011). Além de avaliar o real impacto de cada uma dessas alternativas. Martinez (2000) ao dissertar sobre o processo de projeto defende que a cada tomada de decisão durante o projeto, elimina-se todas as outras variações possíveis, indo de decisões genéricas a mais específicas (MARTINEZ, 2000). Em um processo paramétrico, essas variações não são perdidas, mas acessíveis a qualquer momento a partir da mudança dos parâmetros.

► figura 08: esquema da tomada de decisão em um processo de projeto, baseado em Martinez (2000) [4]

PROCESSO DE PROJETO



O design algorítmico é impulsionado pelo avanço de outras áreas de modelagem virtual, que permite que reconstruamos o mundo físico de forma muito mais precisa e utilizemos as informações desse modelo como parâmetros. Dessa forma, é possível utilizar com bastante confiabilidade simulações de comportamento estrutural, dinâmica dos ventos, trajetória solar entre muitos outros, desde as etapas iniciais de projeto, evitando alterações em momentos mais avançados do percurso, e logo, mais custosos. A integração e coordenação com outras disciplinas também é facilitada, pois permite a incorporação de demandas/parâmetros técnicos na proposta do espaço desde de estudos iniciais sem que isso necessariamente limite a criatividade do projetista.



◀ figura 09: Curva MacLeamy de Tempo x Esforço, adaptada [60]

Assim como praticado na Indústria 4.0, o design algorítmico permite a aproximação do mundo físico e virtual de maneira muito mais fluída e acurada. O processo de tomada de decisão passa a ser mais informado e não dependente apenas da experiência do projetista, especialmente em aspectos mais quantitativos (TEDESCHI, 2012). Agilidade e rapidez na execução e soluções otimizadas são outros preceitos empregados na Indústria 4.0 que encontram repercussão em um processo de projeto que utilize design algorítmico.

O design algorítmico é uma ferramenta que auxilia a solução de um problema, segundo a própria definição de algoritmo utilizada. Não é essa ferramenta, no entanto, que define o problema de design a ser resolvido. Essa tarefa cabe ao projetista. Em processos de projeto diferentes, a definição dos problemas são mais ou menos explícitas e estruturadas.

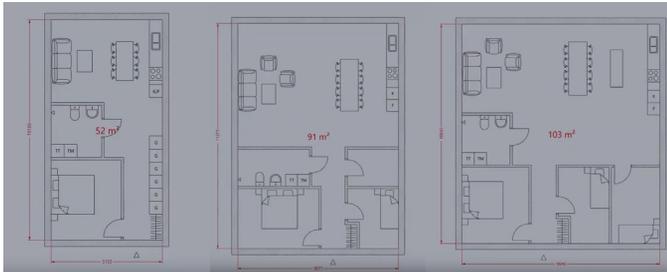
Contudo, quanto melhor definido o problema, mais fácil é sua integração com o processo de design algorítmico. Por trabalhar com instruções bem definidas, lógicas algorítmicas não são aplicáveis a problemas ou declarações ambíguas e não definidas, como argumenta Tedeschi (2012) ao descrever as características de um algoritmo.

Ademais, a definição do problema dentro do processo de projeto extrapola o uso do design algorítmico. A programação arquitetônica é um campo de estudo que se preocupa em como estruturar processos de projeto com problemas bem definidos, para que o ato de projetar seja menos subjetivo. Apesar de existirem muitos métodos de programação arquitetônica, no livro “Programming for Design”, Edith Cherry (1999) argumenta que todos possuem uma estrutura similar, que envolve: a definição de metas e objetivos, coleta de dados, definição de estratégias para atingir esse objetivo e uma etapa de análise (CHERRY, 1999). Percebe-se que essa estrutura é bem definida e adequada à aplicação de uma lógica algorítmica.

Programação Arquitetônica	Lógica Algorítmica
Define Problema	Resolve Problema bem definido
Etapas Sequenciais	Etapas Sequenciais, não ambíguas
Permite subjetividade e interpretação do projetista	Objetivo
Amparo a tomada de decisão	Amparo a tomada de decisão

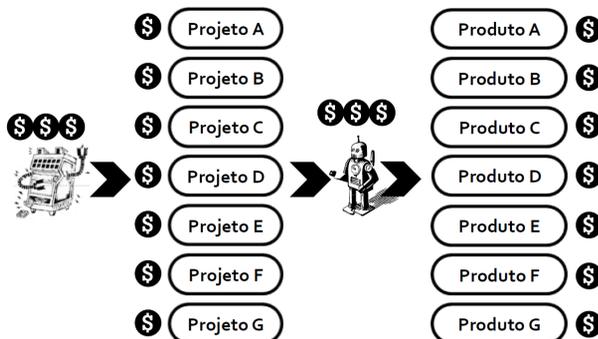
Essa definição feita pelo projetista é importante, pois, como argumentam tanto William Mitchell (1990) quanto Corona Martinez (2000), toda ferramenta de projeto limita ou condiciona as soluções geradas a partir dela, seja essa ferramenta digital ou analógica. Uma definição do problema clara, com metas, objetivos e estratégias minimiza esse condicionamento e permite que a ferramenta trabalhe em prol desses objetivos e não o contrário.

Um dos debates éticos relacionados ao tema do design algorítmico é que algoritmos de computador podem substituir os profissionais de arquitetura se eles começarem a ser disseminados no meio. No entanto o ponto de vista assumido é que esses algoritmos já estão sendo desenvolvidos, e irão ser desenvolvidos independente da participação de arquitetos ou não. Então é mais benéfico que os profissionais de arquitetura assumam o protagonismo desse desenvolvimento, aliado com profissionais de outras áreas, na construção de algoritmos e sistemas que entendam as reais necessidades da área

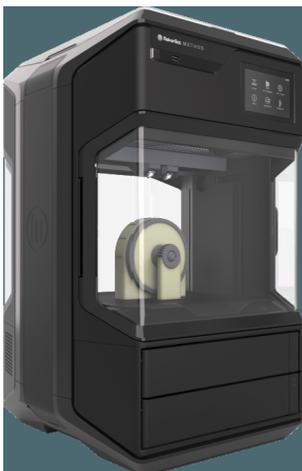
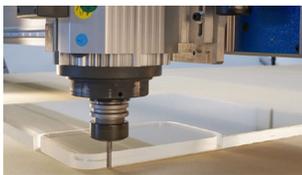


◀ figura 10: plantas baixas de um apartamento geradas por um algoritmo generativo [9]

Nessa perspectiva, o papel do arquiteto muda, da produção de projetos individualizados, para a construção de uma lógica de projeto, aplicável a cenários diferentes, que respondem às individualidades de cada contexto. É o que a Professora Gabriela Celani defende em sua fala feita no VIII Momento de Arquitetura e Urbanismo da UFPB, em agosto de 2018. Segundo ela, é essa a lógica que é utilizada na Indústria 4.0, algoritmos, associados a técnicas de fabricação digital que produzem produtos customizados a cada demanda, sem o aumento no custo da produção, o que é chamado de Mass Customization.



◀ figura 11: lógica de customização em massa e utilização de fabricação digital na Indústria 4.0 [14]



► figura 12: exemplos de máquinas CNC [50], [52]

2.3 FABRICAÇÃO DIGITAL

Fabricação Digital é, na definição de Lisa Iwamoto, “um modo de fazer que utiliza dados digitais para controlar o processo de fabricação” (IWAMOTO, 2009). Essa prática utiliza máquinas que são controladas numericamente por computador (CNC) através de desenhos e arquivos digitais. Alguns exemplos dessas máquinas são cortadoras a laser, fresadoras CNC, impressoras 3D etc.

Iwamoto (2009) argumenta que a vantagem de processos de fabricação digitais é que pelo processo ser feito todo em ambientes virtuais, não há intermédio de ações humanas, ou elas são reduzidas, diminuindo a suscetibilidade a erros na tradução do desenho para a construção, um problema inerente à arquitetura e construção. Esse tipo de operação, dos arquivos digitais direto para produção, é chamada file-to-factory (PUPO; CELANI, 2011). Um dos benefícios disso é a descentralização da produção. A dependência de centros industriais especializados é diminuída, especialmente com o recente barateamento das máquinas e materiais para fabricação digital (OLIVEIRA; KOWALTOWSKI 2011).

Outra vantagem segundo Iwamoto (2009) são as possibilidades formais que a fabricação digital abre. As máquinas e técnicas utilizadas nesse processo permitem explorar os materiais ao máximo, e de formas não convencionais. A modelagem tridimensional de formas complexas e a possibilidade de execução delas de forma relativamente rápida e simples também fortalece a busca por geometrias únicas e complexas. Ao analisar o modo de produção do escritório Gehry + Partners para a obra do Disney Concert Hall, Iwamoto afirma que:

“Esse método de construção revelou que as complexidades e a singularidade das geometrias de superfície não afetaram significativamente os custos de fabricação, e é essa constatação de que é possível fazer uma série de peças únicas com quase o mesmo esforço que exige produzir em massa peças idênticas, que forma um aspecto significativo da fabricação assistida por computador que desde então tem sido explorada para efeito de design. (IWAMOTO, 2009)



◀ ▼ figuras 13 e 14: Disney Concert Hall, Frank Gehry - atualmente e em construção [55], [54]



A acessibilidade aos métodos de fabricação digital e as economias trazidas são outros fatores que têm estimulado a sua adoção. O campo da customização em massa estuda como adotar uma cadeia produtiva em que cada peça fabricada é única e customizada (DA SILVEIRA et. al. ,2000). Esse processo só é possível a partir da associação tanto do design paramétrico quanto da fabricação digital. A Indústria 4.0 também adota essa lógica, especialmente sob a ótica de Individualização de Demanda, curtos períodos de desenvolvimento e flexibilidade que Lasi e Kemper (2014) descrevem como conjuntura sócio-política-econômica do padrão de consumo do século XXI.

Processos de fabricação digital auxiliam não somente a fase final de construção, mas também a própria concepção projetual. Oliveira (2011) expõe a adoção da prototipagem pela arquitetura com o fim de entre outras coisas, “utilizar o protótipo como modelo de estudo de projeto, avaliação de soluções e apresentação do objeto arquitetônico projetado.” (OLIVEIRA; KÓWALTOWSKI, 2011). Isso se deve a facilidade encontrada na produção desses modelos em escala, que “têm grande precisão e pode ser decisivo no ambiente construtivo, uma vez que detalhes fiéis aos projetados, mesmo que pequenos, são mais fáceis de visualizar” (OLIVEIRA; KÓWALTOWSKI, 2011).



► figuras 15,16,17 e 18: utilização da prototipagem rápida no auxílio do processo de projeto [57], [56], [47], [59]

Por fim, outra característica do nosso tempo é a preocupação com as mudanças climáticas e padrões de produção mais sustentáveis. A Indústria 4.0 tem-se preocupado com minimizar os desperdícios gerados em sua produção e na otimização na utilização dos recursos, diretos e indiretos (LYAO et. al. 2017). A fabricação digital é uma poderosa ferramenta nesse sentido, pois, a partir do planejamento digital prévio, e de níveis de tolerância e erro muito baixos, o desperdício de insumos pode ser reduzido a próximo de 0. Isso falando de sistemas subtrativos, nos quais a partir de uma placa corta-se as peças desejadas para a montagem do produto; quando falamos de fabricação aditiva, os desperdícios são ainda menores. Essa técnica, cuja principal ferramenta são as impressoras 3D, permite que as peças ou produtos sejam transferidos direto do modelo digital para o físico a partir da “adição materiais camada a camada”(PUPO; CELANI, 2011), em que o material empregado é exatamente aquele necessário para a finalização da peça.

Porque espaços flexíveis e adaptáveis ?

A Indústria 4.0 não se limita apenas ao uso de tecnologias ciber-físicas, internet das coisas e computação em nuvem. Seu uso tem como objetivo atingir novos padrões produtivos e demandas sócio-econômicas, que exigem cada vez mais a Individualização de Demanda; curtos períodos de desenvolvimento; flexibilidade; descentralização; eficiência no uso de recursos Lasi e Kemper (2014).

Fora das fábricas automobilísticas mais avançadas e data-centers ultra modernos, essa conjuntura é pertinente a praticamente qualquer setor, incluindo o da Arquitetura e Construção. Há uma demanda crescente por construções, os usos em edifícios e espaços exigem cada vez mais flexibilidade, os ciclos de vida desses são cada vez mais curtos, a procura por soluções sustentáveis é cada vez mais discutida. E é parte do dever da Arquitetura buscar soluções e alternativas para esse cenário.

Esteves (2013) apud Barbosa (2016) argumenta em favor da atualização dos processos e métodos de projeto, de modo que estes respondam não apenas a demanda imediata, mas sejam capazes de atender diferentes usuário ao longo do tempo. Rabeneck, Sheppard & Town (1973) apud Barbosa (2016) também defendem a utilização da flexibilidade na arquitetura para a promoção da "escolha" e "personalização pelo usuário. Conceitos esse análogos aos expostos na demanda por aplicação de Lasi e Kemper (2014).

Devido à natureza intrinsecamente complexa e escala muito grande (TEDESCHI, 2012), é por vezes difícil enxergar como as lógicas da Indústria 4.0 podem ter rebatimento na arquitetura e trazer uma produção do espaço mais eficiente e alinhada com as dinâmicas contemporâneas.

Na realidade de Instituições de Ensino Superior, essa realidade é visível. Nesse espaço são múltiplos cursos de graduação e pós-graduação, setores administrativos, espaços de atendimento ao público etc., que possuem demandas diversas por espaço e por vezes demandas voláteis. Os planos pedagógicos dos cursos estão em constante evolução, bem como as dinâmicas organizacionais das atividades administrativas das Universidades. Como parte da discussão trazida pelo SMG (Space Management Group, 2006), tratado de maneira descoordenada, o uso desse espaço pode ser ineficiente: ou faltam espaços quando a demanda aumenta, ou sobram espaços que são ociosos a maior parte do tempo, construídos para atender atividades esporádicas e de pouca demanda.

A busca pela flexibilidade e adaptabilidade, apesar de não ser uma busca nova – os modernistas estudaram o assunto exaustivamente – ganha novas possibilidades sob a ótica da indústria 4.0 justamente por utilizar as ferramentas e tecnologias mais recentes, para alcançar maior eficiência e responsividade.

A proposta do trabalho é a proposição de um **Sistema** para geração de espaços flexíveis e adaptáveis, aplicado a um estudo de caso específico, mas que seja aplicável a diversos usos dentro de Instituições de Ensino Superior. Utilizando conceitos e ferramentas como design algorítmico e paramétrico e fabricação digital, espera-se chegar a uma defesa sólida de como a Indústria 4.0 pode trazer eficiência a produção de arquitetura

3

Referências



3.Referências

A análise de projetos de referência foi utilizada para entender o uso de alguns conceitos e técnicas específicas do tema trabalhado a fim de ampliar o repertório e vocabulário de soluções para etapa projetual posterior.

As categorias de análise escolhidas foram: Fabricação Digital, Flexibilidade e Design Paramétrico (responsivo). Dentro de cada categoria, procurou-se diferentes abordagens para aquele tema.

Categorias de Análise	Aspectos analisados		
Fabricação Digital	Facilidade de Construção	Open Source	Modularidade
Flexibilidade	Reconfigurabilidade	Intercambialidade	Modularidade
Responsividade	Parametrização	Automatização	Sensoriamento

3.1 Fabricação Digital

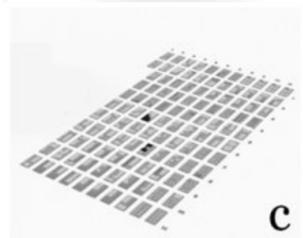
A Fabricação Digital ainda não é um sistema construtivo consolidado na Indústria da Arquitetura e Construção. Por isso, os projetos escolhidos como correlato têm o caráter exploratório, caracterizando-se mais como protótipos.



a



b



c

INSTANT HOUSE

Desenvolvida como protótipo pelos professores Lawrence Sass e Marcel Botha do departamento de arquitetura do Massachusetts Institute of Technology (MIT), em 2006, a ideia da Instant House era de criar um “sistema de produção usado em habitações para vilarejos rurais customizadas em massa” (SASS; BOTHA, 2006).

A proposta dos pesquisadores foi a de uma unidade habitacional simples, de 2.5m por 3m de espaço interno, inteiramente fabricado digitalmente, com uma fresadora CNC, incluindo seus encaixes. Dessa forma, a construção pode ser toda erguida por poucas pessoas, em um espaço curto de tempo e com ferramentas simples. As peças utilizadas para a montagem da casa são chapas de compensado de 2cm, cujas dimensões respeitam as dimensões máximas de placas encontradas no mercado, neste caso, 2.5m. Essas peças eram extraídas de um modelo digital, que subdividia a geometria da casa em parte bidimensionais – respeitando as limitações citadas – que então eram transferidas para as máquinas de corte.

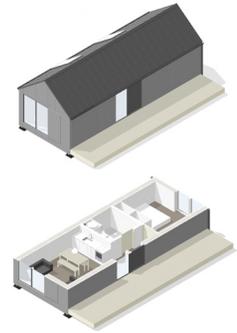
A facilidade de execução e montagem, e a possibilidade de customização do design, graças à lógica paramétrica, mostram a viabilidade da fabricação digital como sistema construtivo de fato. Essa exploração de Sass e Botha chamou a atenção pelo pioneirismo da aplicação, e posteriormente foi expandida para uma Exposição curada pelo MoMA, intitulada “Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling”, em Nova Orleans, além de abrir o horizontes para novas explorações na utilização da fabricação digital como sistema construtivo na escala 1:1.

▲ figuras 19 e 20: montagem da Instant House; processo de transformação: da forma da casa, para as peças e as placas de corte da Máquina CNC [17]

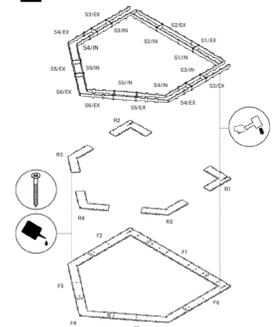
MICROHOUSE

Uma dessas explorações é a Microhouse, o segundo correlato apresentado. A Microhouse está inserida dentro de um projeto maior chamado Wikihouse. Ele é um projeto de código aberto (open source) que busca mudar o padrão de produção da Indústria 4.0. Por meio de uma plataforma online, a Wikihouse funciona como um repositório de soluções construtivas em fabricação digital, na qual qualquer pessoa pode tanto submeter como utilizar soluções enviadas. Os arquivos disponibilizados contêm todas as informações necessárias para fabricar e montar os designs de forma clara e prática.

Uma delas é a Microhouse, uma unidade habitacional de um quarto e de alta performance. Com 37.5m² de área interna, a estrutura da Microhouse é simples, composta por 10 quadros estruturais de madeira compensada dispostos em série. Suas vedações são compostas por chapas encaixadas na estrutura, feitas do mesmo compensado, e envelopadas posteriormente. O diferencial da Microhouse está tanto no fato de ela ser fabricada quase 100% digitalmente (ainda há alguns parafusos e outros elementos pré-fabricados no design) como open source. No site da wikihouse - <https://wikihouse.cc> – todos os arquivos de corte, planilha de materiais, manual de montagem etc. estão disponíveis para download, permitindo e incentivando que qualquer pessoa construa sua própria Microhouse.

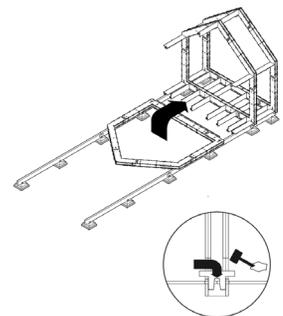


2



x10

5

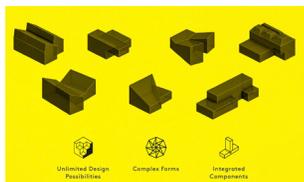
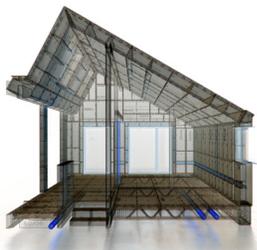


▲ figura 21: vista externa e plano interno da Microhouse; fases de montagem da Microhouse [45]

◀ figura 22: render externo da Microhouse [45]



Total internal area – 220m²



▲ figura 23: esquema de uma casa feita pela Facit Homes; Facit Chassi; Exemplo de Mobiliário Interno; Esquema de diferentes configurações que a as casas Facit Homes podem assumir;[44]

► figura 24: exemplo de uma casa feita pela Facit Homes [44]

FACIT HOMES

A Facit Homes é um escritório de arquitetura com sede no Reino Unido, fundado em 2007 que projeta e constrói casas fabricadas digitalmente, e é uma das primeiras aplicações comerciais desse método construtivo.

A nível de projeto as casas não são muito diferentes de exemplos que usam sistemas construtivos tradicionais, e sua estrutura se assemelha a da Microhouse, que eles chamam de Facit Chassis. No entanto, diferente da Microhouse e também do que é defendido na Instant House, o processo de geração dos projetos é fechado. Ao serem encomendados um projeto, os arquitetos do escritório projetam a proposta levando em consideração a fabricação digital, mas não a livre customização e interação do cliente e usuário final. Logo, apesar dos benefícios na etapa construtiva – menor taxa de desperdício, espaços eficientes energeticamente, facilidade na construção – a proposta da Facit Homes não é 100% integrada com processos de projeto open source. Mesmo assim, com esse exemplo consegue-se provar que a fabricação digital consegue competir economicamente com outros métodos construtivos mais consolidado.



3.2 Flexibilidade

A categoria de Flexibilidade buscou investigar principalmente o aspecto adaptável do projeto, investigando o que faz dele adequado a situações variadas. As soluções aqui são variadas, de rearranjo de módulos em novas configurações à possibilidade de substituição de unidades de apartamento dentro de um edifício

(W)EGO

A instalação (W)EGO foi uma instalação do escritório Holandês MVRDV e do Why Factory para a Semana de Design Holandês de 2017, buscando responder a pergunta “Como o futuro da cidade se parece?”.

A proposta do escritório foi um Hotel composto por nove módulos coloridos de diferentes funções que se conectam entre si em uma estrutura de 9m de altura. Segundo os arquitetos a ideia é explorar um cenário de máxima densidade urbana, colocando à prova a negociação dos usuários de cada módulo na busca da configuração ideal para todos. Para isso, a flexibilidade no rearranjo dos módulos permite essa interação exploratório dos habitantes. No contexto da exibição, essa flexibilidade permitiu que a quantidade de módulos fosse baseado no número de visitantes.



▲ figura 25: imagens da instalação e vistas internas dos módulos; [40]

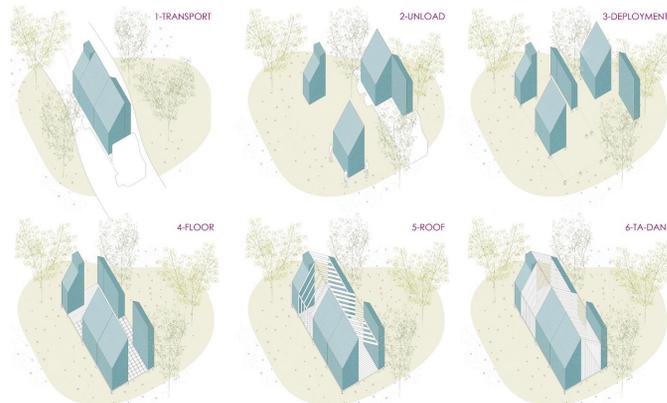
◀ figura 26: esquema de aplicação e expansão dos módulos; imagem da instalação; [40]



CABIN MODULES

A proposta do grupo argentino IR Arquitectura para o Festival Hello Wood Hungria em 2018 foi uma cabine rural composta por módulos. A proposta do grupo é de 5 módulos que atendem as funções de: armazenar, vestir, cozinhar, aquecer e descansar. Cada uma dessas atividades possui certas variações de módulos e o agrupamento de determinadas funções resulta na cabine final.

Diferentes configurações são propostas para níveis de ruralização e urbanização distintos. O formato das células são pensadas para que o transporte, e a montagem sejam fáceis, e a proposta engloba soluções de geração de energia solar, coleta e reuso de águas e uma cozinha solar, objetivando uma casa altamente eficiente energeticamente.



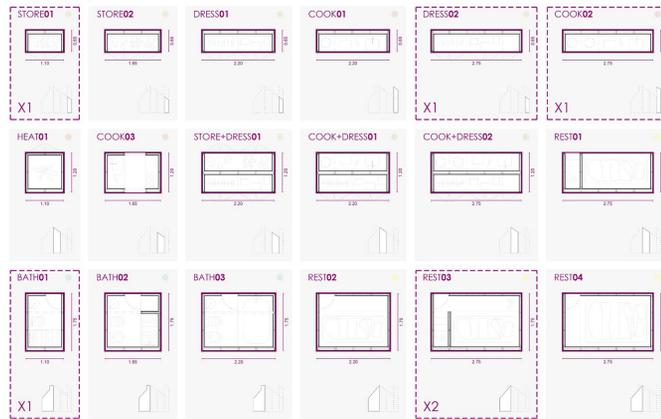
▲ figura 27: imagens internas da cabine; [39]

► figura 28: esquema de montagem; [39]

► figura 29: perspectiva externa [39]



HW2018



◀ figura 30: variações dos cinco módulos; [39]

HW2018

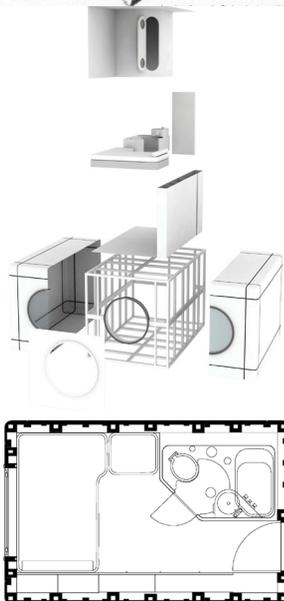
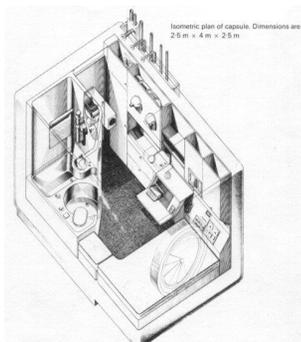


◀ figura 31: diferentes arranjos de cabines; [39]

HW2018



◀ figura 32: cortes Cabin Modules; [39]



▲ figura 33: esquemas das cápsulas; [41]

▲ figura 34: vista interna de uma das cápsulas; [41]

► figura 35: vista externa da torre e cápsulas; [41]

NAKAGIN CAPSULE TOWERS

O projeto do arquiteto japonês Kisho Kurokawa é um dos clássicos do movimento metabolistas japonês, e uma das explorações pioneiras de flexibilidade nessa escala. Inaugurado em 1972, possui estrutura feita por dois núcleos centrais de concreto, dos quais partem 140 cápsulas de 2.5 por 4.0m contendo os equipamentos básicos para uma habitação. Iluminação e ventilação natural são alcançados através da janela circular no centro de uma das fachadas. Dos núcleos centrais também partem as instalações que abastecem cada cápsula. O mobiliário também é pensado de modo a aproveitar ao máximo o espaço interno; os armários transformam-se em mesas, as pias são retráteis, a cama é embutida na estrutura.

As cápsulas pré-fabricadas foram projetadas para serem inseridas, substituídas ou retiradas da estrutura de concreto - com quatro parafusos de alta tensão - ao longo do tempo, de acordo com a necessidade. Inserido no contexto do pós-guerra e do alto crescimento dos centros urbanos, a Nakagin Capsule Tower é uma investigação da flexibilidade e compactação pioneira, e estabeleceu o campo para explorações mais robustas, à medida que a tecnologia e o domínio de novas técnicas construtivas se desenvolveram.



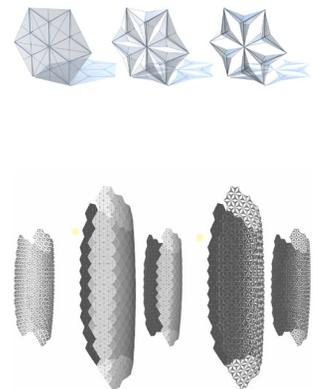
3.3 Design Responsivo

O design responsivo é abordado aqui como a materialização do design algorítmico e paramétrico na edificação construída. Ao lidar com um amplo número de condicionantes ambientais, por vezes conflitantes, que não podem ser respondidos otimamente com soluções fixas e estáticas, o design responsivo utiliza partes mecânicas que respondem às condições do ambiente. Para isso, as soluções que utilizam o design responsivo contam com no mínimo dois componentes: sensores e atuadores. Os sensores medem e computam as condições ambientais em um determinado instante, e os atuadores movimentam os componentes mecânicos baseado na leitura do sensores. A Arquitetura responsiva é uma das áreas que se beneficia com o refinamento no tratamento de dados, fluxos de informação e computação, objetivando equacionar a relação entre usuário, conforto e segurança (NOME et al., 2018). Nome (2018) descreve que comumente, as soluções de design responsivo são peles e elementos de fachada, mas a mesma lógica pode ser aplicada a qualquer parte do edifício.

AL-BAHAR TOWERS

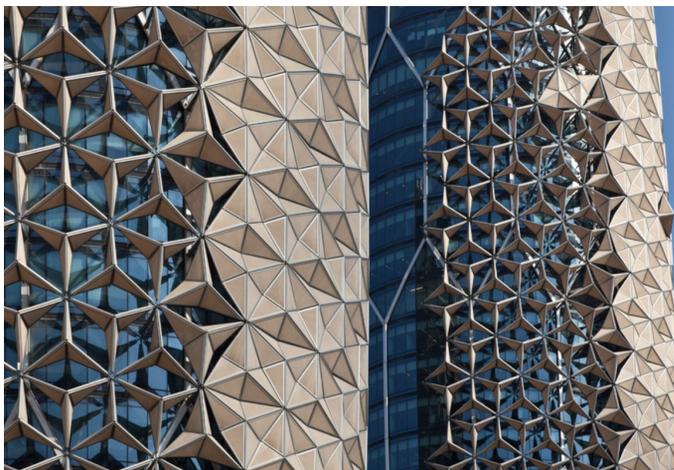
As torres localizado em Abu Dhabi, sofrem com as condições climáticas extremas da Península Arábica—temperaturas próximas aos 37, baixo índices pluviométricos, tempestades de areia – que comprometem o conforto interno nas torres.

A solução desenvolvida pelo Escritório Aedas, foi uma pele externa que se abre e se fecha em função do ângulo de incidência solar. Essa pele foi desenvolvida parametricamente pela equipe de computação do escritório, e permitiu a simulação da operação dos componentes e chegar em uma resposta mais otimizada. Estima-se que a pele da Al-Bahar Towers tenha reduzido o ganho solar em até 50%, além de permitir a utilização de vidros mais transparentes e consequente maior entrada de iluminação natural.



▲ figura 36: esquema de funcionamento do elemento de abertura da pele da Al-Bahar Towers; simulação da operação da pele de acordo com incidência solar; [43]

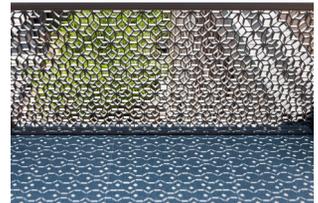
► figuras 37 e 38: Al-Bahar Towers; pele da fachada em operação; [43]



ABU DHABI MARKET

Também em Abu Dhabi, a proposta de 2014 do escritório Foster + Partners para o novo Mercado Central da cidade utiliza o design responsivo para contornar o clima da capital dos Emirados Árabes Unidos.

O espaço interno é uma reinterpretação dos mercados árabes tradicionais, composto por uma série de rotas e espaços abertos em formatos de praça. No entanto, enquanto em metade do ano o clima é agradável para se transitar, na outra metade a incidência solar é muito intensa. Para atender ambas as situações, o grupo propôs uma série de painéis deslizáveis que ao se sobreporem filtram a radiação e entrada de luz no espaço, de acordo com as condições ambientais externas. Desse modo, é possível abrir ou fechar mais o espaço, garantindo o conforto dos usuários do mercado. Esses painéis foram desenvolvidos a partir da releitura da geometria islâmica e dos padrões de Azulejos Zellij.



▲ figura 39: vista interna do mercado; vista externa do mercado; detalhe dos painéis deslizantes; [42]

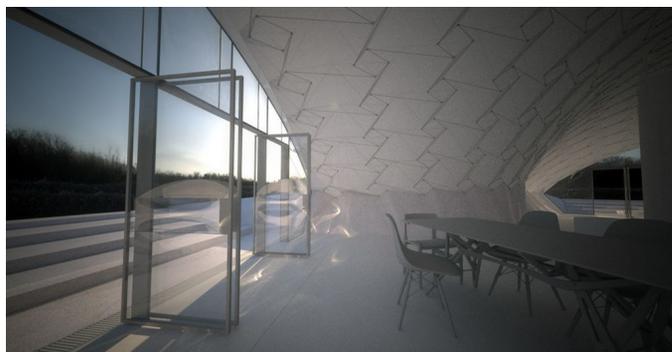


◀ figura 40: vista interna do mercado; [42]

CASA DE PRADARIA – ORAMBRA

O projeto da Prairie House (casa de pradaria) do Escritório para Mídia Arquitetônica Robótica e Departamento de Arquitetura Responsiva (ORAMBRA) é o de uma pequena residência composta por uma casca responsiva que muda de cor e forma para se adequar ao ambiente em que se encontra.

A casca é uma membrana tensionada com a tinta termo e foto-cromáticas no seu interior. Essa estrutura permite que o espaço interno da residência encolha em dias frios, prevenindo a perda de calor, e expanda em dias quentes, diminuindo o ganho de calor. Já a tinta fotocromática torna-se mais clara em dias quente, e escura em dias frios. Esses mecanismos fazem com que o consumo de CO₂ da casa seja de 1623 ton., enquanto uma casa convencional no estado de Illinois consome 4008 ton de CO₂.



▲ figura 41 e 42: detalhe da tinta foto-cromática da pele; imagem interna da casa; [53]

► figura 43: vista externa e interna da casa; [53]

3.4 CASA NORDESTE

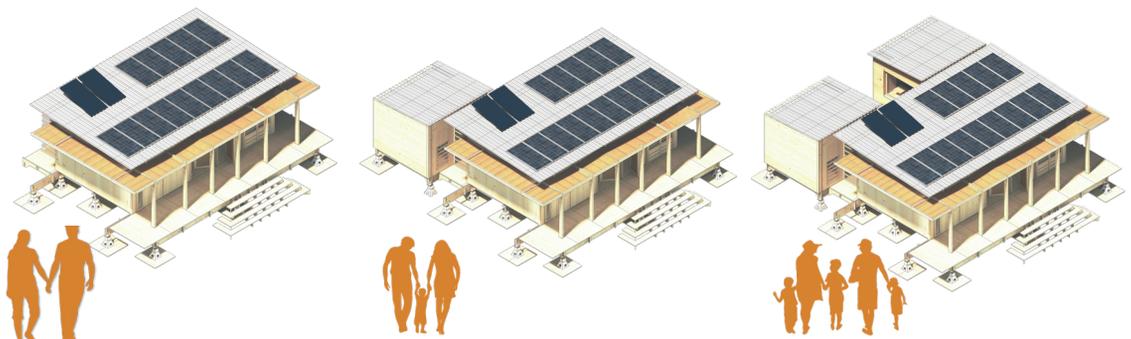
Além de todas as referências já apresentadas, a mais direta e importante talvez seja o projeto CASA NORDESTE, do qual o autor faz parte desde 2017.

O projeto é uma resposta ao Solar Decathlon Latin America and Caribbean 2019, uma competição internacional na qual estudantes de diversas universidades do mundo devem projetar, construir e operar uma casa compacta e de baixo custo, de matriz energética 100% solar.

A CASA NORDESTE além de atender essas demandas da competição, procurou abarcar outros conceitos e propostas no seu desenvolvimento. Os três pilares base do projeto são: Casa Evolutiva, Open Source e 100% Nordeste.

O primeiro conceito surge do entendimento de que núcleos familiares evoluem ao longo do tempo, assim como sua demanda por espaços, sistemas e afins. Logo, as casas em que habitam deveriam evoluir junto com eles, seja aumentando ou diminuindo. Por isso a CASA NORDESTE propõe a evolutividade, atingida a partir da modulação dos espaços e sistemas para crescerem e diminuírem com o tamanho da família ao longo do tempo.

▼ figura 44: tempos evolutivos da CASA NORDESTE; [59]



Os estudos programáticos e da incorporação da variável “tempo” na criação de espaços flexíveis e adaptáveis realizados no projeto foram a base e o incentivo para a atual pesquisa, que procura expandir o escopo de residências para ambientes de uso variado.

Já o conceito de Open source se preocupa com a disseminação do material e conhecimento produzido na CASA NORDESTE para que qualquer um possa usá-la, melhorá-la, adaptá-la às suas necessidades, de forma livre e gratuita. Para isso, a utilização de técnicas de fabricação digital no sistema construtivo da Casa foram essenciais, pois é ela que permite a disseminação e descentralização da produção. Isso torna-se ainda mais relevante no contexto social da América Latina, para onde o projeto é desenvolvido, já que há a enraizada negação do acesso a profissionais de arquitetura e engenharia para as camadas mais vulneráveis da sociedade (CASA NORDESTE).

O contato com o tema de fabricação digital e as mudanças permitidas para além do campo construtivo - e que já são aplicadas em larga escala em outros setores - foram fatores decisivos para os estudos aplicados ao trabalho corrente.

▼ figura 45: esquema de fabricação e montagem da CASA NORDESTE; [59]

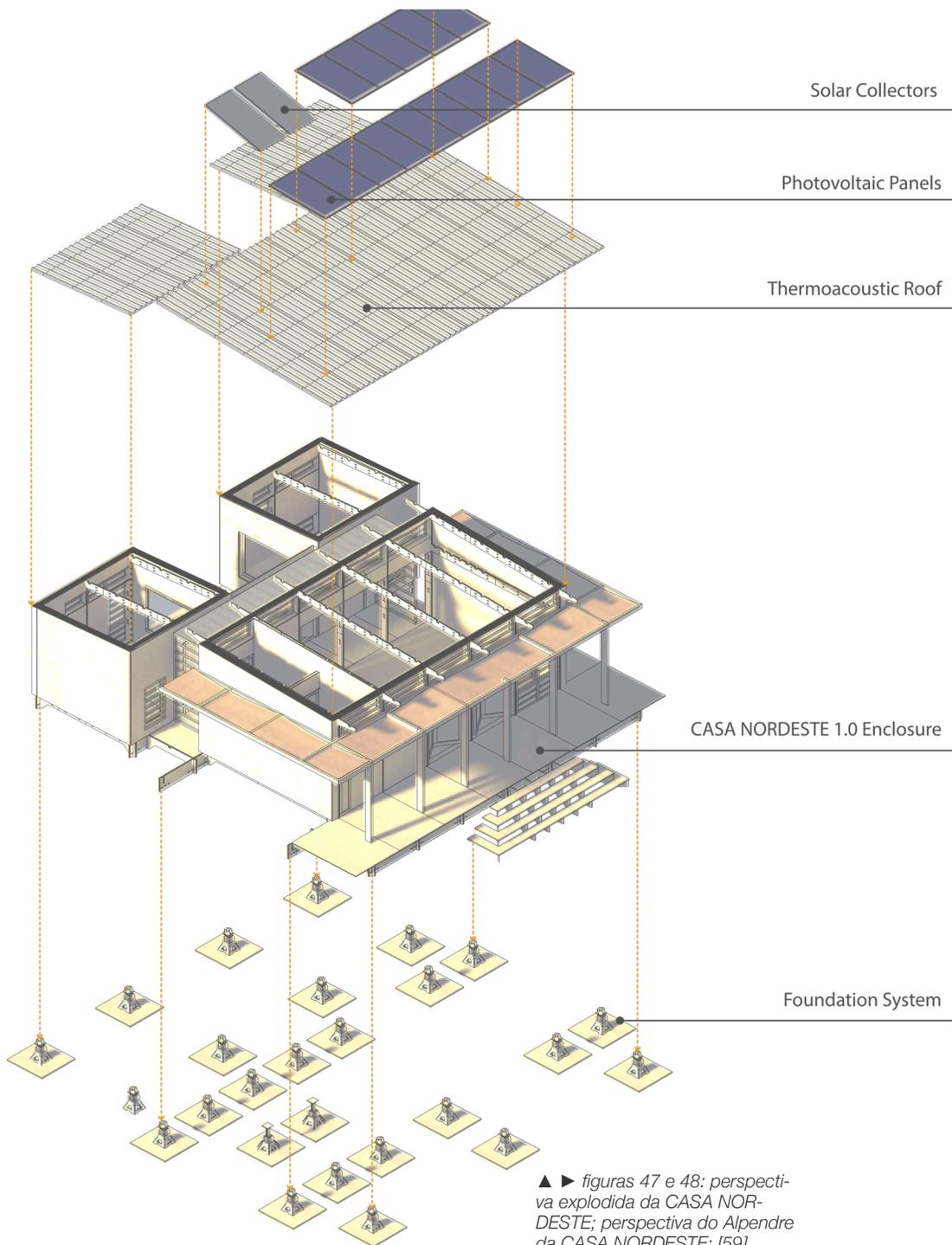


Por fim, a ideia de 100% Nordeste propõe a utilização de técnicas, materiais, pesquisas e insumos da região Nordeste. Essa escolha objetiva tanto o menor deslocamento entre o local de extração do material até sua aplicação final, o que gera menor impacto ambiental, estímulo da economia local, preços mais competitivos; quanto pelo aproveitamento de estratégias bioclimáticas vernaculares que têm sua eficiência comprovada ao longo do tempo. A reinterpretção do Alpendre, por exemplo, elemento presente amplamente nas casas nordestinas, é a principal estratégia de controle climático adotada pela CASA NORDESTE e contou com a utilização de simulações e testes computacionais para validar quantitativamente o que já se esperava.

Essas e outras estratégias bioclimáticas passivas, adaptadas ao contexto no qual está inserido, foram estudadas e empregadas no projeto mais adiante. Além da preocupação com a sustentabilidade do projeto em uma escala mais global, preocupando-se com a pegada de carbono e energética dos materiais e equipamentos empregados em toda a sua escala produtiva.

▼ *figura 46: perspectiva externa da CASA NORDESTE; [59]*







4

Método

4. Método

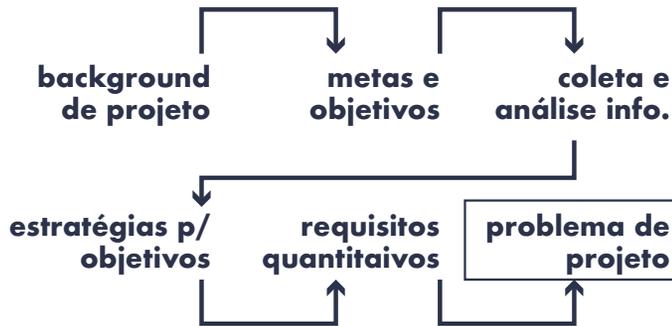
Como exposto nos objetivos, o trabalho irá desenvolver o protótipo de um **Sistema** de geração de espaços flexíveis dentro do centro de tecnologia da UFPB. Com isso, existem duas principais etapas delineadas, o desenvolvimento do **Sistema** em si e sua aplicação dentro de um caso no Centro de Tecnologia.

O método empregado nesse trabalho é dividido em duas partes, que se relacionam de maneira não-linear, e são correspondentes as etapas do trabalho citadas acima. A primeira utiliza principalmente conceitos de programação arquitetônica, através de autores como Edith Cherry e William J. Mitchell para a definição do **Sistema** para a criação dos espaços flexíveis e adaptáveis proposto. Já a segunda é a aplicação desse **Sistema** ao estudo de caso, em forma de projeto, utilizando processos de projeto baseado na prática reflexiva de Donald Schon.

Como visto na delimitação do problema a definição de processos de projeto assemelha-se a uma lógica algorítmica, por ser uma lista de etapas bem definidas a fim de caracterizar um problema. Diversos autores, especialmente a partir da década de 60, se empenharam em descrever esses processos com o objetivo de diminuir os erros decorrentes de projetos mal definidos, e também tornar essa prática mais eficiente (ANDRADE; KOWALTOWSKI, 2011). Dentre as diversas ramificações e abordagens para o processo de projeto, a programação arquitetônica foi a escolhida como método base para o desenvolvimento da primeira parte do trabalho.

Para Edith Cherry, a programação arquitetônica é “[...] o processo de pesquisa e tomada de decisão que define o problema a ser resolvido pelo projeto” (CHERRY, 1999). É a etapa anterior ao início do desenvolvimento do projeto, em que as principais

informações são coletadas e processadas, objetivos e critérios de desempenho são declarados e o problema é definido. Cherry (1999), irá dividir a programação em 6 itens: pesquisa do background do projeto; identificação de metas e objetivos; coleta e análise da informação; seleção de estratégias para alcançar as metas e objetivos; estabelecimento de requisitos quantitativos; síntese do problema de projeto (CHERRY, 1999).



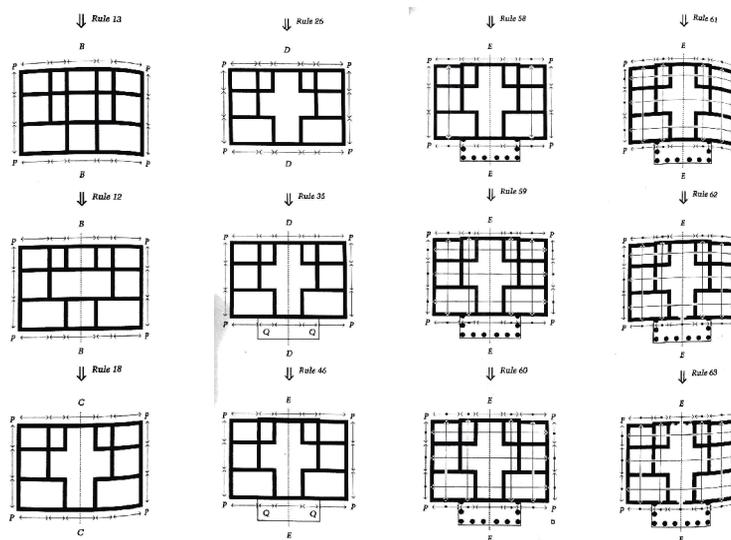
◀ figura 49: sequência de etapas proposta por Cherry (1999) [1]

A adoção desse método é particularmente interessante para esse trabalho, pois, com a programação arquitetônica é possível ter um panorama prévio o mais completo possível para um projeto de arquitetura, além de métricas claras (critérios de desempenho, ou o que Cherry (1999) chama de requisitos quantitativos) para as tomadas de decisão e avaliação do projeto posteriormente.

Após a coleta de dados e definição de objetivos, segue-se uma etapa de processamento dessas informações na construção de um programa arquitetônico. Como neste trabalho o objetivo é criar o protótipo de um **Sistema** de geração de espaços, ao invés de um projeto único isolado, o programa toma forma de definições claras das relações entre os diversos componentes mapeados com o intuito de atender os critérios de performance pré-estabelecidos. Dessa forma, é possível aplicar a mesma lógica em diversos cenários, parametricamente.

Ao falar de processos de projeto, Andrade e Kowaltowski (2011, p.81) , argumentam que “[...] Por meio da otimização de um grande número de restrições e requisitos parcialmente conflitantes, o processo de projeto evolui em busca da ‘solução ideal’” (ANDRADE; KOWALTOWSKI, 2011). Sendo assim, ao explicitar e estruturar essas restrições e requisitos, de forma algorítmica, tem-se mais clareza do processo de projeto empregado e, segundo Andrade, estabelece-se uma ligação entre a solução e a natureza do problema (ANDRADE; KOWALTOWSKI, 2011).

Mitchell (1990) já havia proposto em uma abordagem algorítmica ao projeto de arquitetura. No livro “The Logic of Architecture – Design Computation and Cognition”, ele desenvolve um processo (chamado de linguagem) no qual a geração da forma é feita a partir de seqüências claras de passos, envolvendo transformações, adições, derivações etc. a partir de um ponto inicial. Ainda que não tenha escrito linhas de código ou programado de fato, o sistema de Mitchell é facilmente transformável em um algoritmo de computador, devido à forma estruturada e não ambígua que seu método atua. E é isso que pretende alcançar na primeira etapa do trabalho: um **Sistema** algorítmico estruturado, aplicável a diversos cenários de projeto, que não seja necessariamente em forma de código computacional, mas passível de ser transformado em um.



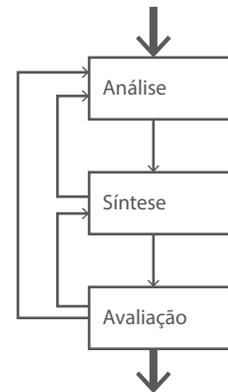
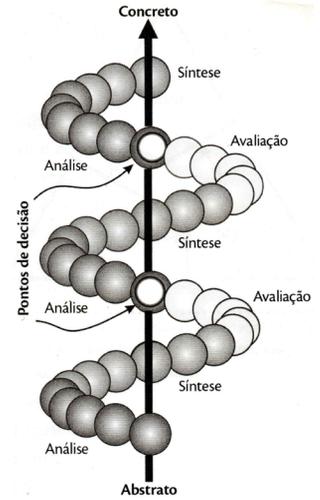
► figura 50: descrição da Villa Malcontenta de Palladio, seguindo a linguagem descrita por Mitchell (2000) [2]

Com o protótipo desse **Sistema** bem definido, a segunda parte do trabalho é a sua aplicação em um estudo de caso: um projeto arquitetônico tradicional que aplica esse **Sistema** nas suas definições. Nessa etapa será empregado o método da prática reflexiva, que consiste em ciclos sucessivos de proposição, análise e síntese, a partir de informações coletadas na etapa anterior, critérios de performance e novos condicionantes que surgem a partir do desenvolvimento do projeto, que se retroalimentam.

A prática reflexiva é trazida pelo pedagogo Donald Schon na década de 80, e aborda a reflexão crítica sobre a prática profissional, tanto durante a ação, quanto após a ação. Através dessa visão crítica sobre as ações, segundo o método de Schon é possível enquadrar as ações de projeto como problemas e, através de ciclos, potencializar as ações positivas e corrigir os erros e ações negativas, e assim ter um amadurecimento da prática de forma mais crítica e objetiva.

Encontra similaridades também com o trabalho de diversos autores como Page (1963), Markus (1971) e Broadbent (1973), que segundo Andrade e Kowaltowski (2011) trabalharam paralelamente em processos de projetos que possuíam características similares. Sinteticamente, esses autores argumentavam que, mais do que uma sequência linear de etapas, a natureza dos processos de projeto é cíclica. A cada ciclo existe uma sequência de análise, síntese e avaliação, finalizada por uma decisão projetual baseada nas três etapas anteriores, onde o projeto vai ficando cada vez mais detalhado e ganhando complexidade. Esse ciclo se repete inúmeras vezes, a depender do projeto.

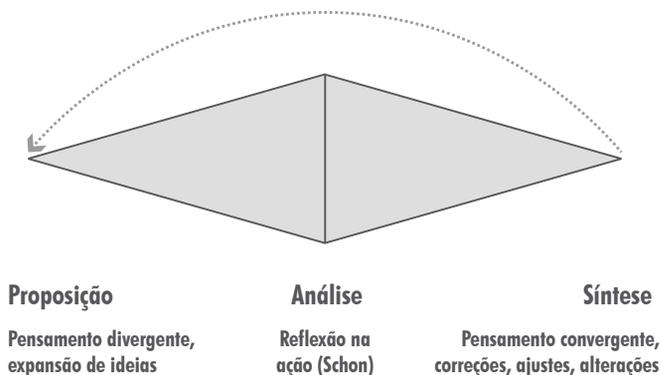
Ademais, Broadbent (1973) apud Andrade e Kowaltowski (2011) ressalta que mesmo esses ciclos não possuem começo, meio e fim definidos, havendo a retroalimentação, feedbacks e return loops constantes, de forma que “informações obtidas em qualquer fase do processo de projeto podem ser incluídas a qualquer momento na sequência de decisões” (ANDRADE; KOWALTOWSKI 2011).



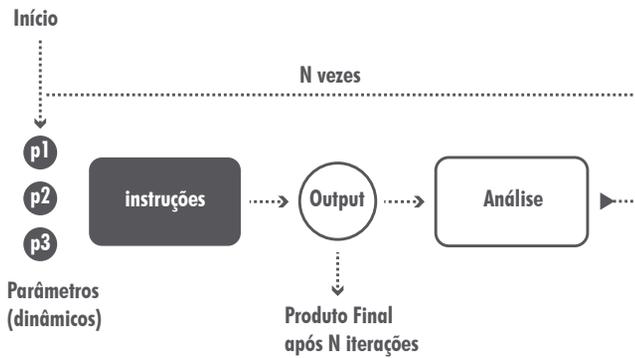
▲ figuras 51, 52 e 53: processos de projeto descritos por Broadbent (1973), e Lawson (2005) apud Andrade e Kowaltowski (2011); [3]

A variação desses processos empregado no trabalho é decorrente do que foi utilizado pelo autor no Laboratório de Modelos e Prototipagem da UFPB (LM+P) nos anos em que foi membro desse mesmo laboratório. Nela, ao invés de ciclos de análise, síntese e avaliação, emprega-se ciclos proposição, análise e síntese, nos quais a própria proposição já é o estágio de tomada de decisão em função da síntese do ciclo anterior. Ao aplicar o **Sistema** definido na etapa anterior e passá-la por ciclos de prática reflexiva, tem-se o registro e o controle de forma mais explícita do processo de projeto, além de permitir a tomada de decisão de maneira mais informada.

► figura 54: esquema da prática Reflexiva proposta por Schon (1987) apud Nome (2014) [23]



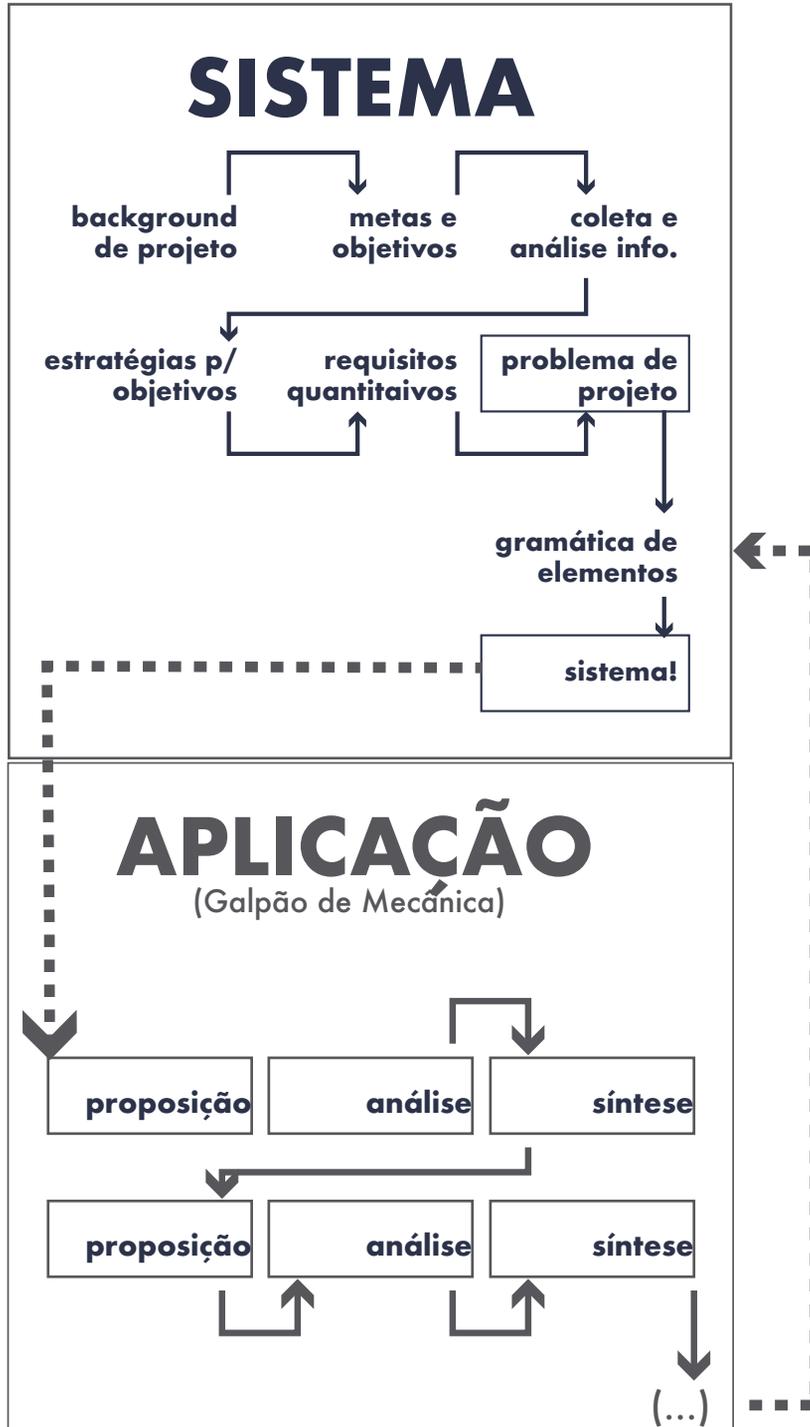
Essa lógica torna-se ainda mais eficiente ao se associar com o design algorítmico e paramétrico. Uma vez que ao criar a lógica das etapas do processo de projeto a partir de algoritmos visuais, mantém-se o registro dos ciclos de proposição, análise e síntese. Sendo assim, não há retrabalho caso seja necessário modificar decisões feitas inicialmente no processo, mesmo estando mais avançado no projeto, pois se o algoritmo estiver montado de forma paramétrica, a mudança em um nó da sequência altera toda a cadeia de forma automática.



◀ figura 55: esquema da lógica paramétrica na construção de múltiplas variações, segundo Tedeschi (2012); [5]

E como dito inicialmente, essas duas etapas – definição do **Sistema** e aplicação do **Sistema** – não acontecem sequencialmente, mas de maneira assíncrona, em que informações extraídas a partir da aplicação do **Sistema** sugerem mudanças no próprio **Sistema** em si e vice-versa. Dessa forma nenhuma das duas etapas é estática e está sempre sendo alimentada, com os feedbacks e return loops que Broadbent (1973) apud Andrade e Kowaltowski (2011) define.

► figura 56: esquema simplificado da metodologia adotada;



5

Abordagem Programática-projetual

e Máquinas 02 Laboratórios

○ SISTEMA

5.1 O SISTEMA

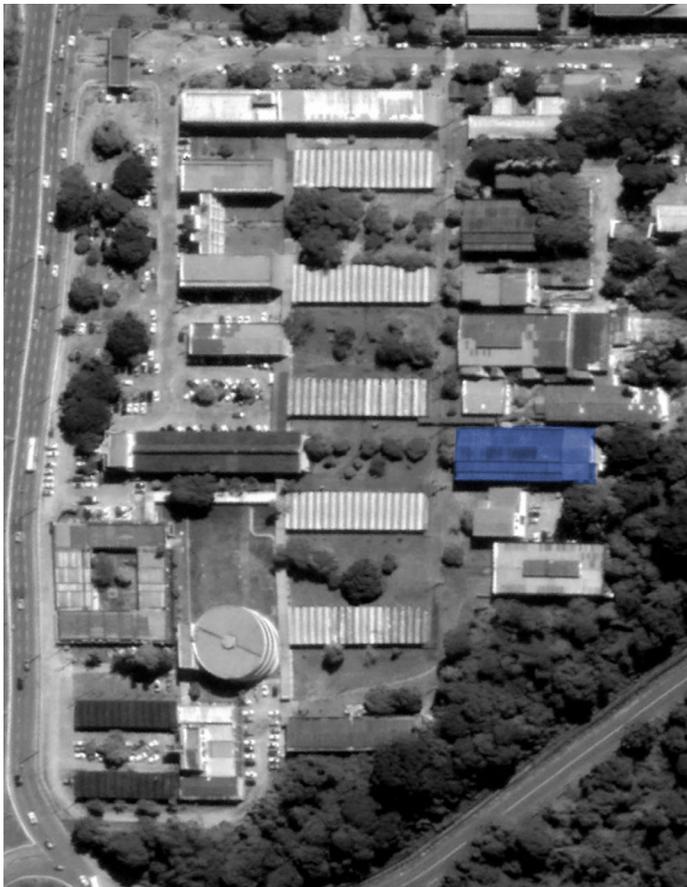
A criação desse **Sistema** tem o intuito de fornecer ao arquiteto ou projetista uma ferramenta de amparo à tomada de decisão durante o processo de projeto. Através da criação de uma gramática de elementos, desenvolvidos orientadas a performance, e também regras de associação desses elementos, o **Sistema**, desenvolvido de forma algorítmica dará ao profissional variações de soluções arquitetônicas com eficiência já aferida. Ainda que em um primeiro momento analógico, devido ao tempo empregado em seu desenvolvimento, o **Sistema** é construído de forma a ser facilmente traduzido para um algoritmo de computador e incorporar os benefícios do poder de computação de sistemas digitais.

O objetivo do trabalho é desenvolver o protótipo de um **Sistema** para a geração de espaços flexíveis e adaptáveis em Instituições de Ensino Superior. No entanto, devido ao tempo disponível para a realização dessa atividade exploratória, foi definido inicialmente um recorte e um estudo de caso no qual esse **Sistema** seria aplicado, de modo a validar o seu uso.

O recorte estabelecido partiu de um problema específico discutido nas primeiras orientações do trabalho que era a iminente reforma do Galpão da Oficina Mecânica do CT. Esse prédio é uma estrutura de 44 por 17 m, localizado no Centro de Tecnologia da UFPB, que abriga diversos projetos, disciplinas, máquinas e equipamentos. As principais atividades de fresagem, usinagem e tornearia da Universidade ocorrem nesse espaço, bem como as etapas de fabricação e montagem de pelo menos três grandes projetos do Centro de Tecnologia: Casa Nordeste, Fórmula e Baja. No local encontram-se pelo menos 18 máquinas de grande porte, que não tem pra onde ir e operar em segurança na situação de uma reforma, devido às demandas específicas por espaço, instalação elétrica, exaustão e outros fatores.

Frente a essa problemática, decidiu-se adotar como estudo de caso um Projeto que abrigaria todas essas atividades que hoje existem no Galpão a partir do desenvolvimento do **Sistema**, feito com base em estudos das demandas desses usos. Adotando um programa extremamente complexo, espera-se provar que é possível a aplicação do mesmo **Sistema** em mais usos encontrados dentro da universidade (Biblioteca, Administração, Salas de Aula, Laboratórios de Informática etc.). No entanto, o enfoque maior será dado no desenvolvimento do projeto para o Galpão, e esses outros cenários serão explorados mais brevemente.

▼ figuras 57 e 58: localização do Galpão; fotos internas;



5.1.1 PROGRAMAÇÃO

A primeira etapa do trabalho foi o desenvolvimento do **Sistema** de geração de espaços, tendo em vista a aplicação do estudo de caso no Galpão de Mecânica. Para isso, foi feito um estudo de programação arquitetônica baseado na situação atual das atividades lá desenvolvidas e o que são aspectos a serem melhorados ou modificados.

Foi utilizado o método de programação arquitetônica de Edith Cherry (1999) e as etapas que ela sugere nessa primeira fase do projeto. Essas fases são: pesquisa do background do projeto; identificação de metas e objetivos; coleta e análise da informação; seleção de estratégias para alcançar as metas e objetivos; estabelecimento de requisitos quantitativos; síntese do problema de projeto. Atendeu-se especialmente às etapas de coleta e análise de informação e estabelecimento de requisitos quantitativos como etapas definidoras, já que, mais do que procurar as peculiaridades de cada projeto, o **Sistema** procura entender quais as lógicas que permeiam todos os projetos, e como propor lógicas de associação coerentes a qualquer um deles.

Na etapa de coleta e análise de informação, optou-se por mapear quais são as dinâmicas presentes no uso atual do galpão, quais funcionam, quais precisam melhorar e também quais não deveriam estar presentes. Com isso, procurou-se a análise do maior número de atividades diferentes possíveis a fim de compor um recorte suficiente para propor o **Sistema** para outros cenários.

Essa etapa foi realizada por meio de duas técnicas de obtenção de dados que Cherry (1999) descreve: a observação e a entrevista. Na etapa de observação, foram feitas visitas ao espaço do galpão, nos dois turnos que ele opera e em dias diferentes. A partir dessas observações, notou-se que o espaço possui uma rotatividade de pessoas muito grande: sempre há pessoas entrando e saindo do local. Além disso, a permeabilidade e integração entre

os ambientes é notada, especialmente nos projetos lá realizados: há uma intensa movimentação entre as áreas de projeto (salas com computadores e mesas) e o espaço de prototipagem (espaço aberto com as máquinas e bancadas de trabalho). Esse espaço aberto é, inclusive, a principal área do edifício e também a mais movimentada ao longo do dia. O pé-direito duplo e a iluminação difusa contribuem para a realização das atividades de uso de máquinas e montagem de protótipos que são realizadas ali. Outro aspecto de destaque levantado é que o galpão possui diversos tipos de atividade no seu interior: administrativa, aula teórica, aula prática, laboratório, espaços de montagem, armazenamento. Isso reforçou a tese de que um projeto de **Sistema** que fosse bem sucedido para o estudo de caso do galpão seria bem sucedido para outros usos dentro da UFPB.

A entrevista foi feita com representantes de dois dos principais públicos que utilizam o galpão: estudantes e funcionários técnico-administrativos; e ajudou a coletar dados mais específicos sobre algumas atividades realizadas no local. A entrevista com o estudante foi feita com Radne, um dos participantes do Projeto Formula. O Fórmula é o único projeto dos três citados no início do capítulo que possui tanto a área de projetos como o espaço de prototipagem no edifício. O Fórmula é um projeto de estudantes que envolve o desenvolvimento do projeto e execução de um carro para participação em competições. A equipe é composta por 41 membros, divididos em grupos que atuam em partes diferentes do projeto. Radne falou que a dinâmica do Formula é basicamente dividida em dois semestres, em um, há o maior enfoque na parte de projeto, então a maior parte das atividades são realizadas na sala de projetos, equipada com computadores. Na outra metade do ano, começa-se a parte de fabricação e montagem do carro. Nessa fase, a maior parte das atividades são práticas e giram ao redor do carro-protótipo, com eventuais ajustes feitos no projeto. Uma das informações

MONTAGEM BAJA
MONTAGEM CASA NORDESTE
MONTAGEM FÓRMULA
PROJETO FÓRMULA
PROJETO CASA NORDESTE
PROJETO BAJA
REUNIÃO CASA
REUNIÃO FORMULA
USO DE MÁQUINAS
TORNOS (x4)
SERRA CIRCULAR
PLAINA
ELTROEROSÃO (x3)
LASER
ROUTER (x2)
SOLDA
FRESADORA (x2)
FURADEIRA DE COLUNA
FIDAORA DE LÂMINA
FIADORA DE FERRAMENTA
RETÍFICA PLANA
ARMAZENAMENTO
FERRAMENTAS
MATERIAIS
EPIS
COORDENAÇÃO LABORATÓRIO
TRABALHO PROFESSOR
TRABALHO TÉCNICOS DO LABO-
RATÓRIO
SERVIÇOS
BANHEIROS
MANUTENÇÃO TÉCNICA
AULAS TEÓRICAS
AULAS PRÁTICAS

importantes extraídas dessa entrevista foi a demanda constante de entrada e saída de veículos pesados para o transporte de equipamentos e dos protótipos. Também atentou-se para a praticidade proporcionada pela presença do espaço de projeto e de prototipagem no mesmo local. A partir dessa observação e também da vivência como membro da Casa Nordeste, projeto que possui a área de prototipagem e projetos em edifícios separados, levou-se à adoção da mesma solução do Fórmula para a Casa Nordeste e Baja.

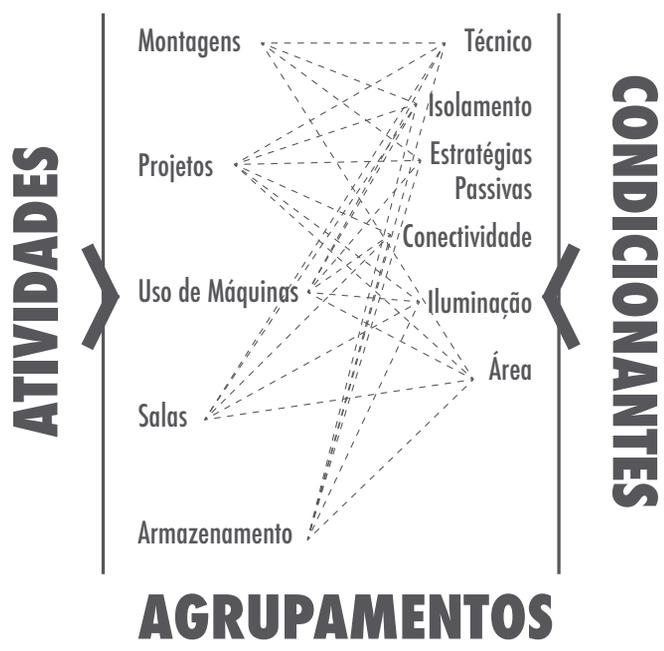
Já o representante dos técnico-administrativos foi Fábio, funcionário do Galpão da Mecânica que auxilia na operação dos Maquinários e também ministra algumas aulas práticas de disciplinas dos cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção Mecânica. Por ser um funcionário que está lá todos os dias, o seu relato permitiu uma visão mais global do funcionamento daquele espaço. O quantitativo de máquinas, suas demandas elétricas, de segurança, exaustão e também seu período de utilização foram coletadas com Fábio (ver apêndice 8.2). A organização interna também foi mapeada nessa entrevista. Qualquer pessoa externa ao galpão pode utilizar as máquinas do espaço, desde que com autorização de algum dos coordenadores, que também possuem sala privativa lá. Os projetos já citados não precisam dessa autorização, já que seu uso é mais recorrente.

5.1.2 REQUISITOS QUANTITATIVOS

Todas essas atividades mapeadas foram cruzadas com uma série de condicionantes e critérios de performance para entender quais variáveis e parâmetros influenciariam no desenvolvimento do **Sistema** (ver figura 60). Esses condicionantes são tanto quantitativos quanto qualitativos e variam desde níveis de iluminação desejada, tipo de iluminação desejada, número de usuários simultâneos realizando aquelas atividades, área demandada etc.

Esse primeiro momento foi extremamente importante, pois, ao mapear um grande número de variáveis, pode-se tanto perceber atividades que possuíam demandas extremamente parecidas, como também grupos de critérios que eram dependentes entre si. Ao fazer agrupamentos tanto de atividades, quanto de critérios de performance, foi possível reduzir o recorte, de 31 atividades, cada qual com 22 condicionantes diferentes, para 5 grupos de atividades com 6 grupos de condicionantes (ver figura 61).

- POPULAÇÃO
- HORAS POR DIA
- ÁREA MÍNIMA DEMANDADA
- QNTD LUZ NATURAL
- VENTILAÇÃO NATURAL
- ISOLAMENTO ACÚSTICO
- ISOLAMENTO TÉRMICO
- CONDICIONAMENTO
- TIPO DE ILUMINAÇÃO PREFERÍVEL
- QNTD LUZ ARTIFICIAL
- EQUIPAMENTOS PESADOS
- EXAUSTÃO
- COMPRESSÃO
- DEMANDA ELÉTRICA
- CONECTIVIDADE VISUAL
- PRIVACIDADE
- INSTALAÇÃO HIDRÁULICA
- NÍVEL ARMAZENAMENTO
- ACESSO
- REFORÇO ESTRUTURAL
- TIPO DE RESÍDUO
- QTD DE RESÍDUO



▲ figura 60: lista de condicionantes propostos

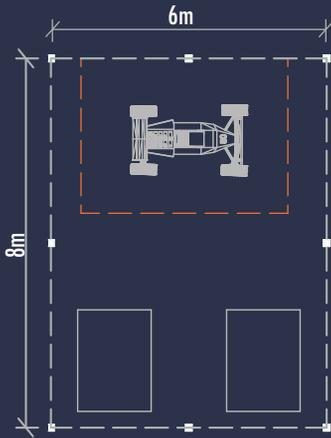
◀ figura 61: agrupamento das atividades e condicionantes e seu cruzamento

5.1.3 GRAMÁTICA

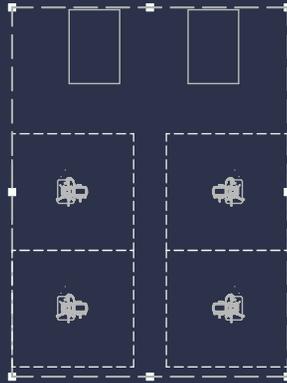
Com o entendimento das variações nas demandas de performance por tipo de atividade, iniciou-se a tradução para uma gramática de elementos que respondem eficientemente a cada variável. Essa gramática inspira-se no que Bill Mitchell (1990) escreve sobre lógica da arquitetura. São definidos elementos arquitetônicos (ou vocabulário) como soluções de estrutura, cobertura, vedações, esquadrias etc. E também regras para sua aplicação (ex.: em fechadas orientadas para o leste, a esquadria contará com proteção solar de projeção = 50cm). A explicitação dessas regras e elementos deixam claro as condições em que elas devem ser usadas e também garantem que a solução foi previamente validada a partir de estudos. No trabalho proposto, só existe um conjunto de soluções para cada cenário, no entanto, espera-se com o desenvolvimento ampliar essas opções, de forma que um cenário possibilitaria múltiplas opções, mais ou menos eficientes, e caberia ao arquiteto decidir qual mais se encaixa em sua proposta.

A primeira etapa realizada foi a adoção de um módulo funcional que abrigasse as atividades mapeadas (com a consideração de atividades futuras que poderiam ser incorporadas). Foram propostas certas variações de layouts para cada atividade e a partir de dimensões comuns ou similares, chegou-se ao denominador comum de 8 x 6m, que abriga todas as atividades, algumas com mais de um módulo, outras com $\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{4}$ de módulo. Propostas de layouts nas duas direções e com simetria bilateral também foram tentados, para que quando o arranjo e orientação no projeto fossem definidos, não houvessem conflitos (ver figura 62).

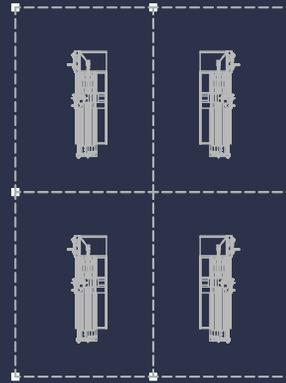
MÓDULOS FUNCIONAIS



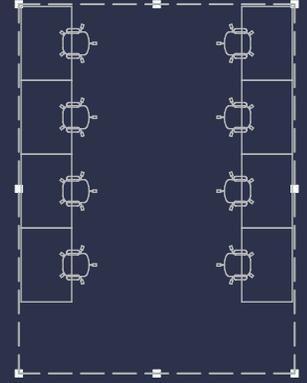
Montagem



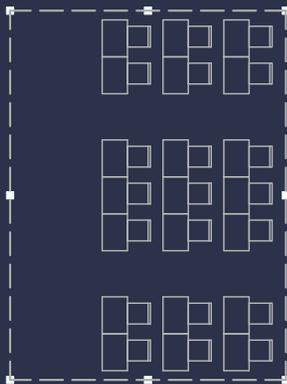
Uso de Máquinas 01



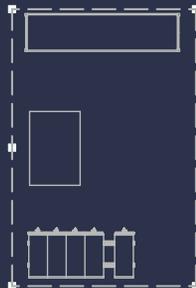
Uso de Máquinas 02



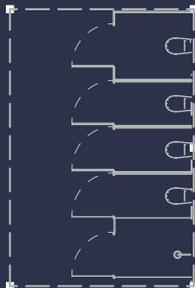
Laboratórios



Sala de Aula



Armazenamento



BWC



Sala Individual



Com a projeção dos módulos definida, foram definidas outras características que garantiriam flexibilidade ao **Sistema**. A planta livre por exemplo, permite que arranjos diferentes de layout sejam feitos em um mesmo espaço, sem obstáculos. Estrutura e Vedação independentes permitem que o tipo e a geometria daquela vedação seja trocada com facilidade no caso de mudança de uso ou adaptação a uma nova condicionante. Ao elevar o piso em relação ao nível do solo, as tubulações elétricas e hidráulicas podem ser suspensas abaixo do piso e flexibilizadas e ajustadas com facilidades. O quadro abaixo contém um resumo de algumas dessas definições prévias que dão ao **Sistema** e à gramática de elementos, a flexibilidade e adaptabilidade desejadas.

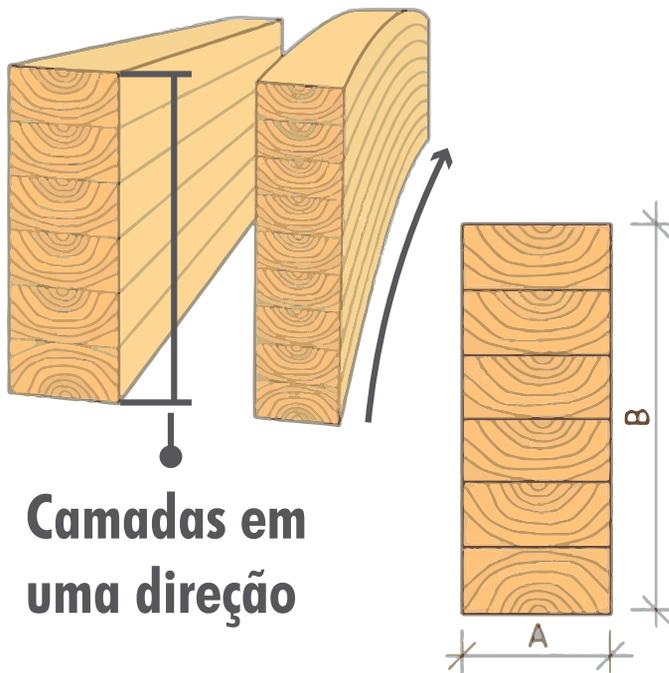
SOLUÇÃO FLEXÍVEL	CARACTERÍSTICAS
Estrutura e Vedação independentes	A independência entre a estrutura (Glulam) e Vedação (CLT) permite adaptações nos arranjos internos dos ambientes, com a retirada, acréscimo ou substituição da vedação ou divisória.
Planta Livre	A planta livre garante o livre arranjo do layout, sem obstáculos, possibilitando a ocupação ideal do espaço.
Modulação dos ambientes	A pre-programação dos módulos funcionais categoriza todas as atividades mapeadas em múltiplos de um módulo conhecido (8x6m). Dessa forma, as expansões e adaptações se baseiam nesse módulo e podem se encaixar na estrutura existente
Sistema Construtivo Flexível	A adoção de um Sistema Construtivo que permita a sua montagem e desmontagem, aliado com a modulação, permite que o sistema seja dinâmico ao longo do tempo, sendo moldado à partir da demanda existente
Módulo técnico/operacional	A concentração dos sistemas em um único módulo permite a fácil manutenção predial, diminui riscos com vazamentos, choques e outros perigos, além de ser um centro de distribuição para a tubulação e fiação que alimenta os demais módulos. Nesse cenário, a adição ou substituição de ambientes demanda apenas a conexão dos sistemas com esse módulo operacional
Modulação dos painéis de vedação	Essa modulação permite que painéis sejam removidos, adicionados, ou substituídos pontualmente, sem a necessidade de trocar toda a vedação. Especialmente útil para janelas e esquadrias intercambiáveis em cenários de reformas ou acréscimos de ambientes
Piso elevado do solo	O piso elevado em relação ao nível do solo permite toda a fiação e tubulação passar por baixo do piso e ser acessado por ele, diminuindo assim a demanda por tubulação por dentro das paredes e contribuindo para a livre arranjo do layout, já que os equipamentos não necessariamente precisam ficar adjacentes a paredes com pontos de tomada por exemplo
Elementos sombreadores independentes das esquadrias	Essa solução permite que a realocação de uma esquadria para outra orientação possa ser feita, já que os elementos sombreadores são independentes e podem ser alocados para onde são necessários

Uma definição crucial para o bom funcionamento do **Sistema** e seu enquadramento dentro das discussões da Indústria 4.0 foi o seu sistema construtivo, pois de nada adiantaria um sistema que incorporasse soluções de eficiência, racionalização e flexibilidade se sua construção não seguisse os mesmos princípios. Como a intenção é que os espaços gerados pelo **Sistema** sejam flexíveis e adaptáveis, espera-se que aqueles espaços mudem de configuração e possam até mudar de lugar ao longo do tempo, sendo desmontados e remontados em outros lugares. Logo, alguns sistemas tradicionais foram descartados. Como a Indústria 4.0 é uma resposta às conjunturas sócio-político-econômicas atuais, a sustentabilidade foi um fator decisivo na escolha de um sistema construtivo de madeira.

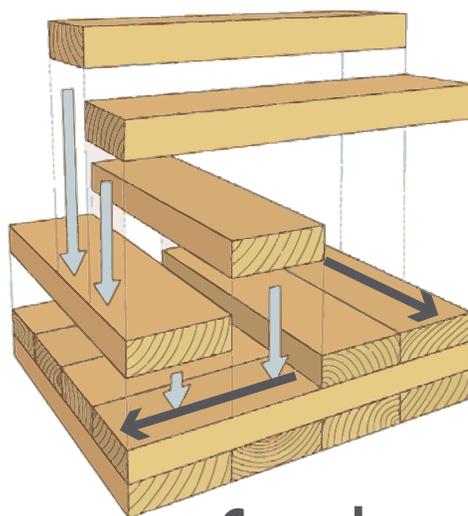
O tipo específico escolhido foi a madeira engenheirada, que são aquelas que passam que passam por algum tipo de processamento industrial em fábricas. Para a Estrutura, optou-se por Madeira Laminada Colada (MLC) ou Glulam. As peças de Glulam são feitas a partir da junção de múltiplas camadas (ou lamelas) de madeira – geralmente espécies de madeira macia – que são coladas e tratadas para formar uma peça única (ver figura 60). Muito utilizadas para vigas e pilares, esse tipo de madeira tem a vantagem de vencer grandes vãos e alturas em relação a seu peso.

Já para as vedações e lajes, a Madeira Laminada Cruzada (CLT) foi escolhida. O seu processo de fabricação é similar ao da Glulam, porém, as camadas são dispostas perpendicularmente umas as outras (ver figura 61), de modo que os painéis de CLT são resistentes a esforços nas duas direções, característica ideal para lajes.

▼ figuras 63 e 64: esquema de fabricação de elementos de Glulam e CLT, adaptado [33]



**Camadas em
uma direção**



**Camadas em
direções alternadas**

**TELHA
POLIISOCIANURATO (PIR)**

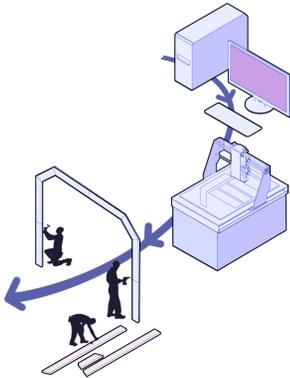
VIGAS GLULAM

VEDAÇÃO CLT

PILARES GLULAM

LAJE CLT

▲ figura 65: envelope e sistema
construtivo proposto



▲ figura 66: esquema do processo file-to-factory; [59]

Além da performance estrutural, e impacto positivo no meio ambiente, os dois tipos de madeira também foram escolhidos pela lógica de produção empregada, que é através da fabricação digital. O Desenho e especificações das peças são feitas no computador e enviadas para as fábricas (processos file-to-factory), onde grandes máquinas CNC cortam as peças nos formatos desejados, sem o aumento de tempo ou custo em comparação a processos de produção em massa.

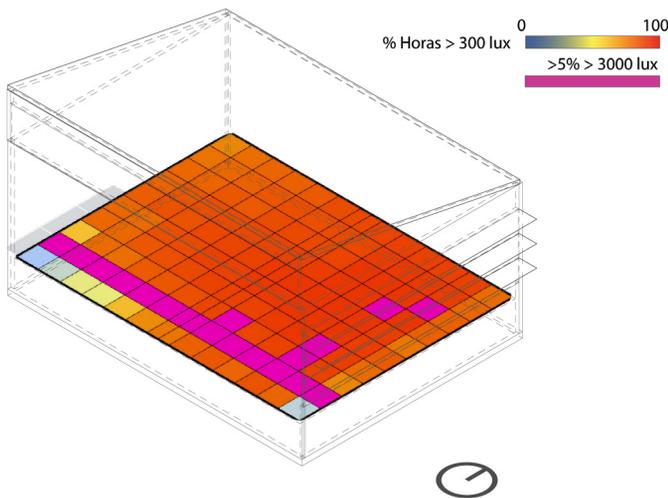
Ao realizar os agrupamentos de condicionantes descritos acima, foi possível perceber a natureza distinta de cada um deles. Os condicionantes chamados internos, são aqueles que são especificamente dependentes da atividade realizada, ou seja, unidimensionais. Definições como: área, layout, estrutura são alguns desses exemplos, onde o tipo de atividade irá demandar um tipo de solução. Os condicionantes relacionáveis, são as que dependerão da adjacência daquele espaço. Uma solução de conectividade visual ou isolamento acústico dependerá não só do espaço em si, mas também dos espaços que fazem fronteira com ele. Já os condicionantes externos são os que dependem da relação com o ambiente ao redor. Aberturas e proteção contra radiação por exemplo dependerão da orientação que aquela fachada está orientada.

Por fim, para concretizar o **Sistema**, foi proposta uma gramática com vocabulário de elementos e regras pra sua associação, que são as variações para cada situação possível. Inicialmente o número de soluções é restrito ao recorte, mas a intenção é que a variação aumente a medida que ciclos de avaliação forem realizados, e chegue-se a soluções mais otimizadas, na lógica do feedback loop.

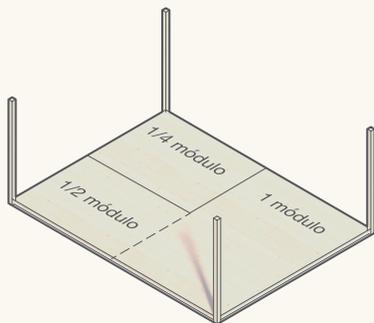
O vocabulário de elementos são reflexos diretos e indiretos dos condicionantes de:

- Estrutura: Variação de Seções de Vigas Pilares e Laje
- Isolamento Acústico: Espessura da Vedação e Tipo de Vidro (simples, duplo)
- Isolamento térmico, Tipo e Quantidade de Luz Natural e Condicionamento: Espessura da Vedação, Tipo de Vidro (simples, duplo, low-E), Geometria da Abertura, Coberta e Elementos Sombreadores
- Conectividade e Privacidade: Geometria da Abertura e Opacidade de elementos
- Acesso: Geometria da Abertura
- Área e População: Layout

O vocabulário parte de validações prévias, tanto encontradas na literatura, quanto as testadas algorítmicamente. Isso garante que, na etapa projetual, seja gasto menos tempo na adequação dessas definições e testes de performance, e mais tempo em soluções criativas, como as definições espaciais.

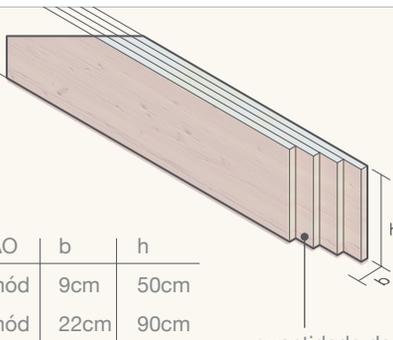


◀ figura 67: exemplo de simulações realizadas para definição de elementos sombreadores



condicionantes: área demandada

MÓDULOS FUNCIONAIS



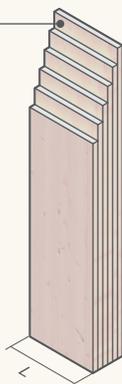
VÃO	b	h
1mód	9cm	50cm
2mód	22cm	90cm
1/2mód	9cm	28cm

condicionantes: vão máximo do módulo, carga telhado

VIGA (GLULAM)

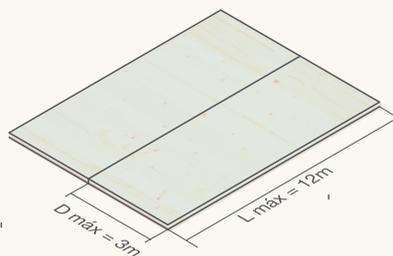
quantidade de Lâminas

ALTURA PILAR	L
3-5m	14cm
>5m	17cm



condicionantes: área demandada

PILAR (GLULAM)

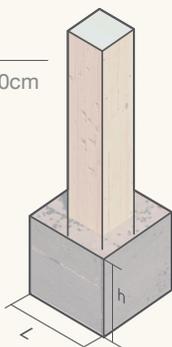


e = 87mm - 315mm

condicionantes: vão máximo do módulo, carga piso, dimensões máximas CLT

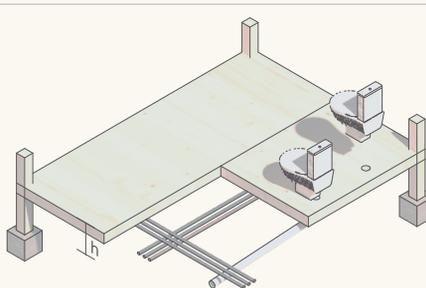
LAJES (CLT)

PAVIMENTOS	L	h
1 pavimento	30cm	30cm



condicionantes: carga pilar, tipo de solo

FUNDAÇÃO



h = 30-50cm

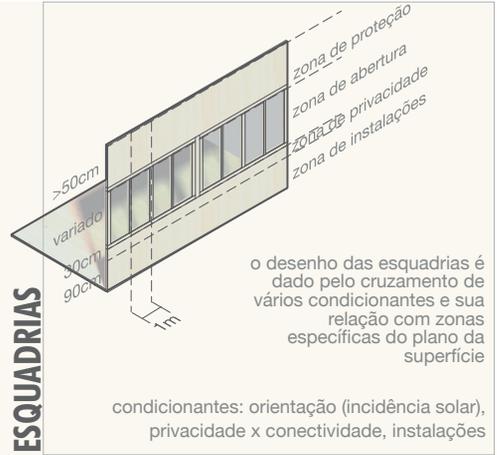
condicionantes: comprimento tubulação, inclinação tubulação, acessibilidade

PISO ELEVADO

PAINÉIS VEDAÇÃO (CLT)



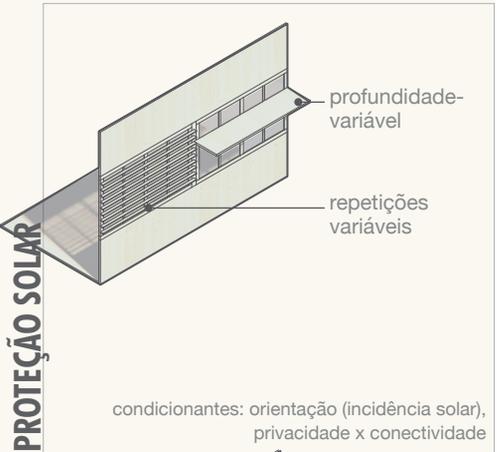
ESQUADRIAS



OPACIDADE



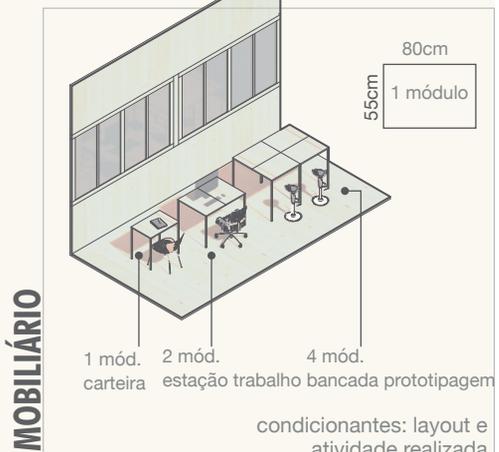
PROTEÇÃO SOLAR



COBERTA



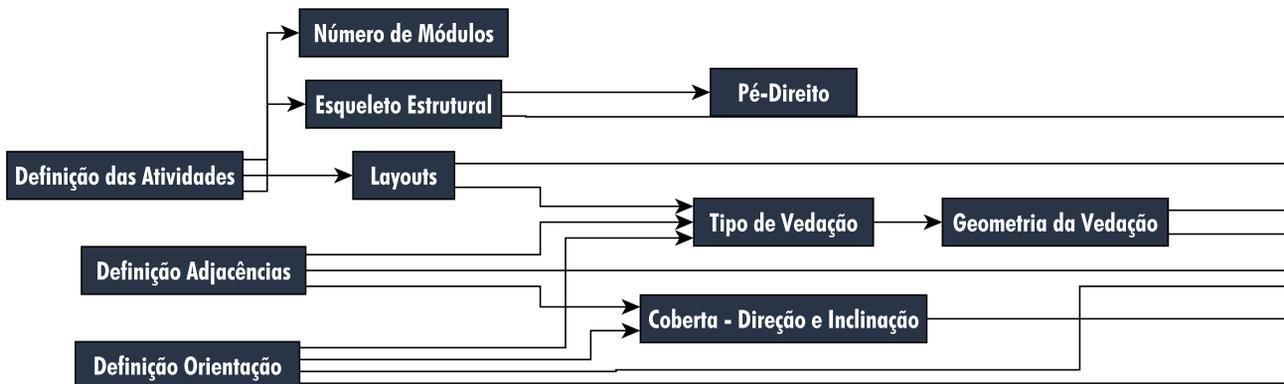
MOBILIÁRIO



Afim de Validar o **Sistema**, foi feita uma simulação de sua aplicação. O passo a passo a seguir é o resultado do teste.

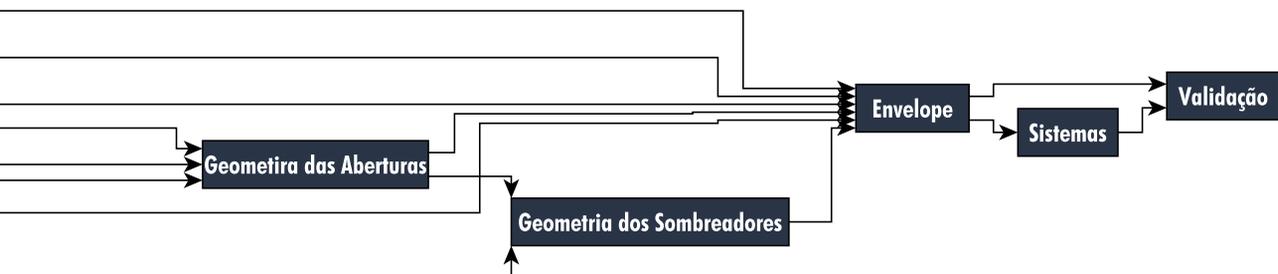
- 1. Definição da Atividade
- 2. Número de Módulos pra abrigar a atividade (Área e Dimensões)
- 3. Layout
- 4. Esqueleto Estrutural (Laje, Vigas, Pilares e fundação)
- 5. Definição dos Espaços Adjacentes
- 6. Definição da Orientação do Módulo
- 7. Tipo de Coberta e Inclinação
- 8. Pé-Direito do Módulo
- 9. Tipo de Vedação
- 10. Geometria da Vedação
- 11. Geometria das Aberturas
- 12. Geometria dos elementos sombreadores
- 13. Sistemas Elétrico, Hidráulico e de Exaustão
- 14. Validação dos Critérios

▼ figura 68: diagrama de nós do passo a passo da aplicação do sistema



O diagrama de nós permite visualizar essa sequência de passos, e principalmente como eles se relacionam de forma algorítmica. A mudança no parâmetro de atividade alterará toda a cadeia que segue, assim como a mudança na implantação, ou até mesmo nos ambientes que aquele espaço se relaciona. Mesmo não estando nesse momento em um estágio paramétrico – ou seja, essas alterações não são feitas de forma responsiva, automaticamente – a definição clara das regras agiliza a geração de variáveis de espaços. Além disso, a transformação dessas regras em um algoritmo digital é bem mais fácil com essa estrutura.

Atualmente o número de variações é limitado ao tamanho do vocabulário proposto, que nesse trabalho foi intencionalmente recortado, como já posto. No entanto, em um cenário onde pra cada condicionante existam diversas possibilidades, mais ou menos eficientes para aquele contexto, a combinação de elementos é imensa, cabendo ao arquiteto ou projetista se apropriar dessas soluções já propostas pela ferramenta e também enxergar oportunidades que extrapolem esse conjunto. Isso é interessante na medida que definições mais quantitativas e objetivas já estão previamente testadas e validadas, reduzindo o tempo empregado pelo arquiteto na busca de soluções eficientes baseado na tentativa e erro ou na sua experiência prévia. Conseqüentemente, questões subjetivas, humanas, relacionais, que não podem ser descritas por algoritmos, ganham mais tempo de dedicação.



O PROJETO

ACESSO GATEWAY

±0.00

±0.00

er CNG

5.2 O PROJETO

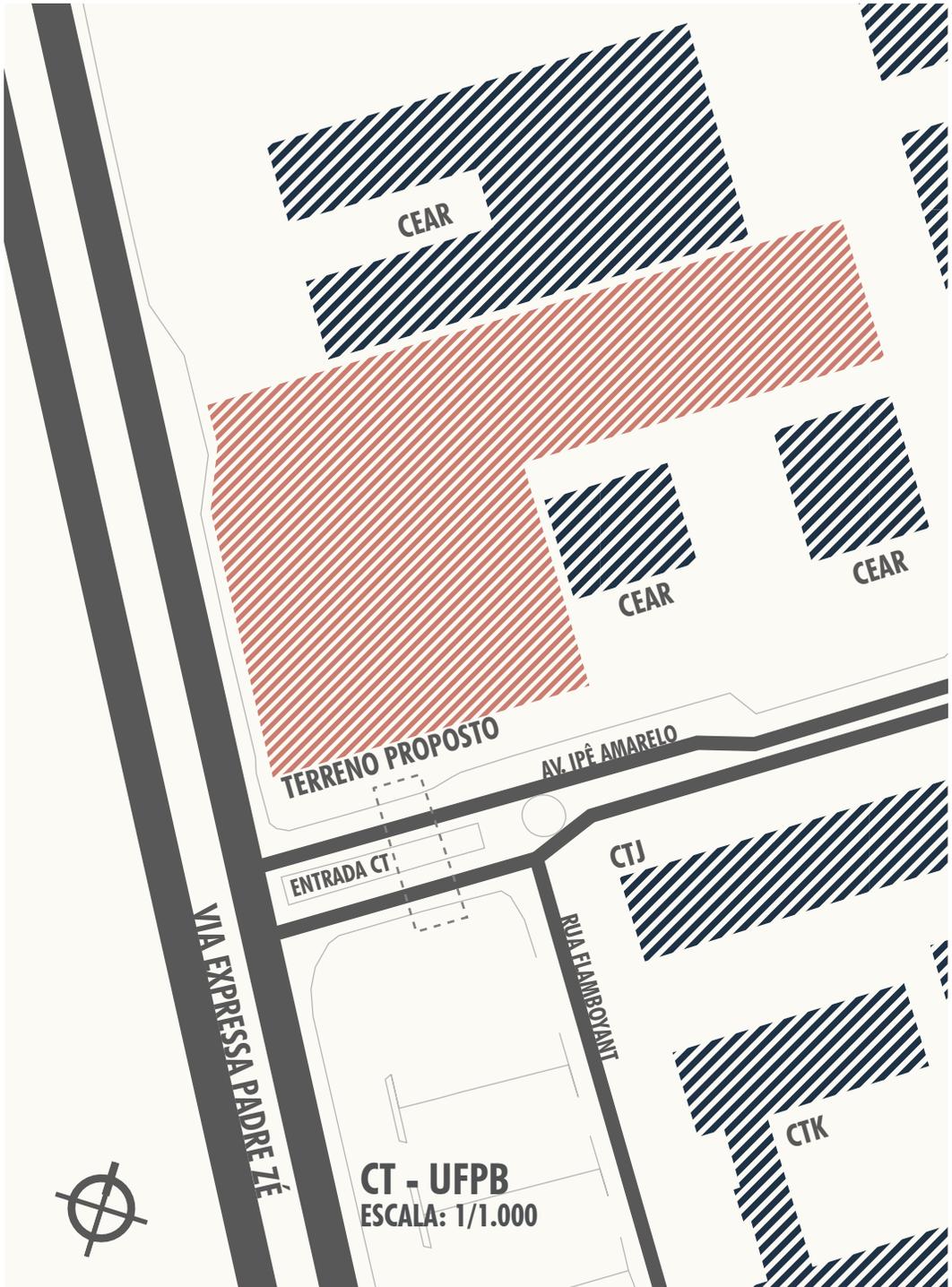
5.2.1 TERRENO PROPOSTO

Entendendo as demandas espaciais do projeto, e também qual seu impacto no entorno, foi decidido o terreno em que o estudo de caso seria aplicado.

Uma das demandas era que o local fosse no Centro de Tecnologia da UFPB, já que a maioria das atividades são voltadas para cursos desse centro. Como o nível de ruído gerado por essas atividades é alto, limitou-se a busca em áreas um pouco mais afastadas dos outros blocos de aula. Por último, priorizou-se a busca em locais de fácil acesso à veículos pesados. O único local que atende a todas essas demandas, sem a retirada de edifícios já existentes é o espaço ao lado do Centro de Engenharia de Energias Renováveis.

O espaço, atualmente vazio, conta com interface direta para a Via Expressa que ladeia a Universidade, podendo contar com um ponto de acesso direto, sem comprometimento do tráfego interno da UFPB; Possui área suficiente para abrigar não só o programa atual do galpão, mas também possíveis expansões; é relativamente afastado de blocos de Sala de Aula, sendo o mais próximo em atividade, o CTJ.

► ► *figura 69: terreno de estudo*

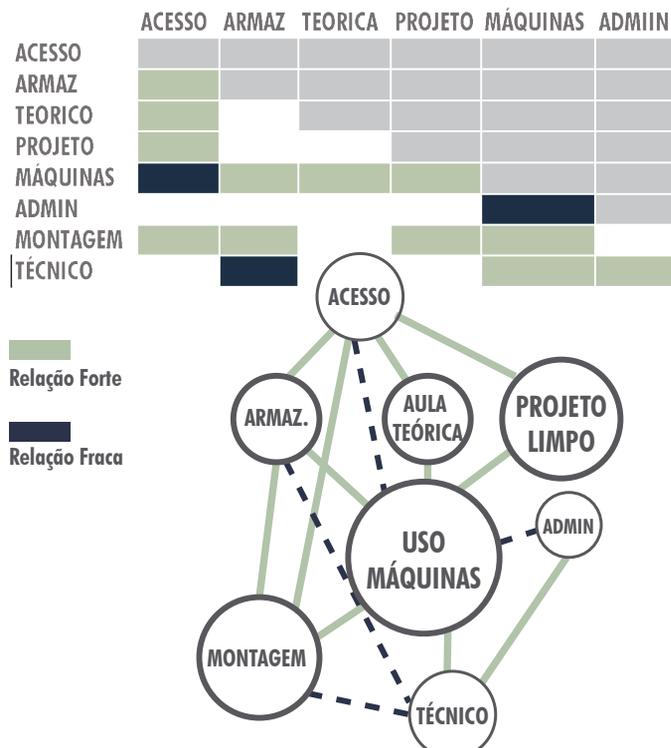


5.2.2 APLICAÇÃO ESTUDO DE CASO

Primeiramente foi estudado o zoneamento do projeto proposto, para então aplicar o **Sistema** com base na organização espacial dessas atividades. O mapeamento das atividades utilizadas na etapa de programação e desenvolvimento do **Sistema** serviram de base para o organograma do projeto proposto. Percebeu-se que as atividades se agrupavam em: uso de máquinas; espaço de montagem; espaço para laboratórios; sala de aula; administração; e armazenamento.

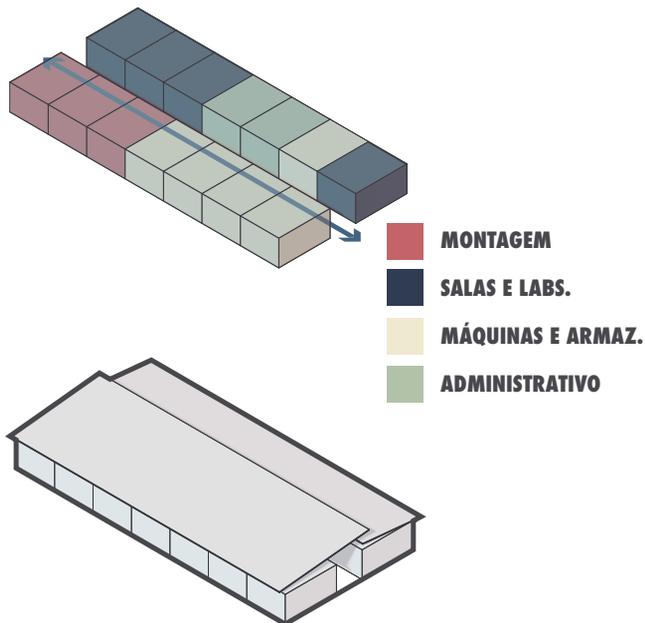
Ao fazer uma matriz de relação com a relação de proximidade desejada entre esses grupos de atividades, ficou claro que áreas como o uso de máquinas e os espaços de montagem eram partes centrais na organização do espaço no Galpão, enquanto áreas como a administração eram mais periféricas (ver figura 70).

► figura 70: matriz de relação e organograma



Esse organograma foi o ponto de partida para as propostas de dois partidos preliminares. O primeiro partido consiste na setorização dos usos entre as atividades práticas/operacionais e aquelas mais teóricas. Como visto no capítulo anterior, cada atividade compõe um certo número de módulos funcionais. Esses módulos foram agrupados em dois eixos principais paralelos, em um único espaço principal. Entre esses dois eixos de módulos, há um espaço para circulação, que compreende meio módulo funcional, com 4m de largura. Essa dimensão é suficiente para a passagem de um caminhão baú do tipo toco, que é um tipo de veículo de bastante uso em algumas atividades, para carga e descarga de materiais, equipamentos, protótipos etc. A forma que o galpão toma nesse partido é a que já é presente atualmente: um espaço único, alongado, com pé-direito duplo (ver figura 71).

PARTIDO 1

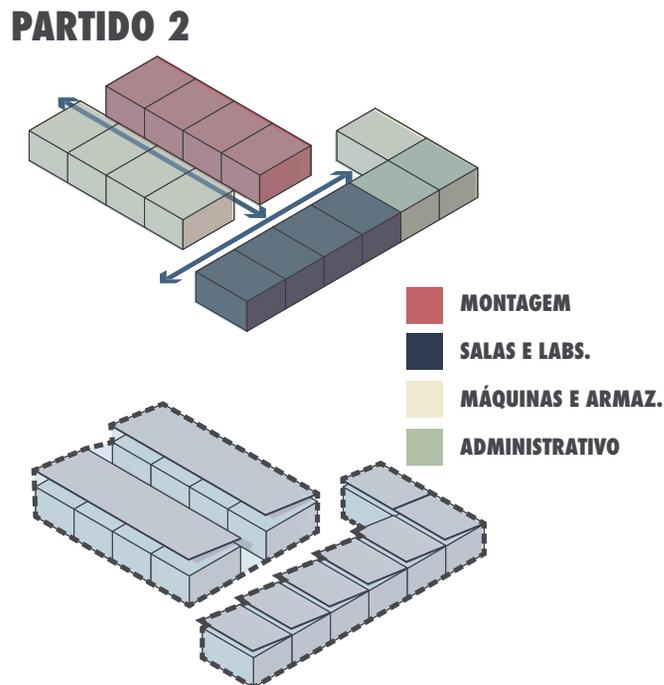


◀ figura 71: diagrama do Partido 1

Já o segundo partido setoriza mais as atividades em dois blocos principais, seguindo a mesma divisão do primeiro partido: um para atividades operacionais e o segundo para atividades mais administrativas e teóricas. No entanto, esses dois blocos foram organizados em eixos perpendiculares, seguindo uma organização comum em espaços fabris, em que existe um grande eixo administrativo, do qual partem quantas linhas de produção perpendiculares forem necessárias (ver figura 72).

No bloco onde acontecem as atividades operativas, também houve a segmentação em eixos paralelos, um para o uso de máquinas e outro para atividades de montagem, além de um eixo central de circulação. Essa divisão ocorreu com o intuito de refletir a lógica de produção existente no espaço. Desde a chegada do material bruto, seu processamento nas máquinas, montagem e prototipagem, e finalmente o carregamento para transporte.

► figura 72: diagrama do Partido 2



Para decidir qual partido utilizar para aplicação do estudo de caso, foi feito uma análise SWOT dos dois partidos:

1o Partido

S	W	O	T
Racionalização da circulação	Prédio Muito Longo	Possibilidade de expansão simplificado	Tubulação extensa e consequentemente alta
Acesso de Veículos Pesados	Baixa sobreposição de atividades	Geração de Energia Fotovoltaica	Orientação indesejada pode prejudicar níveis de conforto
Relação entre atividades operacionais x teóricas	Acessos não independentes		Necessidade de Aberturas dos dois lados
Edificação longa e estreita permite ventilação e iluminação natural	Monotonia Formal		Volume de condicionamento muito elevado
	Baixa adaptabilidade a terrenos difíceis		

2o Partido

S	W	O	T
Setorização mais clara	Expansão em dois eixos	Áreas verdes e de convivência nos espaços vazios	Desalinhamento das fachadas
Formalmente interessante	ligação de sistemas entre blocos mais complexa		Circulação de veículos pesados
Empaçamentos e espaços vazios	Aproveitamento menos eficiente da área		
Adaptabilidade a terrenos difíceis			

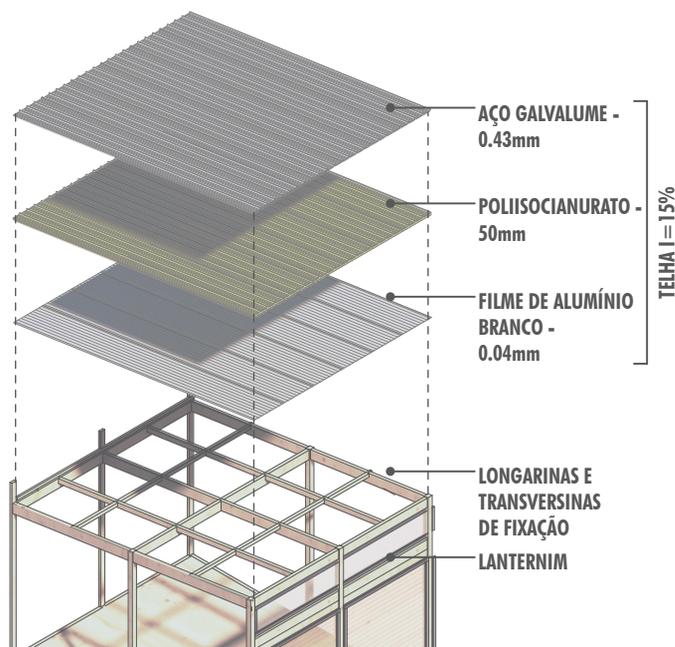
Com base nessa análise, optou-se pelo partido 2 para continuar o desenvolvimento da aplicação do estudo de caso.

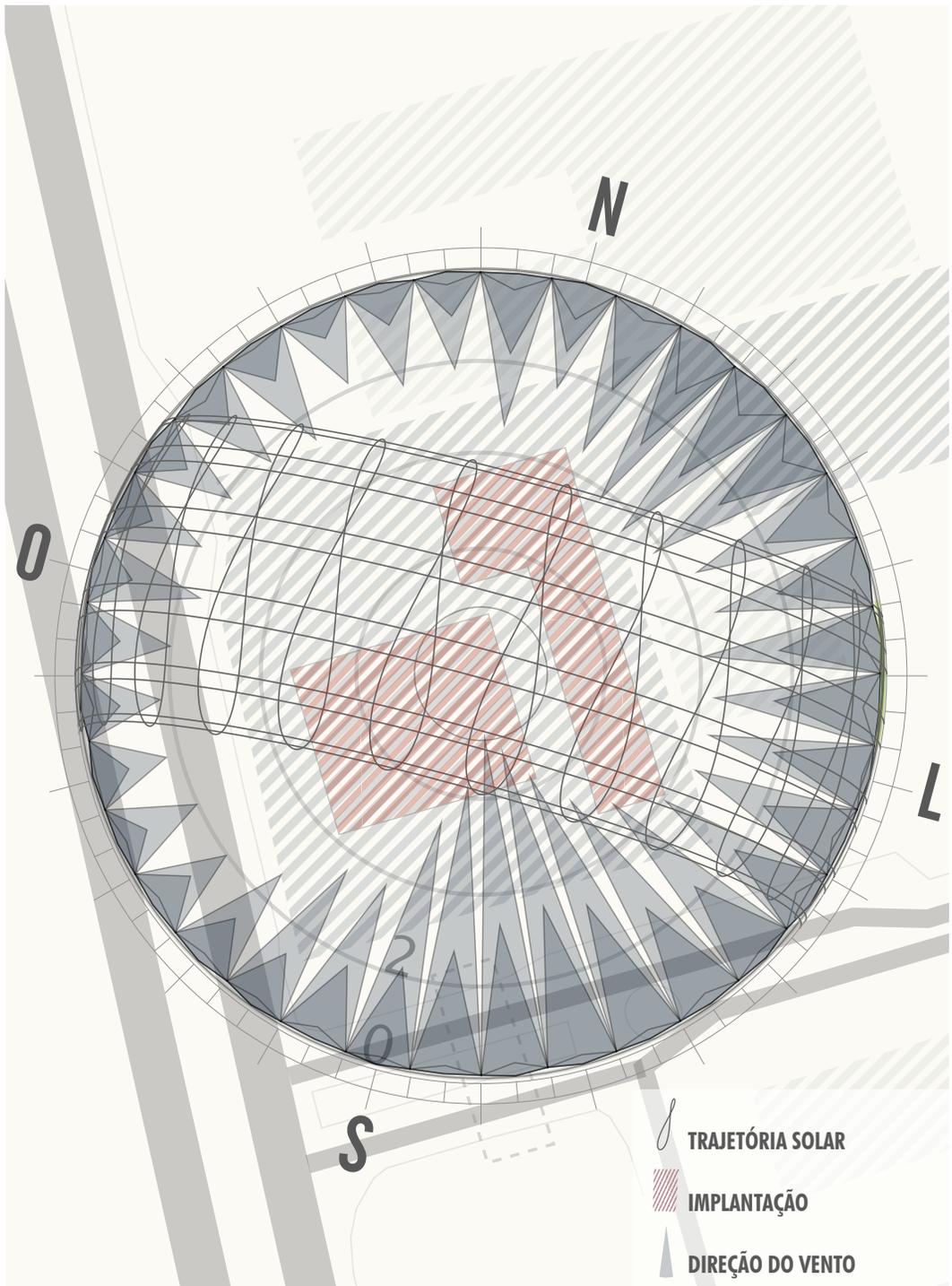
O terreno escolhido favoreceu sua orientação no eixo norte-sul, o que garante tanto a minimização do ganho térmico das fachadas leste e oeste e também a orientação dos sheds para a fachada sul, para a entrada de iluminação difusa.

A solução de sheds inclusive foi uma das propostas para a gramática de elementos. A partir de simulações tanto de ganho térmico quanto de níveis de iluminação adequados nos ambientes internos, concluiu-se que a melhor combinação era aquela que utilizava o complemento de iluminação zenital difusa através de sheds orientados para o sul. Por isso, todos os ambientes contam com esse dispositivo de iluminação natural. Eles estão sempre associados a cobertura de telha de poliisocianurato, com inclinação de 15% e também vencem o vão de menor dimensão.

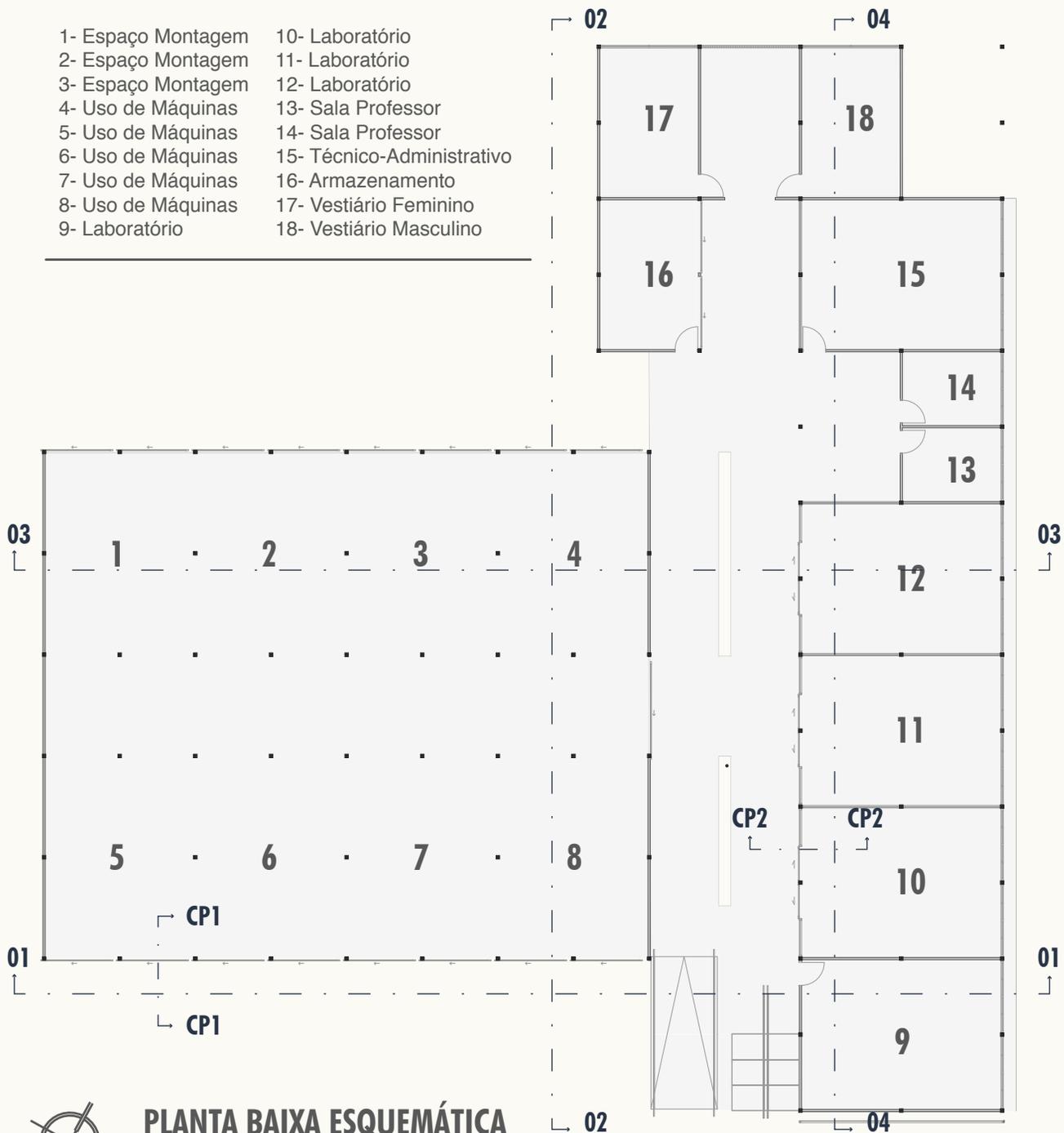
► figura 73: telha de poliisocianurato

►► figura 74: ventilação e trajetória solar para o terreno proposto





- | | |
|--------------------|----------------------------|
| 1- Espaço Montagem | 10- Laboratório |
| 2- Espaço Montagem | 11- Laboratório |
| 3- Espaço Montagem | 12- Laboratório |
| 4- Uso de Máquinas | 13- Sala Professor |
| 5- Uso de Máquinas | 14- Sala Professor |
| 6- Uso de Máquinas | 15- Técnico-Administrativo |
| 7- Uso de Máquinas | 16- Armazenamento |
| 8- Uso de Máquinas | 17- Vestiário Feminino |
| 9- Laboratório | 18- Vestiário Masculino |



PLANTA BAIXA ESQUEMÁTICA
1:250

A transformação do partido em um estudo preliminar avançado foi feita justamente através da aplicação do **Sistema** desenvolvido na etapa anterior. Essa etapa foi fundamental para validar o amparo a tomada de decisão e também a agilidade que traz ao processo de projeto, na lógica da Indústria 4.0.

O partido foi desenvolvido a partir dos módulos funcionais extraídos do **Sistema**. Cada um abriga uma atividade ou grupo de atividades mapeados na obtenção de dados do projeto. Por sua vez, o organograma das atividades levou ao arranjo espacial base do projeto (onde cada atividade se localiza, de que outra atividade está próximo etc.).

Como o **Sistema** também já previa todas as regras para aplicação do envelope de vedações, esquadrias, etc., só foi necessário analisar quais as demandas das atividades, como elas se relacionam com as atividades adjacente, e também qual a orientação delas.

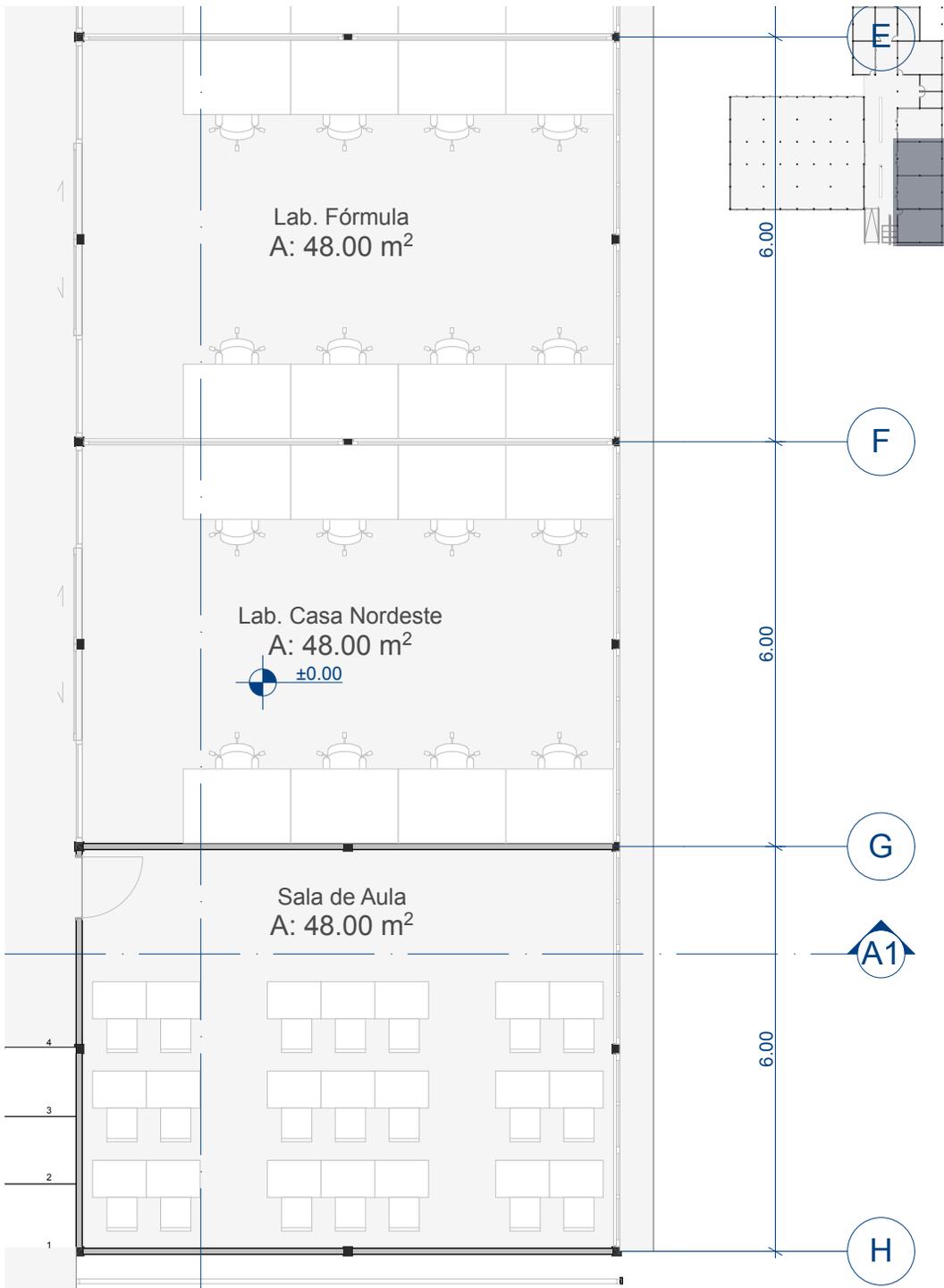
Como exemplo podemos pegar o Laboratório destinado à CASA NORDESTE (ambiente 10). O tipo de atividade lá exercida é laboratorial, principalmente com o uso de mesa com computadores. Logo, o layout da gramática de elementos é o layout Z. Esse layout consiste em um grupo de X mesas, para o dimensionamento de X pessoas utilizando simultaneamente o espaço. Essa atividade demanda apenas um módulo funcional (8x6m) que é atendido estruturalmente pelas seções de viga e pilar base (28x9cm e 14x14cm).

Já os condicionantes de privacidade e conexão visual mapeados direcionam a um envelope mais aberto e conectado com o exterior. Com essa diretriz base, é analisado as situações de cada fachada. A fachada oeste por exemplo, é a de acesso ao ambiente, no entanto está orientada para oeste. Por isso, os elementos sugeridos pela gramática são aqueles que equilibrem acesso visual com proteção solar, associado a vidros de alta performance térmica. As simulações de máscara de sombra dessa fachada (favorecida pelo auto-sombreamento do bloco vizinho) indicaram as dimensões e posicionamento exato desses elementos de proteção.



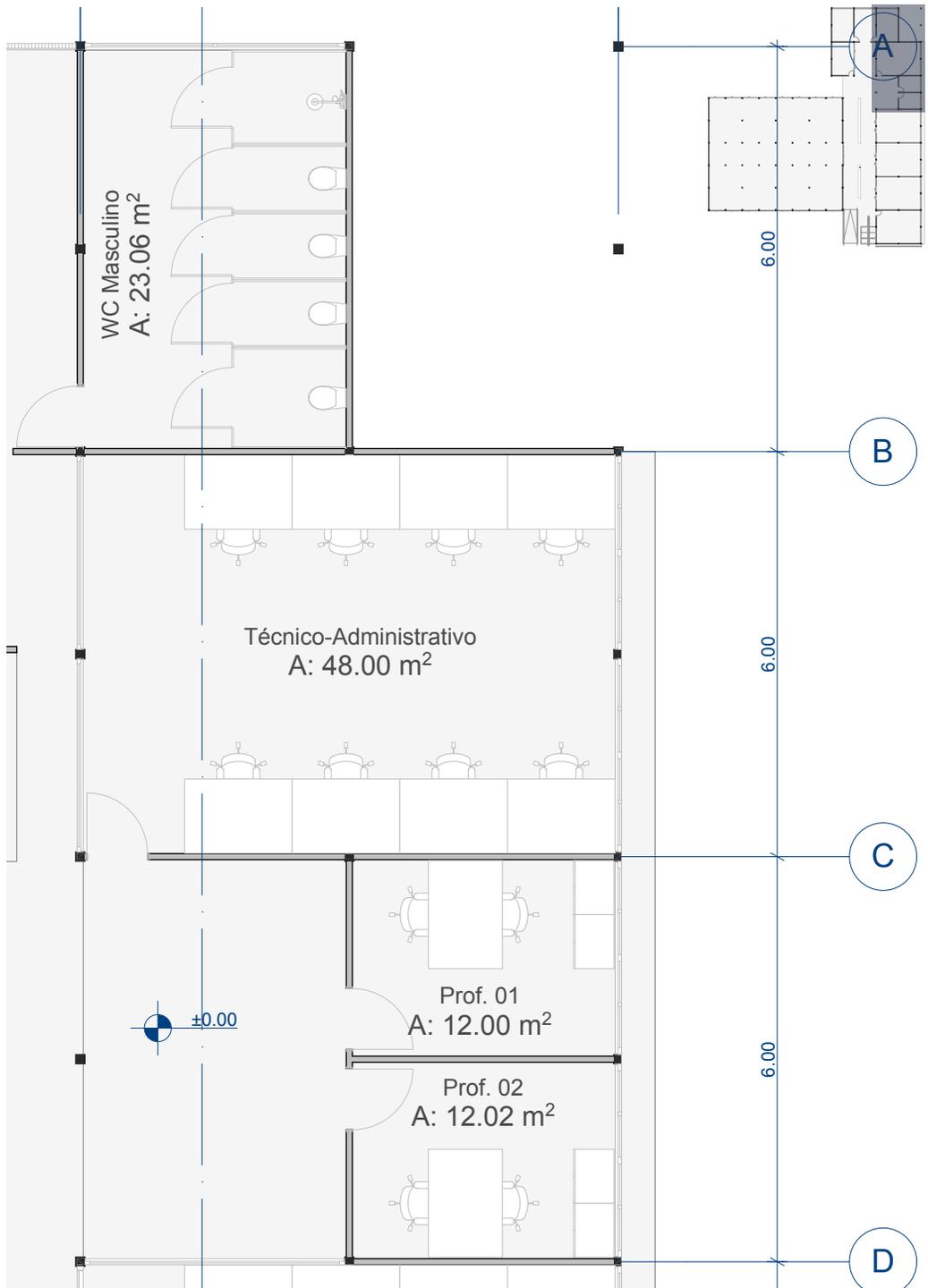
▼ figura 76: entrada sul do edifício



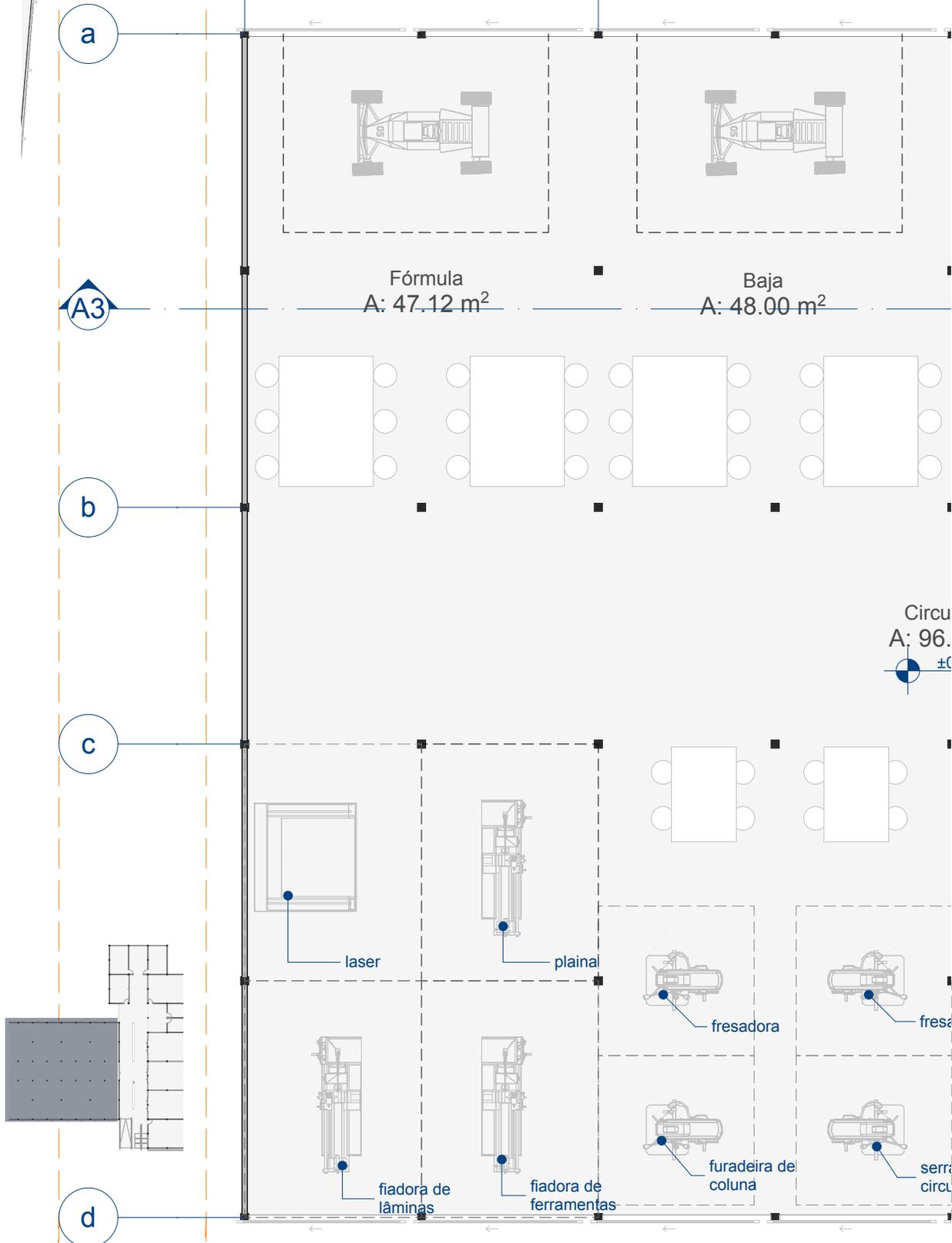


PLANTA BAIXA LABORATÓRIOS

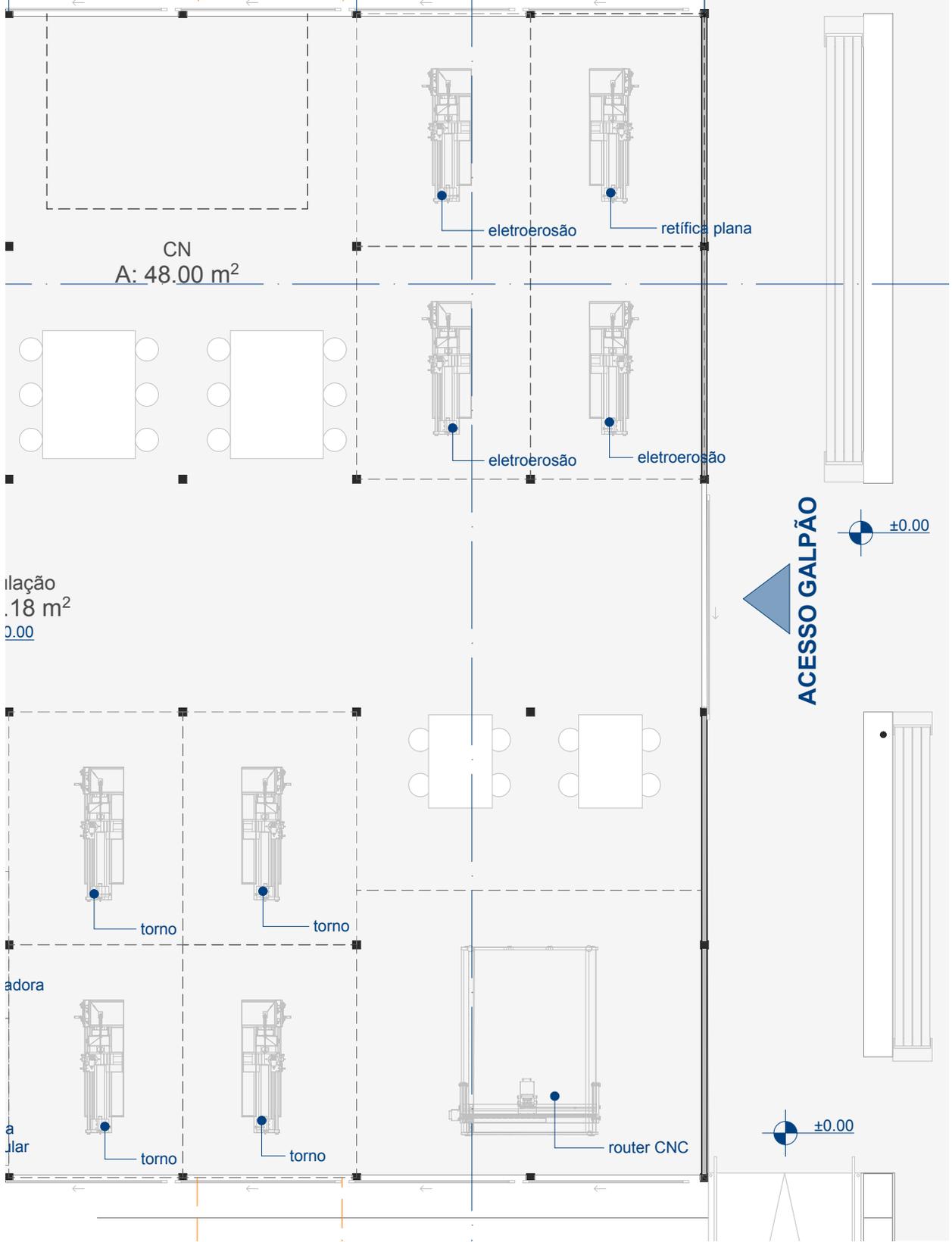
1:100



PLANTA BAIXA TÉCNICO ADMINISTRATIVO + WC
1:100



PLANTA BAIXA GALPÃO
1:100



CN
A: 48.00 m²

ilação
.18 m²
0.00

adora

a
lar

eletroerosão

retífica plana

eletroerosão

eletroerosão

torno

torno

torno

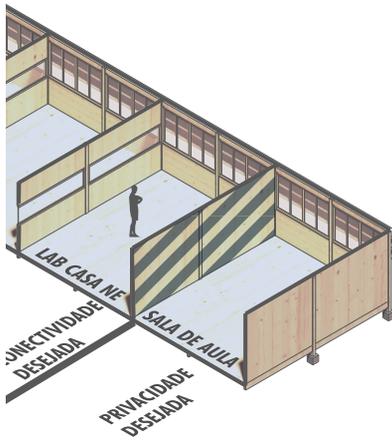
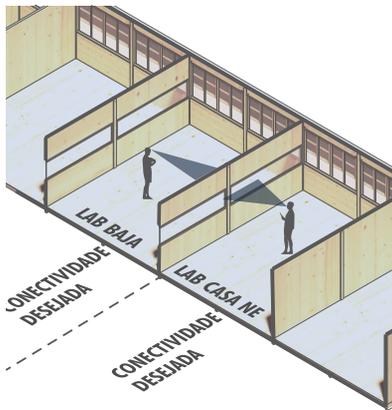
torno

router CNC

ACESSO GALPÃO

±0.00

±0.00

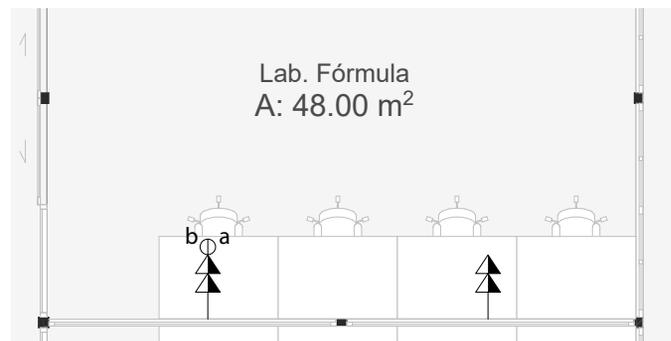


▲ figura 77: exemplo das relações possíveis entre ambientes e reflexos na aplicação do sistema

► figura 78: localização dos pontos de tomadas em um dos ambientes

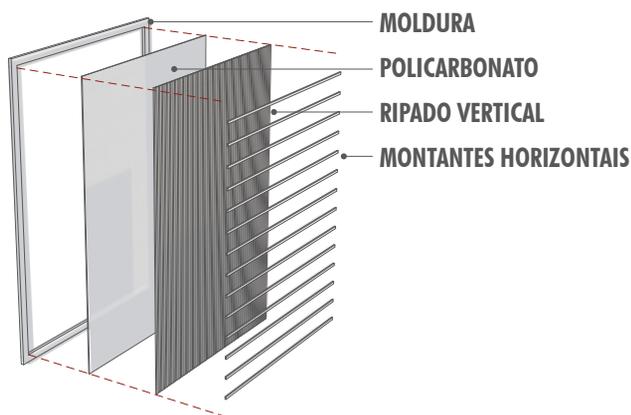
Já a face norte do Laboratório, está em contato com o Laboratório do Baja. Como os dois ambientes possuem demanda mapeada por conectividade visual, essa face compartilhada conta com uma interface transparente de conexão, situada a 1.20 (dimensões sugeridas pra conexões visuais desejadas mas ainda com o resguardo das atividades individuais e necessidades de pontos de tomada a média altura). Por outro lado, fachada sul, que compartilha a parede com a sala de aula teórica, não pode ter esse tipo de abertura pois apesar do Laboratório demandar conexão, a sala de aula demanda a não conexão, ou privacidade, e nesse caso de conflito, o **Sistema** prioriza a demanda de privacidade (ver figura 77).

Por fim, o ambiente de laboratório possui demanda só de sistemas elétricos. Nesse caso mais simples, o cabeamento, que passa por baixo do piso, sobe para os ambientes apenas nos pontos de uso. No caso do layout para esse tipo de atividade, esses pontos estão localizados nas fachadas perpendiculares ao acesso (ver figura 78).

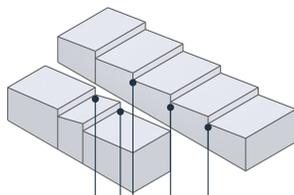


O workflow é aplicado a todos os ambientes, e agiliza muito o processo de tomada de decisão, já que boa parte das validações são estipuladas previamente, no processo de desenvolvimento do **Sistema** e da gramática.

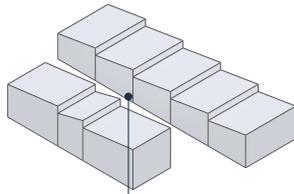
Obviamente o **Sistema** não abarca todas as decisões projetuais possíveis e serve como definição preliminar para o posterior refinamento do arquiteto. Nesse estudo de caso é possível observar algumas dessas definições. Uma delas são os portões que dão acesso ao bloco operativo. Como as atividades que lá operam são de grande entrada e saída de materiais e equipamentos de grandes dimensões, havia a necessidade de portões de grandes dimensões e de abertura total, que permitissem esse escoamento. No entanto, ao mesmo tempo que as definições programáticas do **Sistema** e a orientação do edifício sugerem a conectividade visual e abertura para ventilação e iluminação natural, a segurança das máquinas demandam um tipo de abertura mais rígida e controlada. Esse problema foi solucionado com uma grelha de madeira na folha da porta, cuja geometria sugere uma certa transparência do ambiente - dependendo do ângulo - mas garante a segurança do local. Essa geometria vazada também permite que a ventilação natural cruzada entre no ambiente.



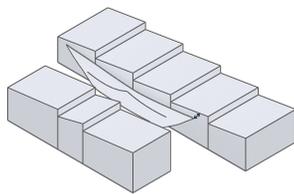
◀ figura 79: camadas de fechamento do portão do Galpão



pontos de ancoragem
na estrutura



ponto de apoio central



esforços de tração
e espaçamento da
estrutura

A solução que mais representa a liberdade ao projetista após a aplicação do **Sistema** é a cobertura central entre os dois blocos. Ela foi proposta para integrar espacialmente os dois edifícios, e marcar o acesso do Galpão.

Ironicamente, ela foi proposta através de um processo algorítmico de form-finding, ou seja, a forma final é dada exclusivamente pelos parâmetros selecionados pelo projetista. Como tinha-se a intenção de propor uma cobertura orgânica, que contrastasse com ortogonalidade do restante do edifício, foi escolhida uma cobertura tensionada, cuja geometria é “encontrada” a partir dos pontos de ancoragem e os esforços de tração e gravidade que incidem sobre a malha.

Esse processo - que foi feito de forma paramétrica - permite que a mudança nos parâmetros (no caso a localização dos blocos que servem como pontos de ancoragem) resulte automaticamente na mudança da forma. E tratando-se de uma cobertura tensionada, leve e de fácil fixação, ela atua quase como um elemento efêmero no espaço, podendo ser alterado, removido, acrescentado a qualquer momento dependendo da demanda.

▲ *figura 80: processo de form-finding da cobertura tensionada central*

► *figura 81: perspectiva externa do espaço central*





▲ figuras 82 e 83: perspectivas externas do Galpão



▲ figuras 84 e 85: perspectivas externas do Galpão



▲ figuras 86 e 87: perspectivas externas do Galpão

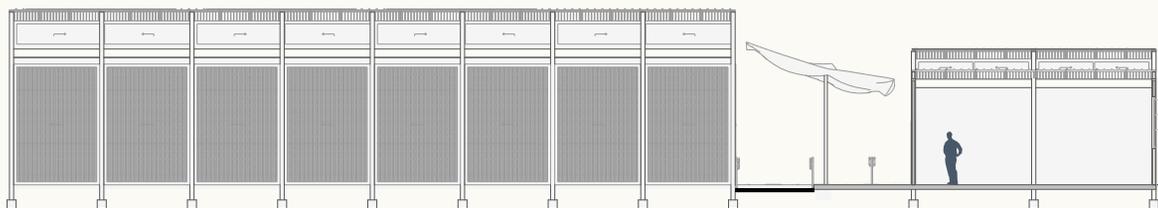


▲ figuras 88 e 89: perspectiva interna de ambiente de laboratório; perspectiva interna do bloco operativo

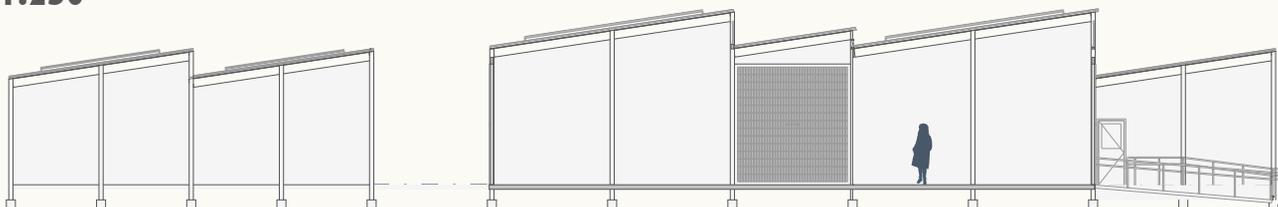


▲ figuras 90 e 91: perspectiva interna da sala de aula; perspectiva externa do espaço do patio central

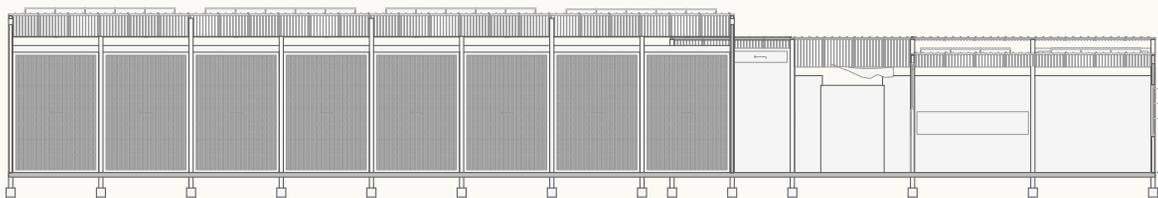
▼ figura 92: cortes esquemáticos



CORTE 01 ESQUEMÁTICO
1:250



CORTE 02 ESQUEMÁTICO
1:250



CORTE 03 ESQUEMÁTICO
1:250

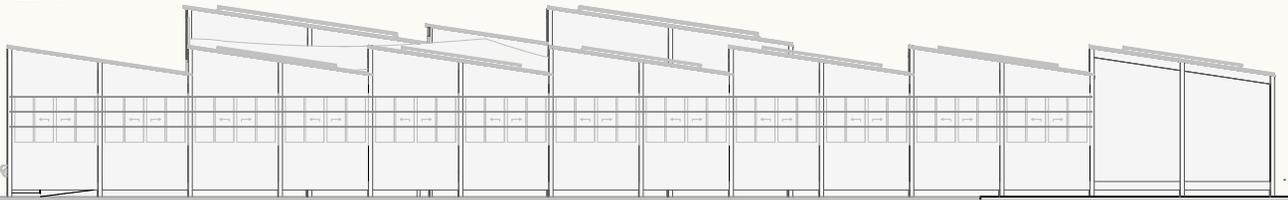


CORTE 04 ESQUEMÁTICO
1:250

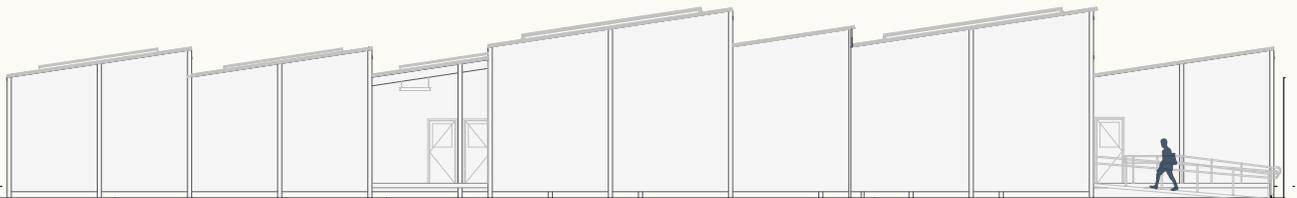
▼ figura 93: elevações esquemáticas



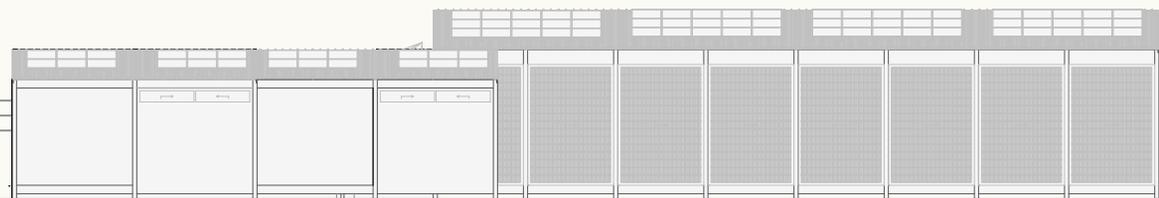
ELEVAÇÃO SUL
1:250



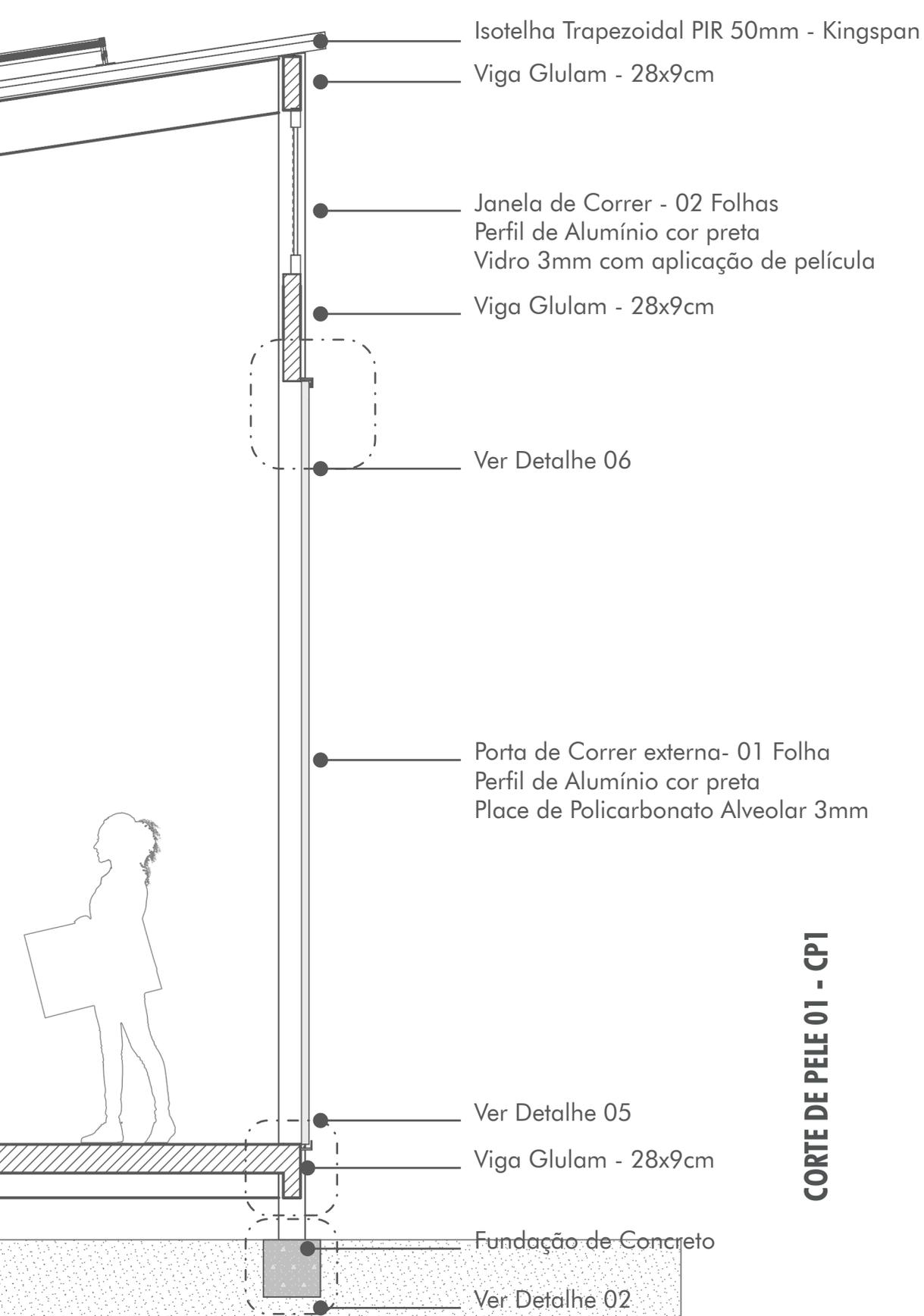
ELEVAÇÃO LESTE
1:250



ELEVAÇÃO OESTE
1:250



ELEVAÇÃO NORTE
1:250



Isotelha Trapezoidal PIR 50mm - Kingspan

Viga Glulam - 28x9cm

Janela de Correr - 02 Folhas
Perfil de Alumínio cor preta
Vidro 3mm com aplicação de película

Viga Glulam - 28x9cm

Ver Detalhe 06

Porta de Correr externa- 01 Folha
Perfil de Alumínio cor preta
Place de Policarbonato Alveolar 3mm

Ver Detalhe 05

Viga Glulam - 28x9cm

Fundação de Concreto

Ver Detalhe 02

CORTE DE PELE 01 - CPI

CORTE DE PELE 02 - CP2

Módulo FV Canadian 72 cells 335 W
Poly 1500 V F16 - 2x 1m

Isotelha Trapezoidal PIR 50mm - Kingspan

Viga Glulam - 28x9cm

Ver Detalhe 01

Lona Vinílica com tecido em
Poliéster revestida de PVC

Cabo de aço ancorado
para tensionamento

Porta de Correr externa- 02 Folha

Perfil Alumínio Cor Preta

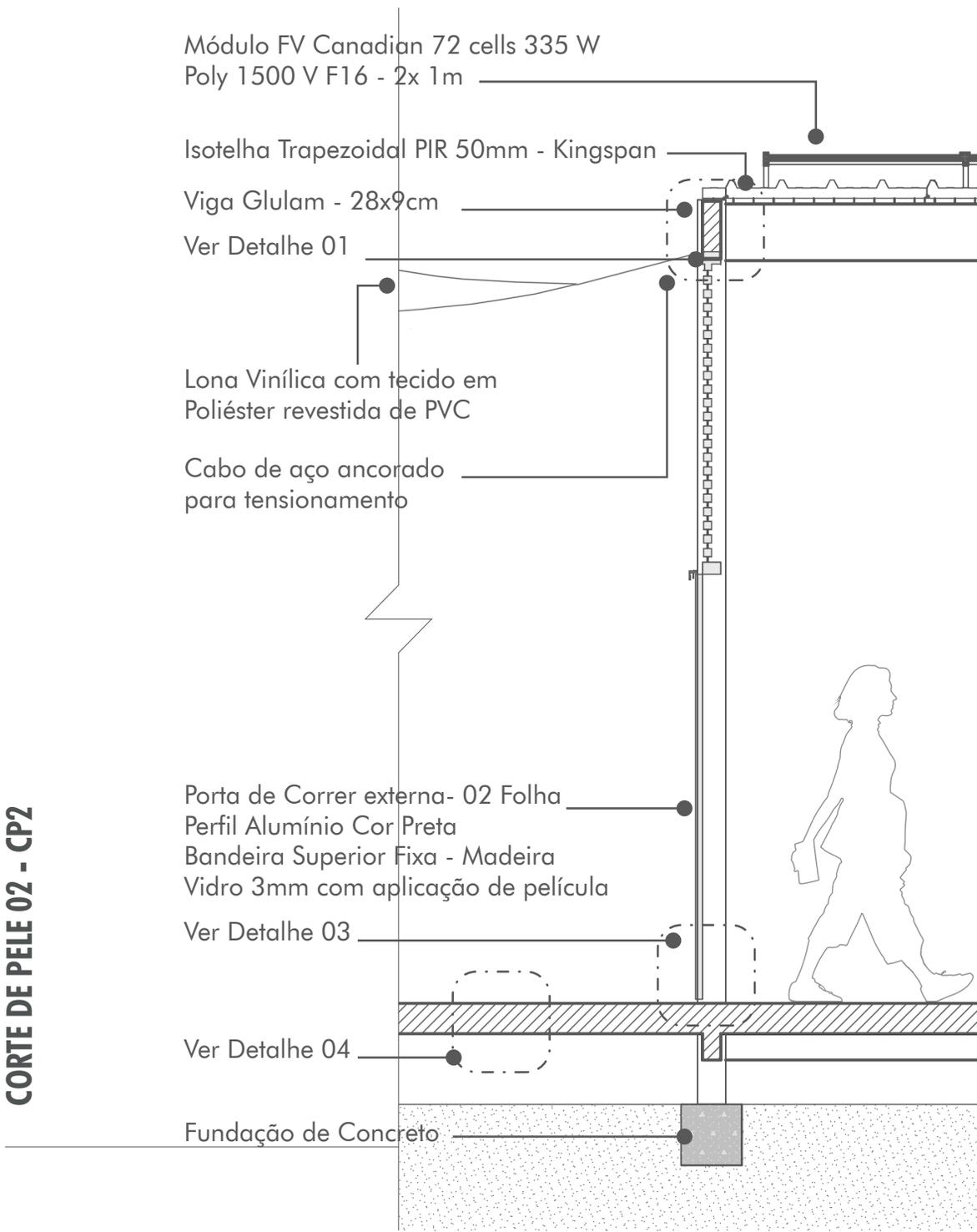
Bandeira Superior Fixa - Madeira

Vidro 3mm com aplicação de película

Ver Detalhe 03

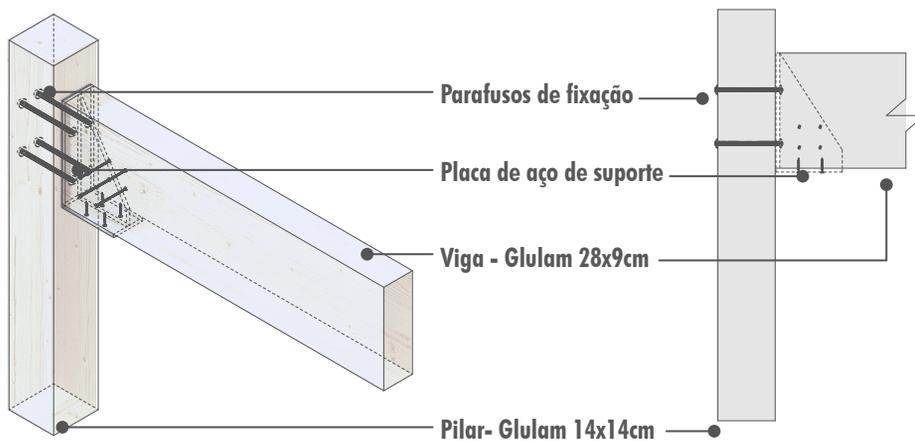
Ver Detalhe 04

Fundação de Concreto

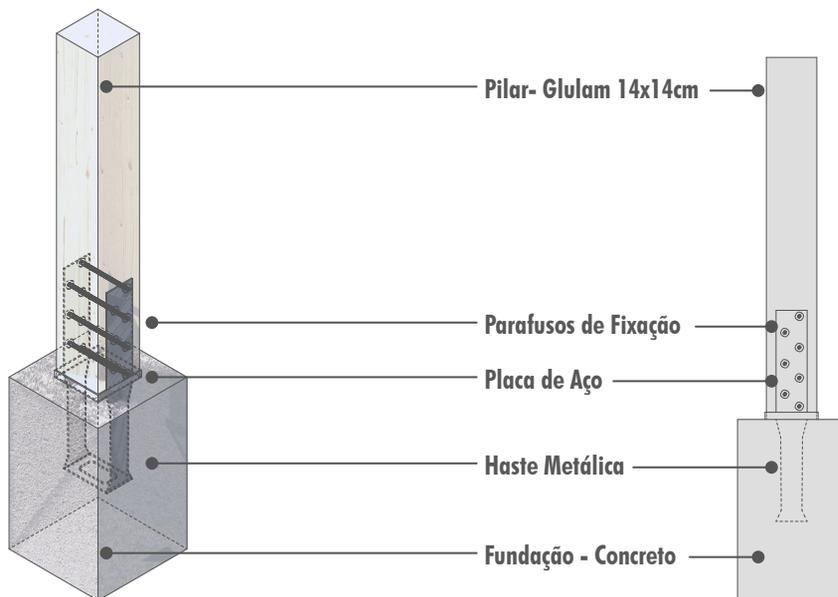


DETALHE 01 CONEXÃO PILAR X VIGA

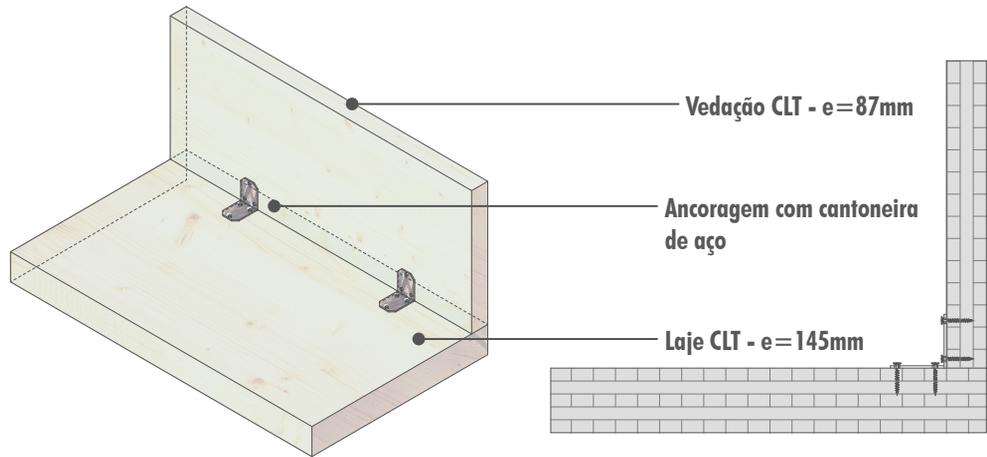
118



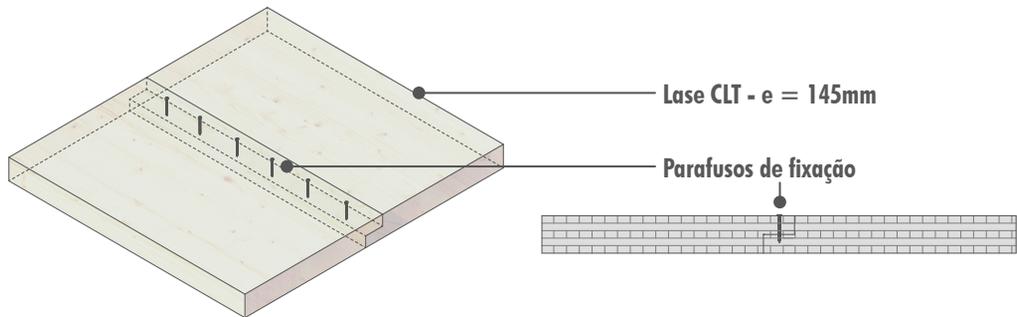
DETALHE 02 CONEXÃO FUNDAÇÃO



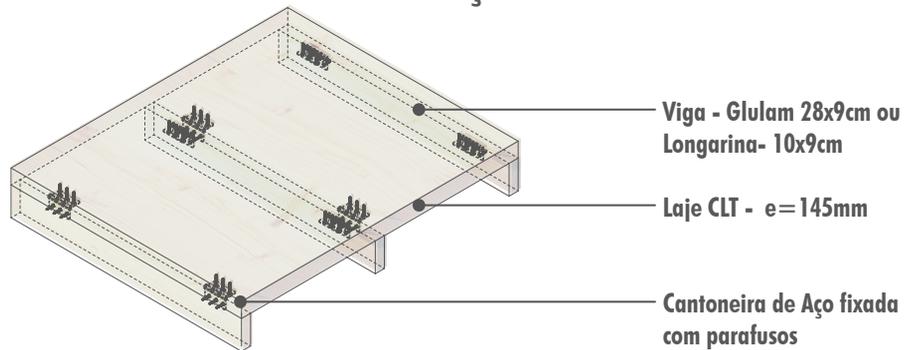
DETALHE CONEXÃO 03 LAJE X PAREDE

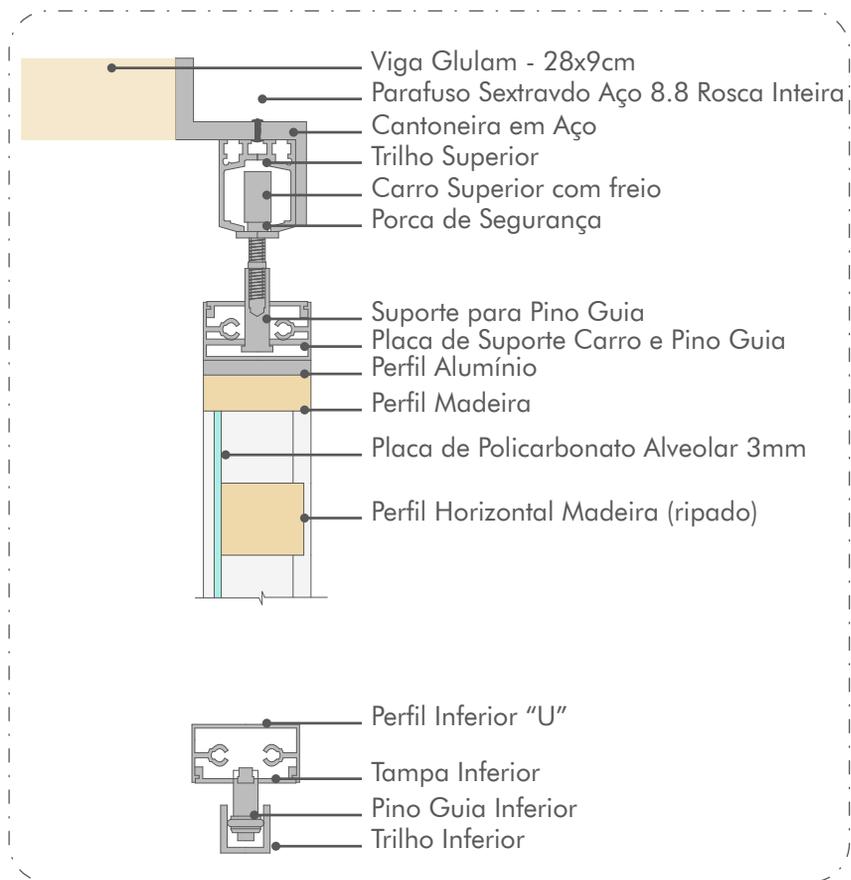


DETALHE CONEXÃO 04 LAJE X LAJE

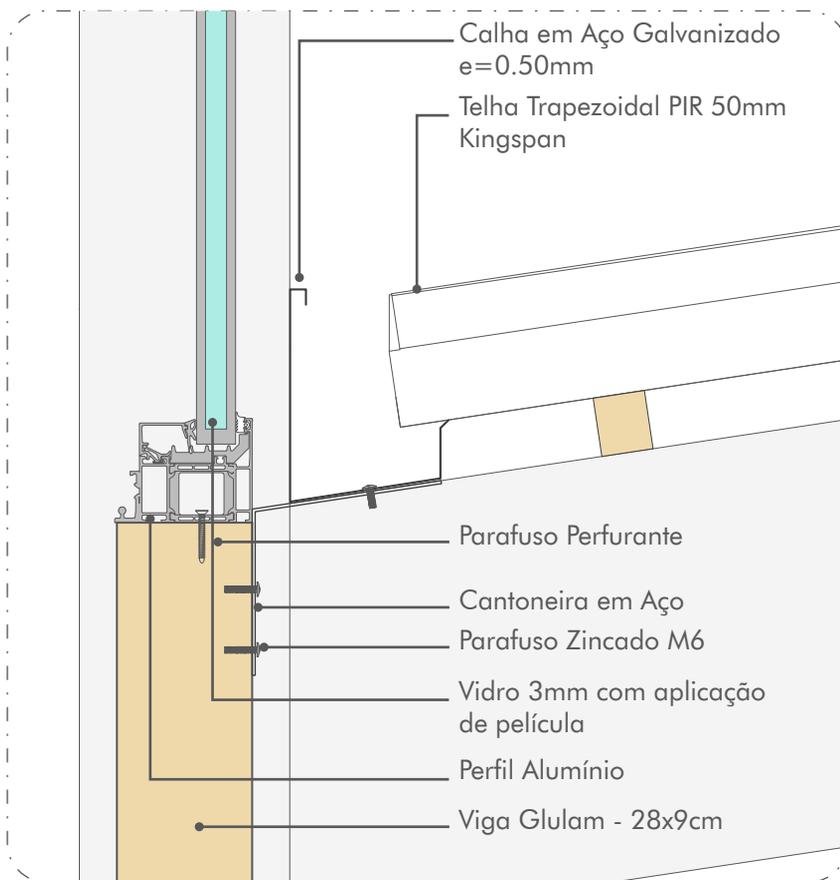


DETALHE CONEXÃO 05 FUNDAÇÃO





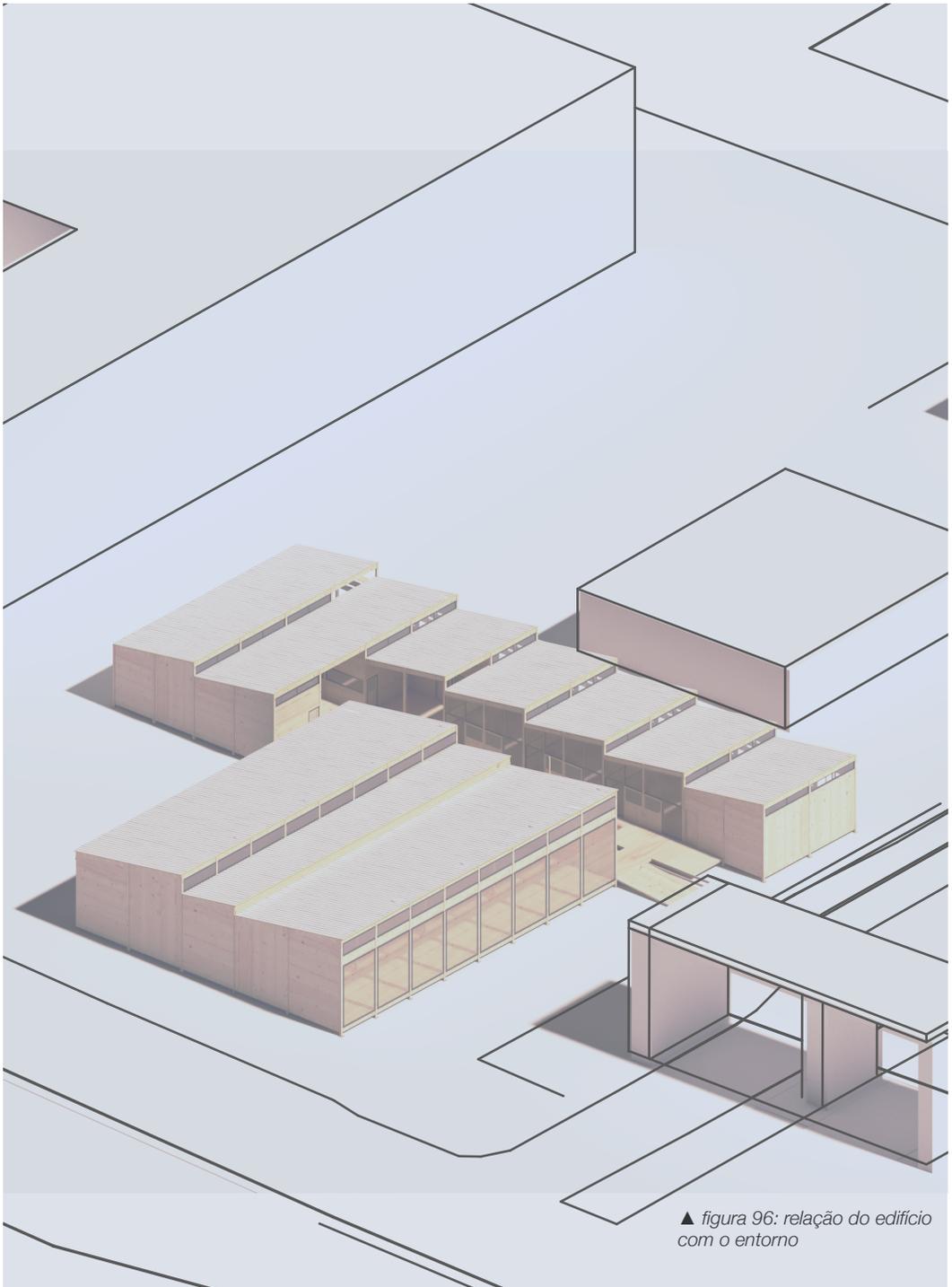
DETALHE 06- PORTÃO GALPÃO



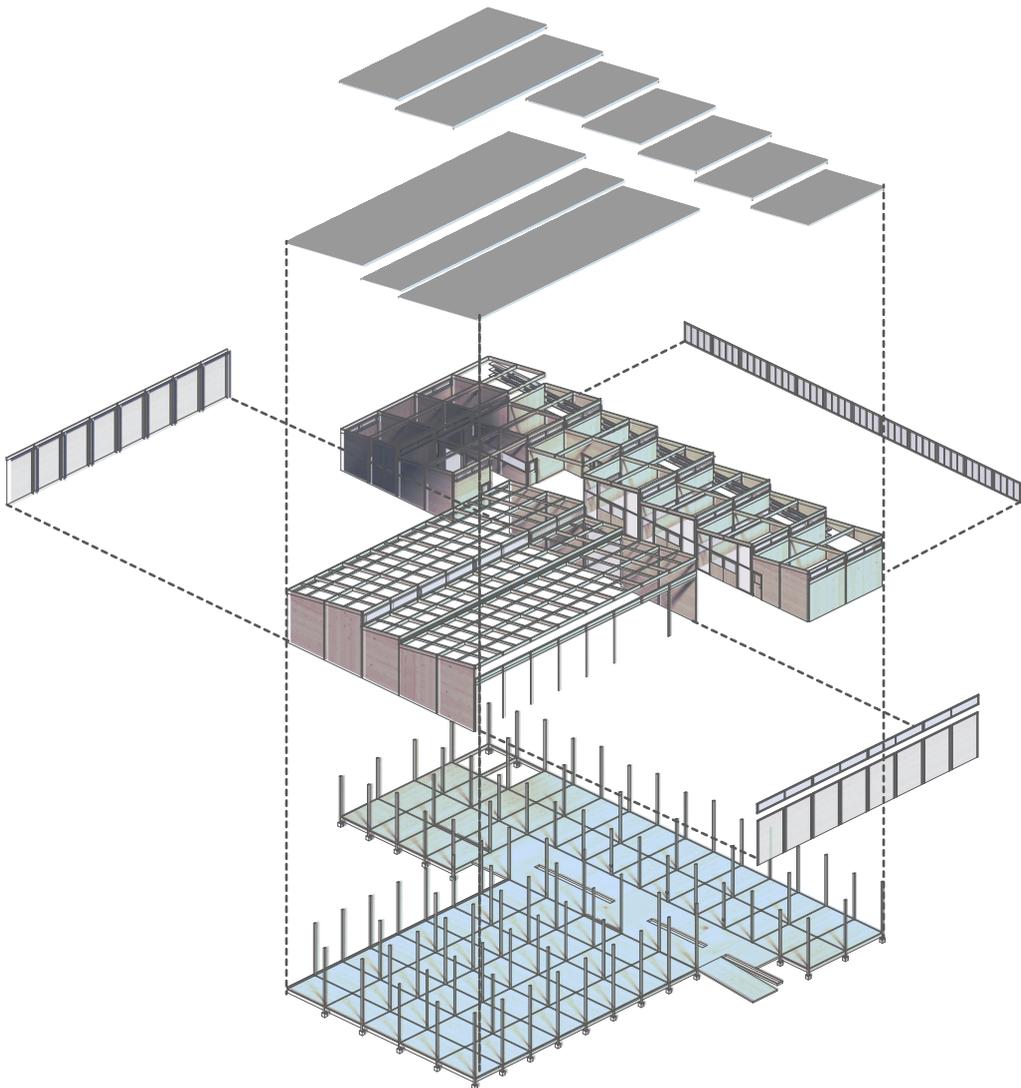
DETALHE 07- CONEXÃO CALHA X LANTERNIM



▲ figuras 94 e 95: detalhe do portão do bloco operativo; perspectiva interna do bloco operativo e máquinas



▲ figura 96: relação do edifício com o entorno



▲ figura 97: perspectiva
explodida dos componentes do
edifício



▲ figura 98 e 99: cortes perspectivados do edifício



▲ figura 100: planta perspectivada do edifício

5.2.3 LÓGICAS SISTÊMICAS

Além do espaço, a boa programação das lógicas de sistemas complementares que fazem parte do edifício é essencial para o funcionamento do **Sistema** e de sua aplicação.

Uma das definições extraídas do **Sistema** é a escolha de um piso elevado do solo, feito em CLT, que permite que a maior parte da tubulação e fiação passe por debaixo do edifício e suba aos pontos de uso; e também a adoção de sistemas aparentes, o que facilita o caminho que as tubulações percorrem.

Outra solução antevista na etapa anterior é concentração dos sistemas em blocos operativos, minimizando os riscos de infiltração, vazamento, e comprimento excessivo dos canos. Esses blocos abarcariam todas as áreas molhadas do edifício proposto, e também os pontos de controle e manutenção do sistema, como medidores, quadros de distribuição, inversores etc.

Para aplicação no estudo de caso, concentrou-se nos dois sistemas mais imprescindíveis à qualquer edificação: hidráulico e elétrico.

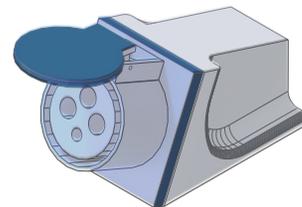
5.2.3.1 SISTEMA ELÉTRICO

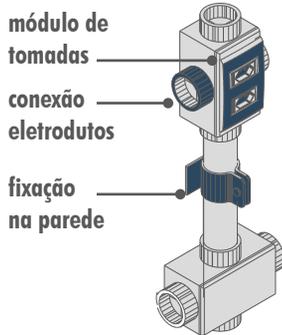
O sistema elétrico fez-se ainda mais necessário ao estudo de caso, já que a demanda das atividades que operam no Galpão é maior que o comum. As máquinas e equipamentos ficam ligadas diuturnamente e operam em potências não convencionais.

Aproveitando-se da lógica modular que o edifício opera, e também os caminhos de fiação por baixo do piso, foram propostos dois tipos de pontos de tomada, dependendo da atividade e do layout exercidos.

As atividades operativas são servidas por tomadas de piso industriais, do tipo Steck. Esse tipo de tomada é mais seguro, robusto, e funciona para altas correntes elétricas, demanda dos equipamentos que lá se encontram.

▼ figura 101: tomada industrial tipo Steck





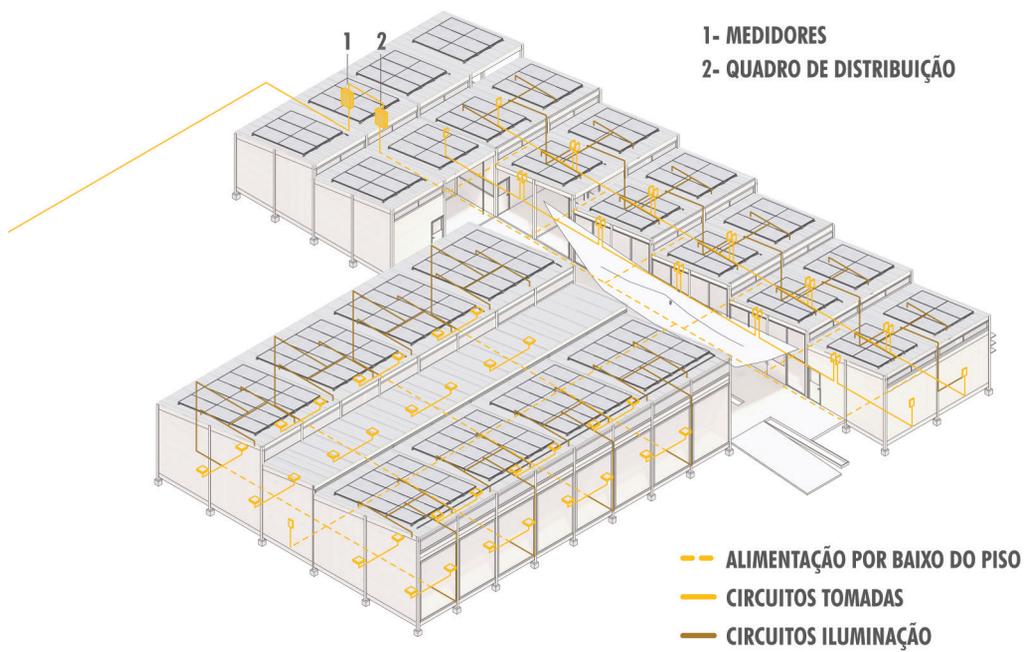
▲ figura 102: tomada de sobrepor aparente

Já as atividades mais comuns, como as de escritório, laboratórios e salas de aula, são servidas por tomadas baixas de sobrepor, que sobem do piso até os pontos de uso. Essa demanda já havia sido prevista na criação do **Sistema**, e um dos condicionantes da geometria das vedações é a demanda elétrica do ambiente. Dessa forma, todos os ambientes possuem pelo menos uma face para a alocação desses pontos.

A iluminação funciona de forma similar para os dois tipos de ambientes. Os circuitos de iluminação são individualizados por módulo funcional, e sobem a partir da ramificação dos dutos que abastecem as tomadas (tanto as de piso industriais, quanto as baixas de sobrepor). A tubulação que sobe também é aparente, e aproveita os caminhos da estrutura, tanto vertical quanto horizontal para chegar nos pontos de iluminação. As luminárias podem variar de tipo, tanto de sobrepor como pendentes, e de geometrias e alturas igualmente variadas.

Os pontos de alimentação de distribuição dos circuitos ficam no módulo operativo citado anteriormente. Nele chega a iluminação da rede pública, através dos medidores, passa para o quadro de distribuição e se ramifica nos circuitos descritos acima.

Para a sua alocação foi levado em conta a facilidade de acesso para manutenção, mas ao mesmo tempo o resguardo do amplo público, além de localização preferencialmente centralizada.



▲ figura 103: isométrica sistema elétrico

5.2.3.2 SISTEMA HIDRÁULICO

Os banheiros e demais áreas molhadas foram alocadas próximas umas as outras e a orientação dos equipamentos hidráulicos foram pensadas de forma a racionalizar o tamanho das tubulações e concentrar as áreas molhadas no módulo operacional.

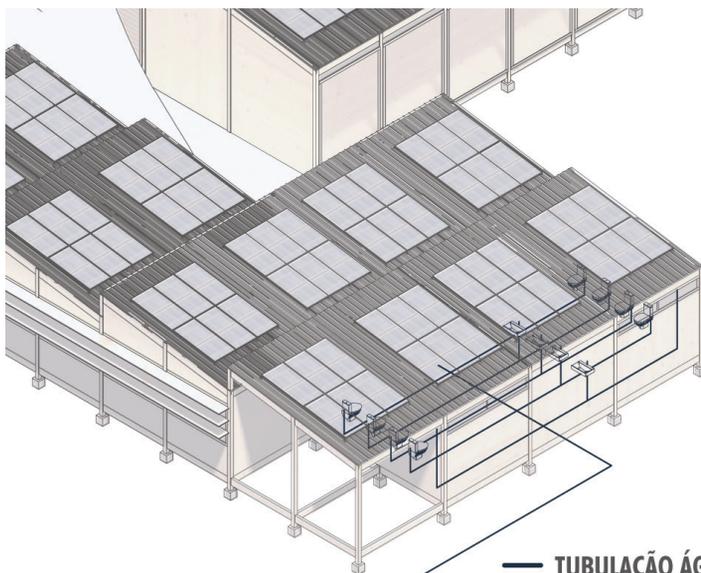
No abastecimento, foi proposto um ramal central, que se divide para os dois banheiros, que são espelhados, e também para as pias externas. A tubulação de abastecimento é do tipo PEX, que é uma tubulação flexível de Polietileno Reticulado que facilita o abastecimento de pontos através de alimentação direta, já que tem uma perda de carga menor, e também a manutenção, que pode ser feita pontualmente no local demandado, através do uso de ferramentas especializadas.

O tubulação de esgoto segue a mesma lógica do abastecimento. As pias, ralos e vasos que recebem as águas cinzas e negras são dispostas de forma espelhada, e preferencialmente alinhadas. Desses pontos, a água segue para uma tubulação central entre os dois banheiros, afim de diminuir a altura do encanamento devido a inclinação mínima necessária para sistemas de esgoto.

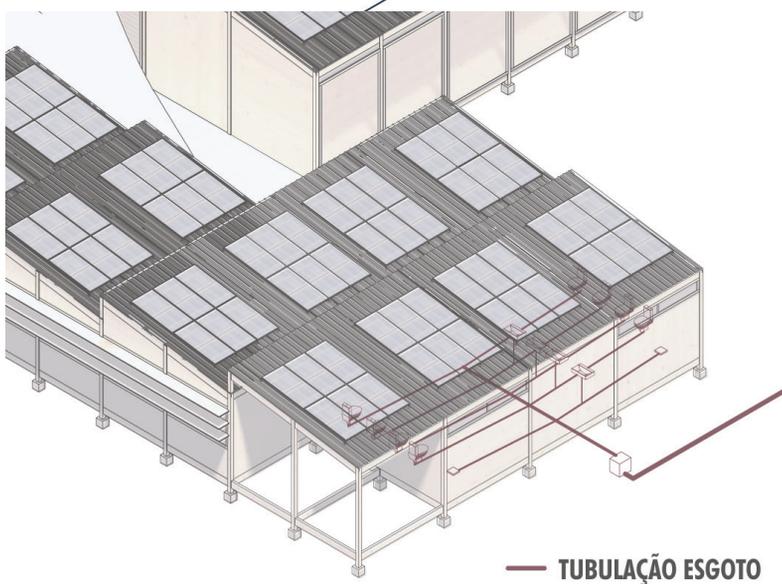
Desse cano, a tubulação é direcionada para o exterior do edifício, facilitado pela localização perimetral dos banheiros. Antes de ir para a rede pública, ainda passa por caixa de inspeção e caixa de gordura, dispostas externas ao edifício para fácil manutenção.

É importante ressaltar que o sistema construtivo de CLT facilita a alocação flexível dos pontos hidráulicos, através da fabricação digital. Com o projeto hidráulico e estrutural feitos, é realizado o estudo do caminho das tubulações e o conflito com os elementos estruturais, a partir desse estudo, os furos para a passagem da tubulação são dispostos automaticamente, e quando repassados para a fábrica que faz o corte dos painéis de madeira, são cortados na posição certa.

A impermeabilização dos painéis e elementos de madeira nessas áreas molhadas é feito através de Gesso impermeável, que sela esses elementos, e permite a fixação de qualquer elemento posteriormente, como a pastilha cerâmica convencional.



◀ ▼ figura 104 e 105: isométrica sistema de abastecimento de água; isométrica sistema de esgoto



5.2.3.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO

A escolha por propor um sistema de geração de energia fotovoltaica surgiu a partir de diversas oportunidades. A primeira é a orientação de todas as cobertas para o norte, devido a inclinação do shed, proposta pela gramática. A orientação Norte é a mais eficiente para módulos fotovoltaicos em latitudes Sul. A inclinação de 15% da cobertura foi mantida para os módulos, já que também é uma inclinação dentro da faixa ideal para as latitudes Sul, caso de João Pessoa.

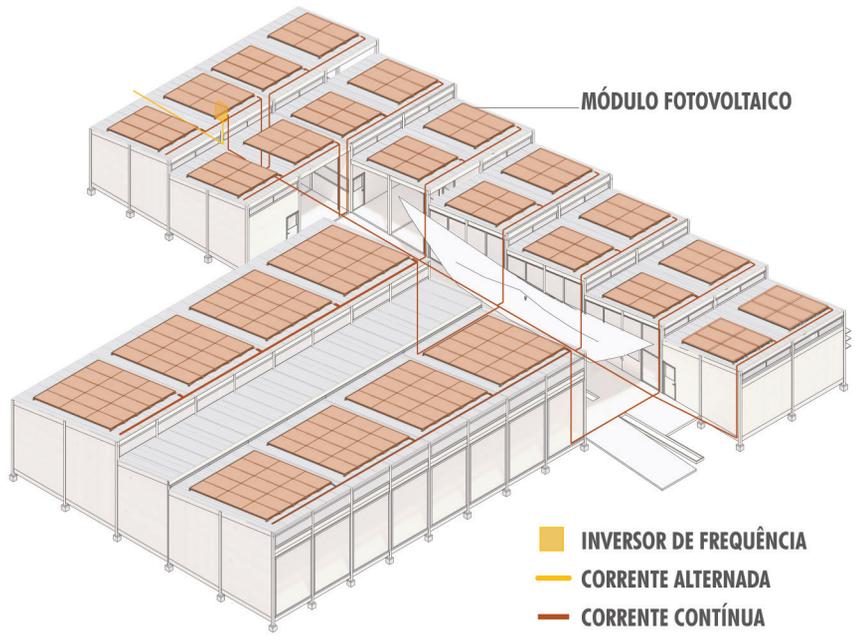
A proximidade com o Centro de Engenharia Energias Renováveis também foi um fator positivo, já que o galpão poderia servir como local de teste para tecnologias desenvolvidas pelo centro. Por fim, também possibilitou a minimização do impacto ambiental, um dos conceitos trazidos para o projeto.

A quantidade de módulos fotovoltaicos é dada a partir dos módulos funcionais. Os módulos de 8x6 do Galpão possuem 15 painéis de 2x1m, já módulos de 8x6m dos laboratórios possuem 6 painéis. A modulação dos painéis a partir dos módulos funcionais é importante para que no cenário de retirada ou acréscimo de ambientes, não haja conflito com o sistema fotovoltaico, mantendo-se portanto independentes.

Os painéis, dispostos em paralelo, conectam-se a microinversores localizados no módulo operativo do edifício, e de lá, conectam-se à rede pública. A energia injetada na rede fica como crédito para a energia consumida pelo Galpão, e tratando-se de um ambiente que abriga atividades de alto consumo, essa estratégia é ainda mais benéfica.

A lógica de uso dos microinversores é inspirada na CASA NORDESTE, e permite que, a medida que a demanda por geração aumente ou diminua, mais ou menos inversores sejam solicitados para a conversão da corrente contínua para a alternada.

▼ figura 106 e 107: isométrica sistema fotovoltaico; detalhe módulo fotovoltaico



5.3 VALIDAÇÃO

Como os ambientes propostos partiram de soluções pré-validadas obtidas no desenvolvimento do **Sistema**, espera-se que eles performem bem frente aos critérios de desempenho pré-selecionados.

No entanto, para testar a abordagem proposta nesse trabalho, foram feitas simulações a posteriori para comprovar a real vantagem em utilizar o processo proposto ou não.

As simulações realizadas foram: térmico-lumínico; pegada de carbono; tempo x custo de execução.

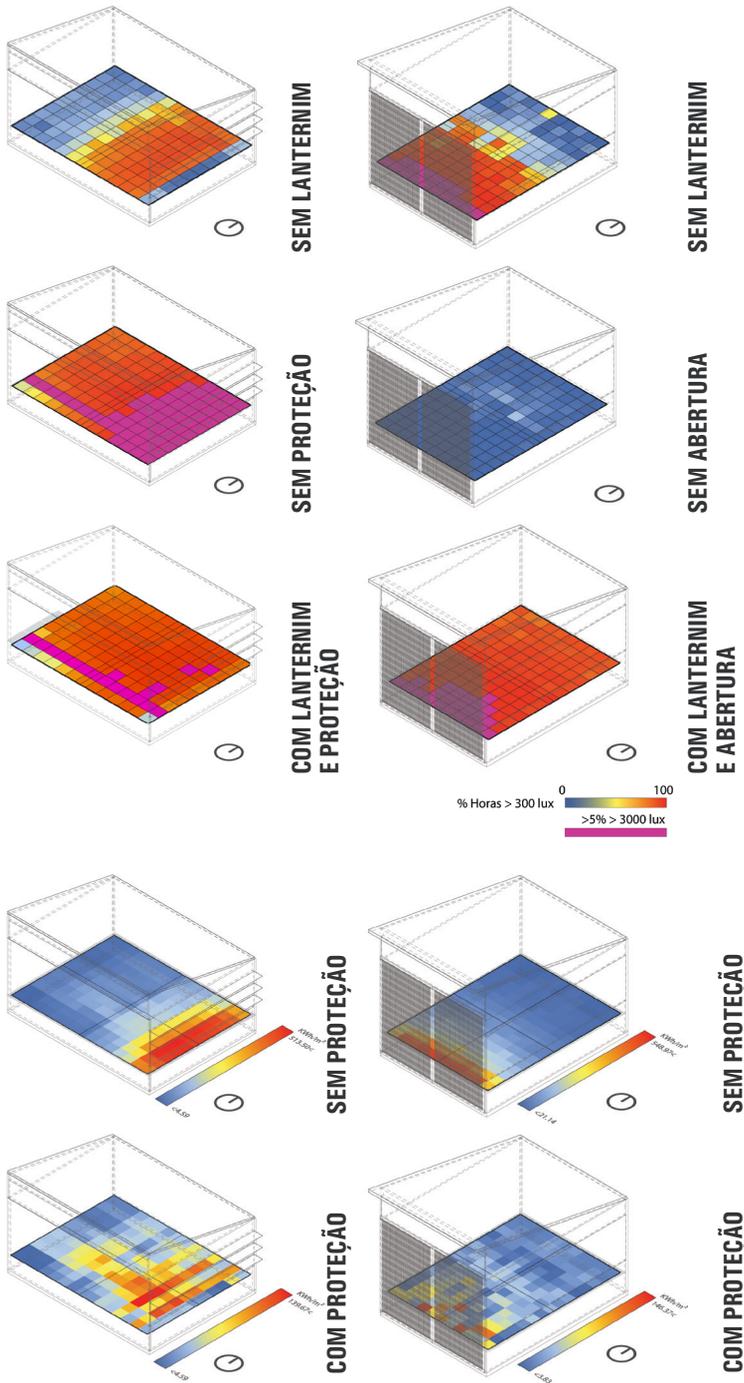
A simulação térmico-lumínico utilizou dois indicadores para validar o desempenho dos ambientes. O primeiro foi o autonomia de iluminação natural (daylight autonomy), que mede a porcentagem de tempo em que o ambiente é atendido por iluminação natural de forma satisfatória (acima de 300lux). Essa simulação foi feita na etapa de definição da gramática e foi um dos condicionantes que levou tanto a opção do shed para iluminação complementar quanto dos elementos de proteção solar nas fachadas orientadas para leste, afim de diminuir o ofuscamento excessivo. Para a validação, foram testados dois tipos de ambiente, o Laboratório da CASA NORDESTE e também um dos módulos de utilização de máquina, já que ambos possuem demandas e características diferentes. Em ambos os casos, os resultados foram positivos, obtendo valores próximos de 90% de autonomia de iluminação natural com o mínimo de ofuscamento possível - exibido em rosa (ver figura 108). Destacase a uniformidade nos níveis de iluminação quando o lanternim é utilizado.

Já o ganho térmico analisado a partir da quantidade de energia acumulada por m^2 mostrou que, apesar dos níveis adequados de iluminação natural, a radiação incidente no plano de trabalho foi menor quando utilizados os sistemas de proteção solar otimizados. Tanto no galpão, com o uso da trama de madeira nos portões das fachadas sul e norte, como nos laboratório, com a utilização dos brises horizontais, a redução da média em KWh/m^2 foi de mais de 50%.

LABORATÓRIO

GALPÃO

◀ figura 108: simulações térmicas e luminicas de dois ambientes



A pegada de carbono e o impacto ambiental global do edifício foi verificado com duas ferramentas online, a calculadora de carbono do woodworks.org, que estima a quantidade de CO₂ emitida para a construção daquele edifício, e a plataforma do selo de sustentabilidade EDGE, que mede e compara o desempenho do projeto frente a casos base semelhantes. Esses índices são interessantes para medir o impacto do edifício em um cenário global, levando em conta todo o processo produtivo direto e indireto empregado nele, e aproxima-se de uma visão sistêmica que é utilizada na Indústria 4.0

Os resultados dos dois testes mostraram que a pegada de carbono do edifício é significativamente menor em comparação a edifícios convencionais, evitando a emissão de aproximadamente 115 ton de CO₂, em comparação a um sistema tradicional. A maior parte dessa economia foi devido a ampla utilização de madeira como sistema construtivo, já que a madeira além de emitir menos CO₂ para fabricação, ainda sequestra o gás no estágio de árvore. Já a plataforma EDGE mostrou que, em comparação a outros edifícios de educacionais, o Galpão consome 51% menos energia, e 64% menos energia incorporada nos materiais. Essa economia levou em consideração apenas as decisões de projeto tomadas, como a utilização da energia fotovoltaica, maior aproveitamento da iluminação natural, e a utilização da madeira engenheirada como sistema construtivo.

A plataforma também mostrou que a emissões de CO₂ evitadas durante a fase operacional são de 7.1 ton/ano, e um tempo de payback de aproximadamente 6 anos. Todos esses dados são extraídos das informações fornecidas à ferramenta. Como o projeto ainda encontra-se em estágio de estudo preliminar, informações mais detalhadas como o tipo de chuveiro e torneira utilizados não são declarados, e utiliza-se o padrão do caso base. Então, em um cenário real onde o edifício é construído, esses números irão variar levemente, porém já são indicam o potencial de economia do projeto.

Results

Final Energy Use (kWh/Month)
739.72

Final Water Use (m³/Month)
212

Base Case Utility Cost (\$/Month)
88.77

Utility Cost Reduction (\$/Month)
16.59

Energy Savings (MWh/Year)
16.16

Embodied Energy in Materials Savings (GJ)
1681.13

Operational CO₂ Savings (tCO₂/Year)
7.11

Embodied Energy Savings (MJ/m²)
3,592.17

Incremental Cost (\$)
1,157.23

Payback in Years (Yrs.)
5.81

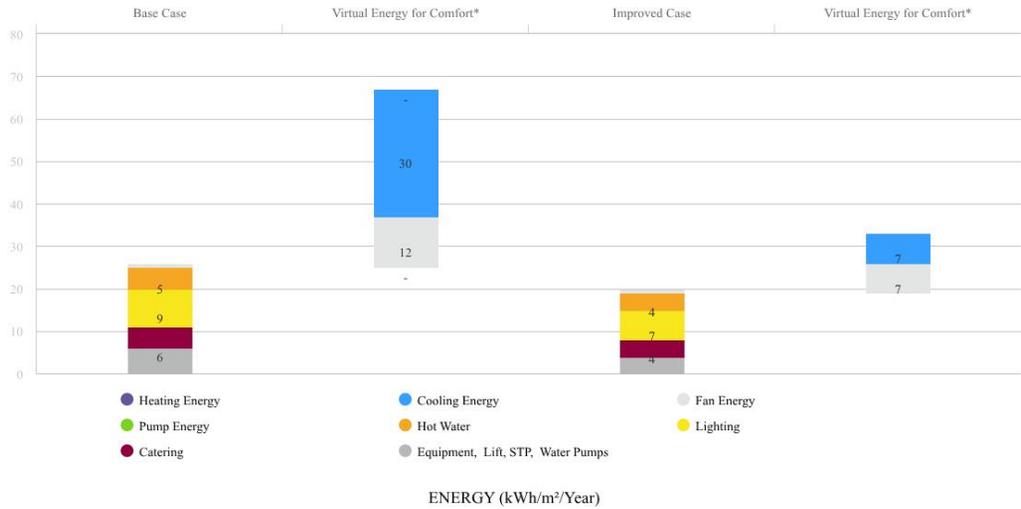
Water Savings (m³/Year)
0.00

Total Subproject Floor Area (m²)
468.00

ENERGY SAVINGS

Energy Efficiency Measures 51.2%

Meets EDGE Energy Standard



EMBODIED ENERGY SAVINGS

Materials Efficiency Measures 64.60%

Meets EDGE Materials Standard



Carbon Summary

Results



Volume of wood products used:
294 cubic meters (10,372 cubic feet)



U.S. and Canadian forests grow this much wood in:
1 minutes



Carbon stored in the wood:
296 metric tons of carbon dioxide



Avoided greenhouse gas emissions:
115 metric tons of carbon dioxide



Total potential carbon benefit:
411 metric tons of carbon dioxide

Por fim, foi feita uma comparação entre o tempo gasto com a construção e o orçamento preliminar de uma estrutura convencional e a estrutura proposta neste trabalho.

Para simplificação, foram comparados os orçamentos da estrutura - composta por viga, pilar, e laje - e vedações externas e internas. Assumiu-se que todos os demais itens seriam iguais para os dois casos. A estrutura convencional proposta é feita de viga e pilar de concreto, com laje maciça também de concreto. Os valores adotados para esse orçamento preliminar foram extraídos da base do TCPO e SINAPI. Os dados para a estrutura de Madeira Laminada Colada e CLT foram obtidos com fornecedores e fabricantes dos materiais.

Para o cálculo do orçamento da estrutura de concreto e alvenaria, foram feitas modificações adequadas a esse tipo de sistema construtivo, como mudança de vãos, seções de perfis e também robustez dos elementos.

O orçamento estimado para esse sistema construtivo foi de R\$ 626.683,14, incluindo a mão-de-obra e os encargos complementares correspondentes. Já o preço para a estrutura de CLT e Madeira Laminada Colada foi de R\$ 1.223.384,73, também com a mão-de-obra para instalação inclusa (apêndice 8.1).

Percebe-se que o valor da estrutura tradicional é comparativamente mais barato, no entanto, essa diferença financeira é mitigada ao contemplar outros aspectos da construção. Um deles é o tempo de construção. Jorge Calderon, Designer Industrial da Pontifícia Universidade Católica de Valparaíso e Gerente da CRULAMM, em entrevista ao site Archdaily comenta que uma edificação de 200m² pode ser erguida completamente em 5 dias por apenas 4 profissionais. Já no caso do concreto e alvenaria, que utilizam processos construtivos que levam água, e demandam tempo de secagem e cura, esse processo é mais demorado. A cura úmida de elementos de concreto por exemplo costumam levar cerca de 7 dias.

A diferença na geração do resíduo também é outro fator favorável às estruturas de madeira engenheirada. Processos tradicionais costumam gerar uma grande quantidade de resíduos de construção e demolição (C&D), segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição, a Indústria AECO gera 84 milhões de m³ de resíduos, dos quais apenas 21% é reciclado. O CLT e o Glulam, por utilizarem processos de fabricação digital extraídos diretamente do projeto, são mais precisos e geram pouquíssimo resíduo no canteiro de obra, pois se resumem a basicamente uma atividade de montagem. Já o resíduo gerado nas fábricas é reaproveitado na fabricação de elementos compósitos da madeira como chapas de MDF, OSB e afins.

Além disso, a premissa de flexibilidade do projeto não poderia ser atendida com os sistemas tradicionais na forma como está posta, já que não permite

a desmontagem e remontagem da estrutura em outro local. Sendo assim, seria mais adequado comparar a estrutura de madeira com a estrutura de concreto levando em consideração as diversas formas que ela toma ao longo do tempo. Ao utilizar o sistema proposto para construir uma estrutura de R\$ 1.223.384,73 não se está apenas construindo um único edifício de quase 1.000m², mas sim a possibilidade de múltiplos edifícios, de variados tamanhos, adequados a diferentes funções, mais alinhado ao contexto sócio-econômico atual. E nesse panorama, as estruturas de madeiras são competitivas.

Propõe-se assim, uma comparação analisando um cenário em que em um período de 10 anos, há a necessidade de adaptação ou construção de um novo edifício para abrigar as atividades da Instituição de Ensino Superior. Inicialmente, a estrutura tradicional se mostra vantajosa, pelo custo de construção mais baixo.

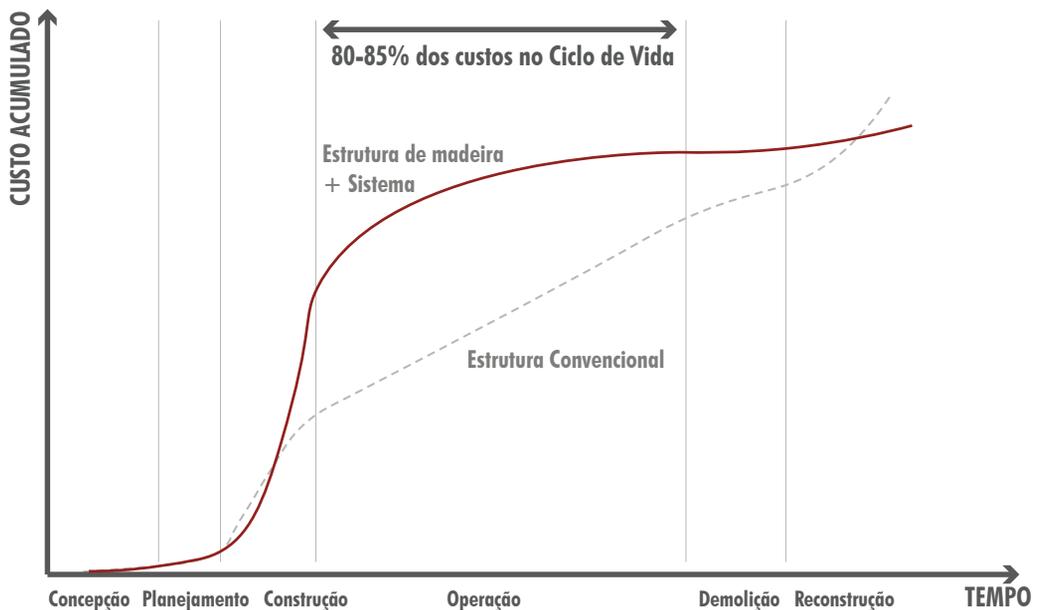
No entanto, ao longo do ciclo de vida, as reduções com os custos operacionais geradas pelo sistema construtivo diminuem a diferença gradualmente. Destaca-se a redução de consumo de energia para resfriamento que as estruturas de madeira agregam. Em análise na plataforma EDGE, o relatório mostrou que há a diminuição de 16.16 MWh/ano, além de 1.6 GJ em energia incorporada nos materiais para a estrutura de Madeira Engenheirada. Isso resulta em um custo operacional mensa U\$ 16.59 mais barato, e payback do sistema de 5.8 anos (EDGE).

No cenário proposto com os módulos fotovoltaicos, após esse tempo, o investimento inicial é pago, e as reduções de custo tornam a operação do edifício mais barato. A vantagem da estrutura de madeira torna-se ainda mais visível no cenário de adaptação ou reconstrução após os 10 anos previstos. Enquanto a utilização de CLT e Glulam resulta na desmontagem e remontagem em outro local ou em outro arranjo, com a estrutura de

alvenaria e concreto, um novo uso requererá ou a construção de um novo edifício, ou reforma do edifício corrente. E é nesse momento, na Análise de Ciclo de Vida de um Edifício, que a estrutura de Madeira torna-se mais vantajosa. E como expresso no início do trabalho, ambientes de Instituições de Ensino Superior tendem a mudar suas demandas com o tempo, e quanto mais novos edifícios ou novas demandas houverem, mais o uso de sistemas construtivos flexíveis, aliado ao poder de adaptação do **Sistema** terá melhor custo benefício.

O gráfico a seguir ilustra o que foi discutido. Esse estudo não pretende ser uma Análise de Custo de Ciclo de Vida de Edifício completa e aprofundada, mas sim uma aproximação de um ponto de vista mais global, que tem sido abordado ao longo do trabalho, e a tentativa de compreender o que envolve a adoção desses sistemas de projeto e construtivos para além dos custos direto e imediatos.

▼ figura 111: gráfico custos ao longo do Ciclo de Vida - CLT x Sistema Tradicional, adaptado; [27]



5.3.1 FLEXIBILIDADE

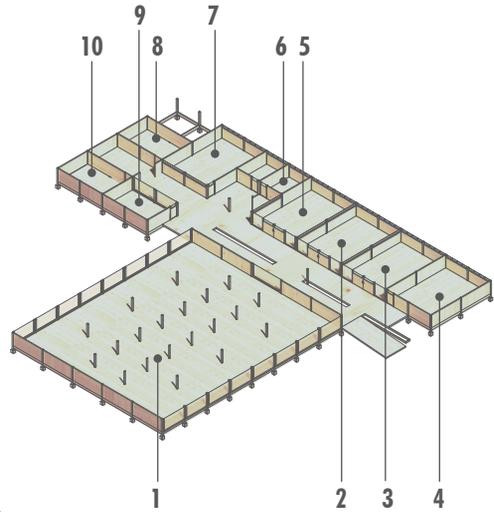
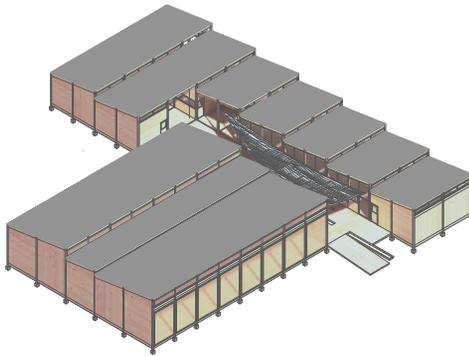
Para testar a flexibilidade do **Sistema**, foram testados cenários de mudança no uso daquele edifício. As propostas foram feitas com base no cenário em que o edifício original do galpão é reformado e as atividades abrigadas pelo projeto retornam ao local original.

As principais consequências diretas disso são tanto a adaptação dos espaços construídos para novos usos, como a desmontagem de espaços, e sua remontagem em outros locais. A proximidade com o CEAR levou a proposição da adequação dos módulos do setor administrativo para salas de aula e laboratório de informática. Já o setor operativo teve a maior parte dos seus espaços desmontados, mas a flexibilidade na construção do **Sistema** permitiu que aqueles módulos, para uso de atividades muito específicas, fossem adaptados para usos mais comuns. No caso, foi proposto um pequeno auditório para 100 pessoas, afim de testar a fusão de módulos e também um centro de atendimento ao visitante, já que o terreno do prédio encontra-se em posição privilegiada no acesso ao CT.

Essa transformação se provou muito prática, pois foi necessário apenas olhar as demandas e condicionantes dos novos usos, e entender quais mudanças no espaço construído isso gera. As principais foram de layout e adequação do envelope, com o acréscimo, retirada e substituição de painéis de vedação, o que é garantido pelo sistema construtivo. As imagens e diagramas a seguir mostram essa adaptação (figura 112)

E na perspectiva de um sistema parametrizável, essa adequação seria ainda mais fácil, já que a simples mudança do parâmetro “uso”, desencadearia todas as adequações citadas de forma automática.

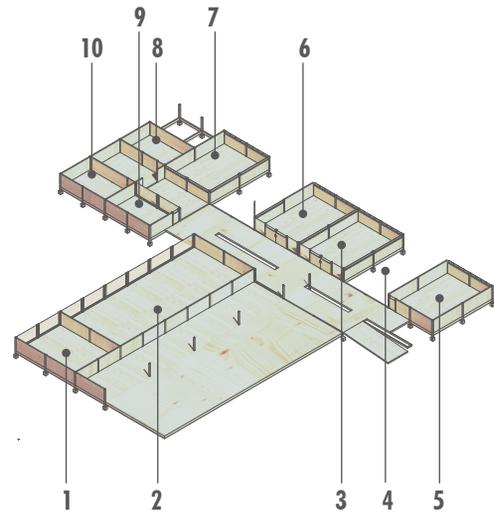
CENÁRIO ATUAL



- 1 - Oficina Mecânica
- 2- Laboratório Baja
- 3- Laboratório Casa Nordeste
- 4- Sala de Aula
- 5- Laboratório Fórmula

- 6- Coordenação
- 7- Técnico-Administrativo
- 8- BWC Masculino
- 9- Armazenamento
- 10- BWC Feminino

CENÁRIO FUTURO



- 1 - Centro de Atendimento ao visitante
- 2- Auditório
- 3- Laboratório de Informática 01
- 4- Ajardinamento
- 5- Sala de Aula

- 6- Laboratório de Informática 02
- 7- Técnico-Administrativo
- 8- BWC Masculino
- 9- Almoxarifado
- 10- BWC Feminino

▲ figura 112: adaptação do projeto ao longo do tempo, seguindo regras do Sistema

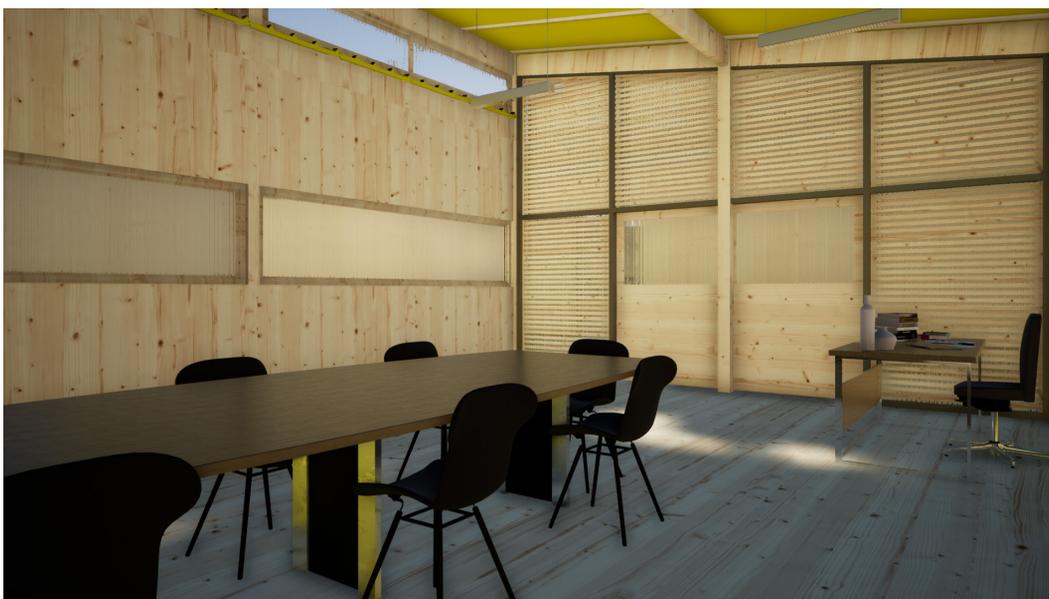


▲ ▼ figuras 113 e 114:
exemplos da flexibilidade de um
ambiente seguindo regras do
Sistema - mesma vista de um
módulo funcional, com ativida-
des diferentes





▲ ▼ figuras 115 e 116:
exemplos da flexibilidade de um
ambiente seguindo regras do
Sistema - mesma vista de um
módulo funcional, com ativida-
des diferentes



5.3.2 DO DIGITAL AO FÍSICO - MAQUETE

A última validação feita foi a da transferência do projeto para a construção, simulando um processo file-to-factory.

Este teste foi feito através de uma maquete em escala 1:30 de parte do edifício. A escolha da escala se deu a partir de uma condicionante do material para a maquete, o mdf de 3mm. Como se desejava a simulação dos processos de fabricação digital o mais aproximado possível do que seria construído, pegou-se um material passível de ser utilizado em processos de fabricação digital, e a partir da sua espessura, em relação ao material real, foi feita a conversão de escala. Como o CLT usado é de 90mm, a escala final foi de 1:30.

Como dito, o mdf é passível de ser utilizado para fabricação digital. Diferente do CLT no entanto, ele é mais adequado ao uso de cortadoras a laser, ao invés de fresadoras CNC. Porém a lógica para as duas é muito semelhante, chapas planas, de espessura variável são cortadas através de um “caminho” dado por um arquivo digital. Logo, a simulação de um processo de fresagem em CNC por uma cortadora a laser é válido na situação.

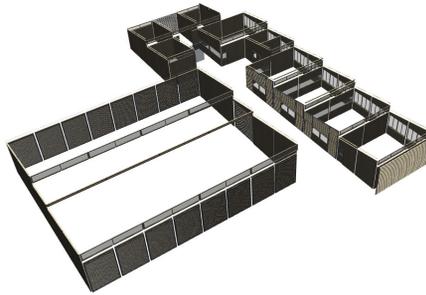
Para a fabricação dos elementos, foram extraídos as informações geométricas do modelo BIM, conversão à escala indicada, e adequação do modelo - já que a escala de corte não permite tantos detalhes como encontrados na escala real. O resultado final são os perfis 2D de paredes, lajes e cobertas, e elementos estruturais. Os perfis são rotulados para facilitar a montagem e exportados para o formato .dxf.

As geometrias geradas são enviadas para a cortadora a laser (figura 117) que corta os perfis nas dimensões dadas. Depois do corte, assim como acontece em sistemas construtivos que utilizam madeira engenheirada, a “construção” do edifício é basicamente um processo de montagem, posicionando e fixando as peças nos locais corretos.

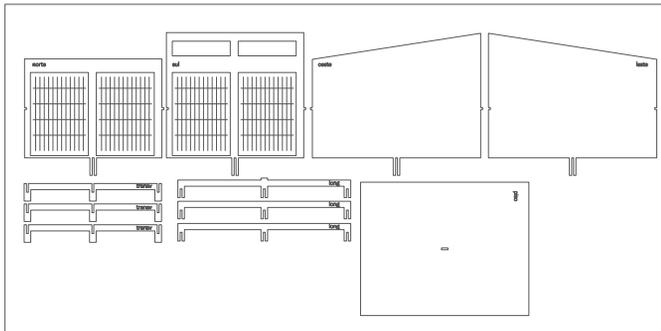
▼ figura 117: cortadora a laser do Laboratório de Modelos e Prototipagem (LM+P) da UFPB, acervo de Flávia Bezerra



O tempo total entre a extração dos desenhos do Modelo BIM e a montagem durou apenas 2 horas somadas. O resultado final atestou o que foi argumentado nos primeiros capítulos do trabalho. A integração entre o modelo BIM e a fabricação do modelo é fluída, e eficiente. O processo completo levou poucos passos, e alguns deles foram demandas da escala de estudo, e na prática não seriam necessários.



◀ figura 118: adaptação do modelo BIM para o modelo de corte



◀ figura 119: peças da maquete rotuladas para montagem



◀ figura 120: foto da maquete montada

6. Considerações Finais

Mais do que uma proposição inédita, esse trabalho foi a formalização e o aprimoramento de um processo pessoal desenvolvido ao longo dos anos na faculdade de arquitetura, potencializado nos últimos anos através da participação na CASA NORDESTE.

Essa formalização foi feita através da sistematização do emprego de tecnologias computacionais em associação com métodos aprendidos ao longo do tempo e resultou no **Sistema** apresentado.

O **Sistema** permitiu clareza na tomada de decisão que levou ao projeto final, e se mostrou eficiente nas respostas geradas, e coerente no processo do projeto. O resultado final foi não só um processo ágil, eficiente, que responde bem aos condicionantes delimitados, mas também um edifício formalmente interessante, dinâmico, com qualidade espacial e técnica. Isso comprovou a liberdade ainda garantida ao projetista, algo extremamente desejado e satisfatório já que um dos receios ao se iniciar a exploração era que a aplicação no projeto ficasse engessada pelo **Sistema**.

A flexibilidade, objetivo geral desse trabalho, foi alcançada através das simulações de cenários hipotéticos assim como sua adequação ao recorte das Instituições de Ensino Superior, provendo a adaptação a diversos usos lá encontrados.

Apesar das respostas satisfatórias aos problemas postos, esse trabalho é visto como uma pesquisa em desenvolvimento. A Arquitetura sempre foi um campo interdisciplinar, que se associa às outras áreas na busca por espaços mais agradáveis, confortáveis e eficientes. A associação aqui feita com as ferramentas computacionais existentes ainda é incipiente e lida com um número restrito de tecnologias.

Essas ferramentas são aprimoradas a cada dia. Inteligências Artificiais, Redes Neurais, Machine Learning, Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Automação de Sistemas, Big Data são alguns dos campos de estudo mais avançados na atualidade e se incorporam cada dia mais ao mundo contemporâneo. Não podemos pensar, portanto, uma arquitetura daqui a 20 anos que não dialogue com esse campo do conhecimento.

Imaginando a expansão do **Sistema** proposto, pode-se pensar a integração com a rede interna das Universidades, de forma que a demanda por módulos funcionais (ambientes para aulas, laboratórios, ambientes administrativos) seja extraída diretamente desses dados, aumentando a eficiência, redução de espaços ociosos etc. O próprio horário das aulas pode ser empregado para otimizar a ocupação das salas e reduzir deslocamentos dos estudantes; sistemas de análise por sensores localizados nas salas, cujos dados são interpretados por algoritmos que sugerem mudanças a partir do **Sistema**, por exemplo, se uma sala construída está recebendo mais radiação do que é o confortável, o algoritmo pode sugerir a troca do elemento de proteção solar do vocabulário por um com um beiral maior, ou a troca de uma esquadria por uma com vidro low-E; as possibilidades são inúmeras só nesse recorte.

O cenário ainda é nebuloso e incerto, e as primeiras aplicações ainda estão sendo testadas, mas algo que é certo é que como o estudo desenvolvido demonstrou, os profissionais de arquitetura tem mais a ganhar ao liderar e propor esse tipo de integração.

7. Referências

- [1] CHERRY, Edith, Programming for design : from theory to practice. John Wiley, New York, 1999.
- [2] MITCHELL, William J., The Logic of Architecture: Design, Competition and Cognition. MIT Press, Cambridge, 1990.
- [3] KOWALTOWSKI, Doris K., O Processo de Projeto em Arquitetura, da Teoria à Tecnologia. Oficina de Textos, São Paulo, 2011.
- [4] MARTINEZ, Alfonso C., Ensaio sobre o Projeto. Editora Universidade de Brasília, Brasília, 2000.
- [5] TEDESCHI, Arturo, Algorithmic Aided Design. Le Penseur, Itália, 2014
- [6] LASI, Heiner; KEMPER, Hans-George. Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, [S. l.], p. 239-242, 19 jun. 2014. Disponível em: <http://www.wirtschaftsinformatik.de> . Acesso em: 12 dez. 2018.
- [7] HOFFMANN, Erik; RUSCH, Mark. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. Computers in Industry, [S. l.], p. 23-34, 22 abr. 2017. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/compind> . Acesso em: 28 mar. 2019.
- [8] KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARANB, Angappa; GAWANKARA, Shradha A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. Process Safety and Environmental Protection, [S. l.], p. 408-425, 9 maio 2018. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/psep> . Acesso em: 28 mar. 2019.
- [9] KLINGENBERG, Cristina Orsolin; ANTUNES JR., José A. V. Industry 4.0: what makes it a revolution?. In: EUROMA 2017, 2017, Edimburgo, Escócia. Paper [...]. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319127784> . Acesso em: 17 abr. 2019.
-

[10] LIAO, Yongxin et al. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315670892> . Acesso em: 15 jul. 2019.

[11] IWAMOTO, L., *Digital fabrications : architectural and material techniques*. Architecture briefs., New York: Princeton Architectural Press, 2009.

[12] PARVIN, Alastair; REEVE, Andy. Scaling the Citizen Sector: A White Paper on the role of digital innovation in tackling the UK housing crisis. *Medium*, [S. l.], p. 1-29, 6 out. 2016. Disponível em: <https://medium.com/@AlastairParvin/scaling-the-citizen-sector-20a20dbb7a4c> . Acesso em: 2 abr. 2019.

[13] CELANI, Gabriela et al. A GRAMÁTICA DA FORMA COMO METODOLOGIA DE ANÁLISE E SÍNTESE EM ARQUITETURA. *Conexão - Comunicação e Cultura*, UCS, Caxias do Sul, 1 dez. 2006. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/conexao/article/view/222> . Acesso em: 18 abr. 2019.

[14] CELANI, Gabriela. *Novas Ferramentas para a Construção do Projeto: design computing*. In: VIII MAU UFPB, 2018. João Pessoa

[15] SPACE MANAGEMENT GROUP. *Impact on space of future changes in higher education*. UK Higher Education Space Management Project, [S. l.], p. 1-22, 1 mar. 2006.

[16] CARL, Hwei Sheng Yu. *Parametric Architecture : Performative/Responsive assembly components*. 2009. Master of Science in Architecture Studies (Department of Architecture) - Massachusetts Institute of Technology, [S. l.], 2009.

[17] SASS, Lawrence; BOTHA, Marcel. *The Instant House: A Model of Design Production with Digital Fabrication*. *International Journal of Architectural Computing*, [S. l.], 1 dez. 2006. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1260/147807706779399015> . Acesso em: 29 abr. 2019.

[18] DA SILVEIRA, Giovani; BORENSTEIN, Denis; FOGLIATTO, Flavio S. Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal Production Economics*, [S. l.], ed. 72, p. 1-13, 23 maio 2000.

[19] INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. Sinopse Estatística da Educação Superior 2017. Brasília: Inep, 2018. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/sinopses-estatisticas-da-educacao-superior>. Acesso em: 20 ago. 2019

[20] DE QUEIROZ NOME, N.; CARVALHO, J.; VAZ, C.; NOME, C. Pared cinética: Una fachada humana y ambientalmente responsiva. Un enfoque de educación en arquitectura. *Arquitecturas del Sur*, v. 36, n. 54, p. 58-69, 31 dez. 2018.

[21] BARBOSA, Mirella de Souza. *Arquitetura Flexível: um desafio para uma melhor qualidade habitacional*. Orientador: Carlos Alejandro Nome. 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós em Arquitetura e Urbanismo - UFPB, João Pessoa - PB, 2016.

[22] SIMPSON STRONG-TIE. HIGH WIND-RESISTANT CONSTRUCTION APPLICATION GUIDE. [S. l.]: Simpson Strong-Tie Company, 2016. 80 p.

[23] NOME, Carlos Alejandro; QUEIROZ, Natália. BIM: Processo e Integração no Ateliê de Projeto Arquitetônico. III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo arquitetura, cidade e projeto: uma construção coletiva, São Paulo, p. 1-15, 2014. II Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2014, São Paulo.

[24] REBELLO, Yopanam. *A Concepção Estrutural e a Arquitetura*. São Paulo: Zigurate Editora, 2000. 272 p.

[25] DA COSTA, Ana Alexandre Pontes. CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS COM CROSS LAMINATED TIMBER (CLT). Orientador: José Manuel Marques Amorim de A. Faria. 2013. 129 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

[26] STORA ENSO WOODPRODUCTS. Stora Enso Wood Products Building Solutions. [S. l.]: Stora Enso, 2015. 325 p.

[27] KOVACIC, Iva; ZOLLER, Veronika. Building life cycle optimization tools for early design phases. Energy, [S. l.], p. 1-11, 2015. Disponível em: www.elsevier.com/locate/energy. Acesso em: 12 jul. 2019.

[28] BARROW, Larry; AL ARAYEDH, Shaima; KUMAR, Shilpi. Performance House 1: A CAD/CAM Modular House System. ACADIA 2006: Synthetic Landscapes Digital Exchange: Digital Making: Pliant Spaces, [S. l.], p. 104-121, 2016.

[29] GRIZ, Cristiana et al. Reformar ou não reformar? Análise da influência da forma na customização de projetos de apartamentos. Sigradi 2015: Generative Systems, [S. l.], p. 677-685, 2015.

[30] GRIZ, Cristiana; NOME, Carlos; QUEIROZ, Natália. Edificação Modular: Estudo de caso e protótipo de um sistema construtivo de código aberto utilizando prototipagem rápida. Sigradi 2017, Concepcion, Chile, p. 1-8, 2017. SIGraDi 2017, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital.

[31] OLIVIERI, Hilton et al. A utilização de novos sistemas construtivos para a redução no uso de insumos nos canteiros de obras: Light Steel Framing. Ambiente Construído, Porto Alegre, Brasil, v. 17, n. 4, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S-1678-86212017000400045#B31. Acesso em: 10 jul. 2019.

- [32] CHICAGO ARCHITECTURE BIENNIAL, 2015, Chicago, Illinois. The State of the Art of Architecture [...]. Chicago, EUA: Chicago Architecture Biennial, 2015. 174 p.
- [33] DIAS, Alan. Como a madeira vai se transformar no principal material de construção de edifícios de múltiplos andares. 1. ed. São Paulo: Carpinteria, 2018. 176 p.
- [34] Templo Expiatório da Sagrada Família. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Templo_Expiat%C3%ADria>. Acesso em: 06 de set. de 2019.
- [35] <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SagradaFamiliaStatikmodell.jpg>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.
- [36] <<https://www.dw.com/en/designer-of-the-munich-olympic-stadium-german-architect-frei-otto-dies-aged-89/a-18306754>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.
- [37] <<https://www.archdaily.com.br/br/tag/frei-otto>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.
- [38] <<https://www.archdaily.com.br/br/919414/arquitetura-sem-arquitetos-algoritmo-propoe-plantas-internas-automaticamente>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.
- [39] <<http://www.irarquitectura.com/cabin-modules-hello-wood-hungria>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.
- [40] <<https://www.archdaily.com.br/br/883074/mvrdv-projeta-hotel-colorido-em-forma-de-tetris-para-a-dutch-design-week-2017>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.
- [41] <<https://www.archdaily.com.br/br/01-36195/classicos-da-arquitetura-nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.
-

[42] <<https://www.archdaily.com.br/br/756227/mercado-central-abu-dhabi-foster-plus-partners>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[43] <<https://www.archdaily.com.br/br/01-93779/as-torres-al-bahar-e-sua-fachada-sensivel-por-aed-as-architects>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[44] <<http://facit-homes.com/>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[45] <<https://www.wikihouse.cc/Projects>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[46] <<http://www.industria40.gov.br/>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[47] <<https://kiwi3d.co.nz/tag/rapid-prototyping/>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[48] <<https://www.edgebuildings.com/>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[49] <<http://cc.woodworks.org/>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[50] <<https://www.axyz.com/us/2016/01/13/purchasing-cnc-router-10-pitfalls-avoid/>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[51] <<https://makezine.com/2019/03/04/a-deep-dive-into-laser-cutter-speed-and-power/>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[52] <<https://www.makerbot.com>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[53] <https://tensegritywiki.com/wiki/Prairie_House_by_Orambra>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[54] <<https://www.flickr.com/photos/39527581@N07/4857726346>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[55] <<https://www.archute.com/the-walt-disney-concert-hall-frank-gherys-curvaceous-stainless-steel-in-los-angeles/>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[56] <https://www.archdaily.com/774141/omas-fifteen-best-unbuilt-skyscrapers?ad_medium=gallery>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[57] <<https://www.archdaily.com.br/br/01-155919/de-rotterdam-slash-oma/528fae37e8e44ece-5800020d-de-rotterdam-oma-model-south-east>>. Acesso em: 06 de set. de 2019.

[58] ROSE, Colin M et al. Cross-Laminated Secondary Timber:: Experimental Testing and Modelling the Effect of Defects and Reduced Feedstock Properties. *Sustainability*, [S. l.], ano 10, p. 1-20, 2018. Disponível em: <http://www.mdpi.com/journal/sustainability>. Acesso em: 13 abr. 2019.

[59] CASA NORDESTE (Brasil, Paraíba, João Pessoa). Project Manual - Casa Nordeste. [S. l.: s. n.], 2019. 259 p. v. 03. pdf.

[60] MCKINSEY & COMPANY. Imagining Construction's Digital Future. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-construction-digital-future>. Acesso em: 3 mar. 2019.

[61] [60] <<https://www.danieldavis.com/macleamy/>>. Acesso em: 20 de ago. de 2019.

**ACESSE AS IMAGENS E DESENHOS
TÉCNICOS EM ALTA QUALIDADE**



NAVEGUE PELO MODELO 3D



OU BAIXE ESSE ARQUIVO EM PDF



8. Apêndice

8.1 Cálculo do Orçamento Comparativo: Sistema Construtivo Tradicional x Sistema Construtivo Proposto

159

MADEIRA			ALVENARIA E CONCRETO		
	ÁREA	VOLUME		ÁREA	VOLUME
PILARES		9.1155	PILARES		15.54
VIGAS		34.7324	VIGAS		60.72
PAREDES	658.27	94.7178	PAREDES	727.63	136.53
LAJE	1034.39	155.1585	LAJE	1034.39	206.88

CONCRETAGEM VIGAS E LAJES DE CONCRETO POR M3				PREÇO POR INSUMO	QUANTIDADE PRO PROJETO	PREÇO DO INSUMO
C	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	3.5710	17.2	955.59 R\$ 16,436.17
C	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	8.4070	13.83	2249.69 R\$ 31,113.27
C	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1.1900	17.05	318.44 R\$ 5,429.42
I	34492	BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM,	M3	1.1030	279.42	295.16 R\$ 82,473.68
C	90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0.6150	1.43	164.57 R\$ 235.34
C	90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0.5750	0.29	153.87 R\$ 44.62

01.FUES.FOCA .015/01	92414	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES COM ÁREA MÉDIA DAS SEÇÕES MENOR OU IGUAL A 0,25 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 2 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2		Fôrmas para Estruturas de Concreto Armado		
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0.01	7.41	3.14	R\$ 23.28
INSUMO	40271	LOCAÇÃO DE APRUMADOR METALICO DE PILAR, COM ALTURA E ANGULO REGULAVEIS, EXTENSAO DE *1,50* A *2,80* M	MES	0.20	2.92	61.58	R\$ 179.82
INSUMO	40275	LOCAÇÃO DE VIGA SANDUICHE METALICA VAZADA PARA TRAVAMENTO DE PILARES, ALTURA DE *8* CM, LARGURA DE *6* CM E EXTENSAO DE 2 M	MES	0.39	4.50	123.48	R\$ 555.64
INSUMO	40287	LOCAÇÃO DE BARRA DE ANCORAGEM DE 0,80 A 1,20 M DE EXTENSAO, COM ROSCA DE 5/8", INCLUINDO FORÇA E FLANGE	MES	0.79	1.12	246.64	R\$ 276.23
INSUMO	40304	PREGO DE AÇO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	0.02	16.04	5.97	R\$ 95.75
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.27	14.14	85.14	R\$ 1,203.95
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1.48	17.05	464.37	R\$ 7,917.51
COMPOSICAO	92263	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA PILARES E ESTRUTURAS SIMILARES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0.53	101.79	164.95	R\$ 16,790.13

COMPOSICAO	92263	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA PILARES E ESTRUTURAS SIMILARES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF 12/2015	M2	0.53	101.79	164.95	R\$	16,790.13
1.FUES.FOCA .058/01	92451	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO COM GARFO DE MADEIRA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 2 UTILIZAÇÕES. AF 12/2015	M2		Fôrmas para Estruturas de Concreto Armado			
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0.01	7.41	7.73	R\$	57.27
INSUMO	6193	TABUA DE MADEIRA NAO APARELHADA *2,5 X 20* CM, CEDRINHO OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	0.47	8.33	366.36	R\$	3,051.81
INSUMO	40304	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	0.05	16.04	37.87	R\$	607.48
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.21	14.14	158.45	R\$	2,240.46
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1.12	17.05	865.67	R\$	14,759.68
COMPOSICAO	92265	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA VIGAS, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF 12/2015	M2	0.62	77.09	479.98	R\$	37,001.91
COMPOSICAO	92272	FABRICAÇÃO DE ESCORAS DE VIGA DO TIPO GARFO, EM MADEIRA. AF 12/2015	M	1.82	22.44	1403.62	R\$	31,497.29
1.FUES.FOCA .145/01	92509	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 2 UTILIZAÇÕES. AF 12/2015	M2		Fôrmas para Estruturas de Concreto Armado			
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0.01	7.41	10.34	R\$	76.65
INSUMO	10749	LOCCAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGf (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0.28	2.06	287.56	R\$	592.37
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0.02	43.50	21.72	R\$	944.92
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.14	14.14	145.85	R\$	2,062.30
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.77	17.05	793.38	R\$	13,527.08
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF 12/2015	M2	0.58	29.15	596.84	R\$	17,397.97
1.FUES.ARM .017/01	92775	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO TÊRREA OU SOBRADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	KG		Armação para Estruturas de Concreto Armado			
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0.03	12.00	133.46	R\$	1,601.47
INSUMO	39017	ESPAÇADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	1.19	0.15	6352.49	R\$	952.87
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.04	12.90	195.91	R\$	2,527.28
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.22	17.09	1198.43	R\$	20,481.21
COMPOSICAO	92791	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF 12/2015	KG	1.00	6.22	5338.23	R\$	33,203.78
01.FUES.ARM .026/01	92784	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO TÊRREA OU SOBRADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF 12/2015	KG		Armação para Estruturas de Concreto Armado			
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0.03	12.00	362.04	R\$	4,344.44
INSUMO	39017	ESPAÇADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	2.12	0.15	30671.73	R\$	4,600.76
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.03	12.90	366.38	R\$	4,726.31
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.15	17.09	2240.28	R\$	38,286.42
COMPOSICAO	92800	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF 12/2015	KG	1.00	5.87	14481.46	R\$	85,006.17

CONCRETAGEM PILAR CONCRETO POR M3

C	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1.8460	17.2	28.69	R\$	493.44
						86.06	R\$	1,190.27
C	88316	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	5.5380	13.83	28.69	R\$	489.13
C	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1.8460	17.05			
I	34493	BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM M3		1.1030	279.42	17.14	R\$	4,789.65
C	90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015		0.6720	1.43	10.44	R\$	14.93
C	90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015		1.1740	0.29	18.24	R\$	5.29
01.PARE.ALVE	87509	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA HORIZONTAL DE 14X9X19CM (ESPESSURA 14CM, BLOCO DEITADO) DE PAREDES COM ÁREA LÍQUIDA MAIOR OU IGUAL A 6M² SEM VÃOS E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA. AF_06/2014	M2					
INSUMO	7267	BLOCO CERAMICO (ALVENARIA VEDACAO), 6 FUROS, DE 9 X 14 X 19 CM	UN	55.8500		40638.14	R\$	10,972.30
INSUMO	34547	TELA DE ACO SOLDADA GALVANIZADA/ZINCADA PARA ALVENARIA, FIO D = *1,20 A 1,70* MM, MALHA 15 X 15 MM, (C X L) *50 X 12* CM	M	0.8050	2.20	585.74	R\$	1,288.63
INSUMO	37395	PINO DE ACO COM FURO, HASTE = 27 MM (AÇAO DIRETA)	CENTO	0.0193	26.57	14.04	R\$	373.13
COMPOSICAO	87292	ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA MÉDIA) PARA EMBOÇO/MASSA ÚNICA/ASSENTAMENTO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_06/2014	M3	0.0135	364.32			
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2.3430	17.20	9.82	R\$	3,578.72
COMPOSICAO	88316	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1.1720	13.83	1704.84	R\$	29,323.20
						852.78	R\$	11,793.98
						0.00		
01.REVE.CHAP	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA (COM PRESEÇA DE VÃOS) E ESTRUTURAS DE CONCRETO DE FACHADA, COM COLHER DE PEDREIRO. ARGAMASSA TRAÇO 1:3 COM PREPARO EM BETONEIRA 400L. AF_06/2014	M2					
COMPOSICAO	87313	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA GROSSA) PARA CHAPISCO CONVENCIONAL, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_06/2014	M3	0.0042	307.91	6.11	R\$	1,881.97
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.1830	17.20	266.31	R\$	4,580.58
COMPOSICAO	88316	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.0910	13.83	132.43	R\$	1,831.49
01.REVE.EMBO	87777	EMBOÇO OU MASSA ÚNICA EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8, PREPARO MANUAL, APLICADA MANUALMENTE EM PAINOS DE FACHADA COM PRESEÇA DE VÃOS, ESPESSURA DE 25 MM. AF_06/2014	M2					
INSUMO	37411	TELA DE ACO SOLDADA GALVANIZADA/ZINCADA PARA ALVENARIA, FIO D = *1,24 MM, MALHA 25 X 25 MM	M2	0.1388	10.77	201.99	R\$	2,175.43
COMPOSICAO	87369	ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA MÉDIA) PARA EMBOÇO/MASSA ÚNICA/ASSENTAMENTO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO, PREPARO MANUAL. AF_06/2014	M3	0.0314	452.88	45.70	R\$	20,694.43
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.7800	17.20	1135.10	R\$	19,523.77
COMPOSICAO	88316	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.7800	13.83	1135.10	R\$	15,698.47
01.PINT.INTE	88487	APLICAÇÃO MANUAL DE PINTURA COM TINTA LÁTEX PVA EM PAREDES, DUAS DEMÃOS. AF_06/2014	M2					
INSUMO	7345	TINTA LATEX PVA PREMIUM, COR BRANCA	L	0.3300	19.16	480.24	R\$	9,201.32
COMPOSICAO	88310	PINTOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.1300	18.47	189.18	R\$	3,494.22
COMPOSICAO	88316	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0.0480	13.83	69.85	R\$	966.06

TOTAL R\$ 626,683.14

preço clt m3 c/ mao de obra - fonte: crosslam	R\$	4,000.00
preço mlc m3 c/ mao de obra fonte: brasil.geradordepre co	R\$	5,105.00
preço parede clt	R\$	378,871.20
preço laje clt	R\$	620,634.00
preço viga mlc	R\$	177,308.90
preço pilar mlc	R\$	46,534.63
TOTAL	R\$	1,223,348.73

8.2 Matriz Atividades x Condicionantes

ATIVIDADE	POPULAÇÃO	HORAS POR DIA	ÁREA MÍNIMA DEMANDADA	QNTD LUZ NATURAL	VENTILAÇÃO NATURAL	ISOLAMENTO ACÚSTICO
MONTAGEM BAIXA	20	7 AS 18	ESPAÇO DO CARRO + MONTAGEM PARALELA EM BANCADAS SUJAS	ALTA		ALTO
MONTAGEM CASA NORDESTE	15	7 AS 18	ESPAÇO DA CASA + MONTAGEM PARALELA EM BANCADAS SUJAS	ALTA		ALTO
MONTAGEM FÓRMULA	20	7 AS 18	ESPAÇO DO CARRO + MONTAGEM PARALELA EM BANCADAS SUJAS	ALTA		ALTO
PROJETO FÓRMULA	10	7 AS 18	ÁREA PARA TRABALHO EM COMPUTADORES + BANCADAS LIMPAS	NORMAL		NORMAL
PROJETO CASA NORDESTE	12	7 AS 18	ÁREA PARA TRABALHO EM COMPUTADORES + BANCADAS LIMPAS	NORMAL		NORMAL
PROJETO BAIXA	15	3H	ÁREA PARA REUNIÃO DE 20 + PESSOAS	NORMAL		NORMAL
REUNIÃO CASA	15	2H	ÁREA PARA REUNIÃO DE 20 + PESSOAS	NORMAL		NORMAL
REUNIÃO FÓRMULA	15	2H	ÁREA PARA REUNIÃO DE 20 + PESSOAS	NORMAL		NORMAL
USO DE MÁQUINAS						
TORNOS (x4)	4	2h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
SERRA CIRCULAR	2	2h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
PLAINA	2	2h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
ELTROEROSÃO (x3)	2	8h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
LASER	3	4h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
ROUTER (x2)	4	4h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
SOLDA	4	2h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
FRESADORA (x2)	4	2h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
FURADEIRA DE COLUNA	2	2h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
FIDADORA DE LÂMINA	2	2h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
FIADORA DE FERRAMENTA	2	2h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
RETÍFICA PLANA	2	2h	MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO
ARMAZENAMENTO						
FERRAMENTAS	-		ESPAÇO PARA ARMAZENAMENTO DE PEQUENAS FERRAMENTAS	BAIXA		BAIXO
MATERIAS	-		ESPAÇO PARA ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS DE GRANDES DIMENSÕES	BAIXA		BAIXO
EPIS	-		ESPAÇO PARA ARMAZENAMENTO DE PEQUENAS FERRAMENTAS	BAIXA		BAIXO
COORDENAÇÃO LABORATÓRIO	1		ÁREA PARA TRABALHO	NORMAL		NORMAL
TRABALHO PROFESSOR	2		ÁREA PARA TRABALHO	NORMAL		NORMAL
TRABALHO TÉCNICOS DO LABORATÓRIO	7	7 as 18	ÁREA PARA TRABALHO	NORMAL		NORMAL
SERVIÇOS						
BANHEIROS	-				ALTA	NORMAL
MANUTENÇÃO TÉCNICA	-		ÁREA PARA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS TÉCNICOS	BAIXA		ALTO
AULAS TEÓRICAS	25	4h dia (ter e qua)	ESPAÇO DE AULA PARA 25 PESSOAS	NORMAL		ALTO
AULAS PRÁTICAS	4h dia (ter e qua)		MÁQUINA + OFFSET DE 1M DE SEGURANÇA	ALTA		ALTO

ATIVIDADE	ISOLAMENTO TÉRMICO	CONDICIONAMENTO	TIPO DE ILUMINAÇÃO PREFERÍVEL	QNTD LUZ ARTIFICIAL	EQUIPAMENTOS PESADOS	EXAUSTÃO
MONTAGEM BAIA	NÃO	NÃO	DIFUSA	500-1000 LUX	SIM	-
MONTAGEM CASA NORDESTE	NÃO	NÃO	DIFUSA	500-1000 LUX	SIM	-
MONTAGEM FÓRMULA	NÃO	NÃO	DIFUSA	500-1000 LUX	SIM	-
PROJETO FÓRMULA	NÃO	NÃO	DIRETA	500 LUX	NÃO	-
PROJETO CASA NORDESTE	BOM	BOM	DIRETA	500 LUX	NÃO	-
PROJETO BAIA	BOM	BOM	DIRETA	500 LUX	NÃO	-
REUNIÃO CASA	BOM	BOM	DIRETA	500 LUX	NÃO	-
REUNIÃO FÓRMULA	BOM	BOM	DIRETA	500 LUX	NÃO	-
USO DE MÁQUINAS						
TORNOS (x4)	NÃO	NÃO	DIFUSA	500 LUX	SIM	NÃO
SERRA CIRCULAR	NÃO	NÃO	DIFUSA	500 LUX	SIM	NÃO
PLANA	NÃO	NÃO	DIFUSA	500 LUX	SIM	NÃO
ELTROERÇÃO (x3)	OBRIGATÓRIO	OBRIGATÓRIO	DIFUSA	500 LUX	SIM	SIM
LASER	BOM	BOM	DIFUSA	500 LUX	SIM	SIM
ROUTER (x2)	NÃO	NÃO	DIFUSA	500 LUX	SIM	SIM
SOLDA	NÃO	NÃO	DIFUSA	500 LUX	SIM	SIM
FRESADORA (x2)	BOM	BOM	DIFUSA	500 LUX	SIM	SIM
FURADEIRA DE COLUNA	NÃO	NÃO	DIFUSA	500 LUX	SIM	SIM
FIDAORA DE LÂMINA	NÃO	NÃO	DIFUSA	500 LUX	SIM	SIM
FIADORA DE FERRAMENTA	NÃO	NÃO	DIFUSA	500 LUX	SIM	SIM
RETIFICA PLANA	NÃO	NÃO	DIFUSA	500 LUX	SIM	SIM
ARMAZENAMENTO						
FERRAMENTAS	NÃO	NÃO	DIRETA	100 LUX	NÃO	-
MATERIAIS	OBRIGATÓRIO	OBRIGATÓRIO	DIRETA	50 LUX	NÃO	-
EPIS	NÃO	NÃO	DIRETA	100 LUX	NÃO	-
COORDENAÇÃO LABORATÓRIO	BOM	BOM	DIRETA	300 LUX	NÃO	-
TRABALHO PROFESSOR	BOM	BOM	DIRETA	300 LUX	NÃO	-
TRABALHO TÉCNICOS DO LABORATÓRIO	BOM	BOM	DIRETA	300 LUX	NÃO	-
SERVIÇOS						
BANHEIROS	NÃO	NÃO	DIRETA	200 LUX	NÃO	-
MANUTENÇÃO TÉCNICA	OBRIGATÓRIO	OBRIGATÓRIO	DIRETA	200 LUX	SIM	SIM
ÁULAS TEÓRICAS	BOM	BOM	DIRETA	300 LUX	NÃO	-
ÁULAS PRÁTICAS	NÃO	NÃO	DIFUSA	500 LUX	SIM	SIM

ATIVIDADE	COMPRESSÃO	DEMANDA ELÉTRICA	CONECTIVIDADE E VISUAL	PRIVACIDADE	INSTALAÇÃO HIDRÁULICA	NÍVEL ARMAZENAMENTO	ACESSO
MONTAGEM BAIXA			ALTA	BAIXA	ESGOTO INDUSTRIAL	MÉDIO	AMPLO
MONTAGEM CASA NORDESTE			ALTA	BAIXA	ESGOTO NORMAL	MÉDIO	AMPLO
MONTAGEM FÓRMULA			ALTA	BAIXA	ESGOTO INDUSTRIAL	MÉDIO	AMPLO
PROJETO FÓRMULA			ALTA	MÉDIA	NÃO	BAIXO	NORMAL
PROJETO CASA NORDESTE			ALTA	MÉDIA	NÃO	BAIXO	NORMAL
PROJETO BAIXA			ALTA	MÉDIA	NÃO	BAIXO	NORMAL
REUNIÃO CASA			ALTA	MÉDIA	NÃO	NENHUM	NORMAL
REUNIÃO FÓRMULA			ALTA	MÉDIA	NÃO	NENHUM	NORMAL
USO DE MÁQUINAS							
TORNOS (x4)			ALTA	BAIXA	NÃO	NENHUM	AMPLO
SERRA CIRCULAR			ALTA	BAIXA	NÃO	NENHUM	AMPLO
PLAINA			ALTA	BAIXA	NÃO	NENHUM	AMPLO
ELTROSIÃO (x3)			ALTA	BAIXA	ESGOTO INDUSTRIAL	NENHUM	AMPLO
LASER			ALTA	BAIXA	CHILLER	NENHUM	AMPLO
ROUTER (x2)			ALTA	BAIXA	NÃO	NENHUM	AMPLO
SOLDA			ALTA	BAIXA	NÃO	NENHUM	AMPLO
FRESADORA (x2)			ALTA	BAIXA	NÃO	NENHUM	AMPLO
FURADEIRA DE COLUNA			ALTA	BAIXA	NÃO	NENHUM	AMPLO
FIDRORA DE LÂMINA			ALTA	BAIXA	NÃO	NENHUM	AMPLO
FIADORA DE FERRAMENTA			ALTA	BAIXA	NÃO	NENHUM	AMPLO
RETÍFICA PLANA			ALTA	BAIXA	NÃO	NENHUM	AMPLO
ARMAZENAMENTO							
FERRAMENTAS			NORMAL	MÉDIA	NÃO	ALTO	NORMAL
MATERIAS			NORMAL	MÉDIA	NÃO	ALTO	AMPLO
EPIS			NORMAL	MÉDIA	NÃO	ALTO	NORMAL
COORDENAÇÃO LABORATÓRIO			ALTA	ALTA	NÃO	BAIXO	NORMAL
TRABALHO PROFESSOR			NORMAL	ALTA	NÃO	BAIXO	NORMAL
TRABALHO TÉCNICOS DO LABORATÓRIO			ALTA	MÉDIA	NÃO	BAIXO	NORMAL
SERVIÇOS							
BANHEIROS			BAIXA	ALTA	ESGOTO NORMAL E ENTRADA DE ÁGUA	BAIXO	NORMAL
MANUTENÇÃO TÉCNICA			BAIXA	MÉDIA	ESGOTO NORMAL E ENTRADA DE ÁGUA	BAIXO	RESTRITO
AULAS TEÓRICAS			BAIXA	ALTA	NÃO	BAIXO	NORMAL
AULAS PRÁTICAS			ALTA	BAIXA	ESGOTO INDUSTRIAL	NENHUM	AMPLO

ATIVIDADE	REFORÇO ESTRUTURAL	TIPO DE RESÍDUO	QTD DE RESÍDUO
MONTAGEM BAIA	SIM	METAL, ÓLEO, LIXO NORMAL	ALTA
MONTAGEM CASA NORDESTE	SIM	MADEIRA, LIXO NORMAL	ALTA
MONTAGEM FÓRMULA	SIM	METAL, ÓLEO, LIXO NORMAL	ALTA
PROJETO FÓRMULA	NÃO	LIXO NORMAL	BAIXA
PROJETO CASA NORDESTE	NÃO	LIXO NORMAL	BAIXA
PROJETO BAIA	NÃO	LIXO NORMAL	BAIXA
REUNIÃO CASA	NÃO	LIXO NORMAL	BAIXA
REUNIÃO FÓRMULA	NÃO	LIXO NORMAL	BAIXA
USO DE MÁQUINAS			
TORNOS (x4)	SIM	METAL	ALTA
SERRA CIRCULAR	NÃO	METAL, MADEIRA	ALTA
PLAINA	SIM	ALTA	ALTA
ELTROEROSÃO (x3)	SIM	ALTA	ALTA
LASER	NÃO	MADEIRA, PLÁSTICO, PAPEL	ALTA
ROUTER (x2)	SIM	METAL, MADEIRA	ALTA
SOLDA	NÃO	ALTA	ALTA
FRESADORA (x2)	SIM	METAL, MADEIRA	ALTA
FURADEIRA DE COLUNA	NÃO	METAL, MADEIRA	ALTA
FIDAOIRA DE LÂMINA	SIM	ALTA	ALTA
FIADORA DE FERRAMENTA	SIM	ALTA	ALTA
RETIFICA PLANA	SIM	ALTA	ALTA
ARMAZENAMENTO			
FERRAMENTAS	NÃO	-	-
MATERIAIS	NÃO	-	-
EPIS	NÃO	-	-
COORDENAÇÃO LABORATORIO	NÃO	LIXO NORMAL	BAIXA
TRABALHO PROFESSOR	NÃO	LIXO NORMAL	BAIXA
TRABALHO TÉCNICOS DO LABORATORIO	NÃO	LIXO NORMAL	BAIXA
SERVIÇOS			
BANHEIROS	NÃO	LIXO BANHEIRO	ALTA
MANUTENÇÃO TÉCNICA	NÃO	METAL, MADEIRA, FIAÇÃO ETC.	MEDIA
AULAS TEÓRICAS	NÃO	LIXO NORMAL	BAIXA
AULAS PRÁTICAS	SIM	METAL, MADEIRA	ALTA