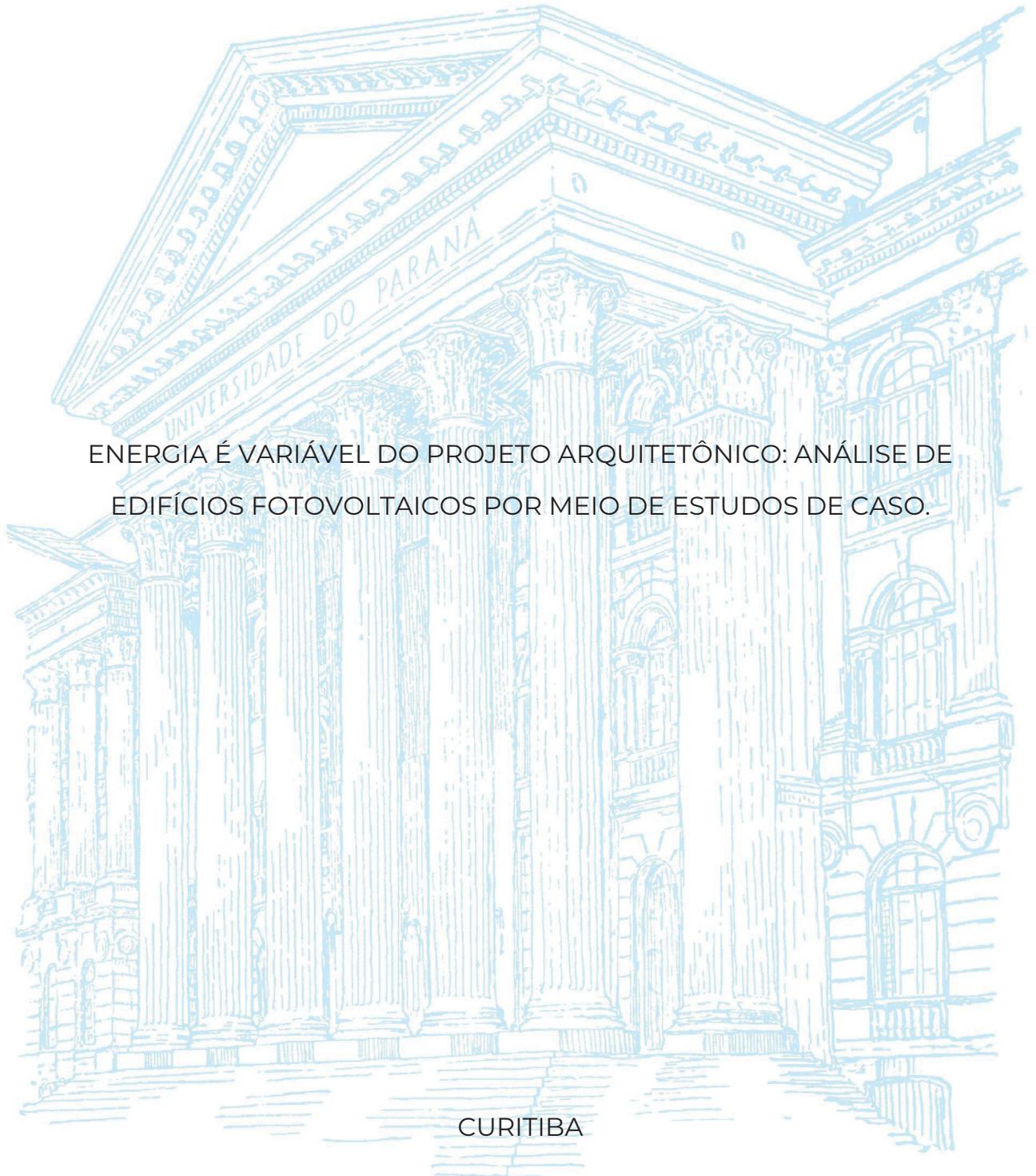


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SOFIA HINCKEL DIAS

ENERGIA É VARIÁVEL DO PROJETO ARQUITETÔNICO: ANÁLISE DE
EDIFÍCIOS FOTOVOLTAICOS POR MEIO DE ESTUDOS DE CASO.



CURITIBA

2020

SOFIA HINCKEL DIAS

ENERGIA É VARIÁVEL DO PROJETO ARQUITETÔNICO: ANÁLISE DE
EDIFÍCIOS FOTOVOLTAICOS POR MEIO DE ESTUDOS DE CASO.

Dissertação apresentada como requisito à
obtenção do grau de Mestre em Design, no
Programa de Pós-Graduação em Design,
Setor de Artes, Comunicação e Design, da
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Aloísio L. Schmid

CURITIBA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR –
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS HUMANAS COM OS DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Fernanda Emanoéla Nogueira – CRB 9/1607

Dias, Sofia Hinckel

Energia é variável do projeto arquitetônico : análise de edifícios
fotovoltaicos por meio de estudos de caso. / Sofia Hinckel Dias. – Curitiba,
2020.

Dissertação (Mestrado em Design) – Setor de Artes, Comunicação e
Design da Universidade Federal do Paraná.

Orientador : Prof. Dr. Aloísio L. Schmid

1. Sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios. 2. Geração de energia
fotovoltaica. 3. Edifícios sustentáveis. 4. Método de estudo de casos.
I. Schmid, Aloísio Leoni, 1968-. II. Título.

CDD – 621.31244



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em DESIGN da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **SOFIA HINCKEL DIAS** intitulada: **ENERGIA É VARIÁVEL DO PROJETO ARQUITETÔNICO: ANÁLISE DE EDIFÍCIOS FOTOVOLTAICOS, POR MEIO DE ESTUDOS DE CASO**, sob orientação do Prof. Dr. ALOÍSIO LEONI SCHMID, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 01 de Setembro de 2020.

Assinatura Eletrônica

18/11/2020 15:34:39.0

ALOÍSIO LEONI SCHMID

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

18/11/2020 15:27:30.0

MARINA MILLANI OBA

Avaliador Externo (null)

Assinatura Eletrônica

18/11/2020 17:24:58.0

STEPHANIA PADOVANI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não seria possível sem a contribuição de vários indivíduos: Professor Aloísio Schmid, um brilhante mentor. Professora Stephania Padovani e Professora Marina Oba, por lerem meus rascunhos e ajudarem com *feedback* crítico, além das pesquisadoras Flávia Silveira e Thallita de Souza que tiveram participação com fotografias e desenhos. Também sou grata a todos os profissionais que gentilmente abriram seus escritórios para compartilhar informações de valor inestimável: Lucimara Stolz Roman, José Mario Moraes e Silva, Heiko Weissbach, Kilian Kada, Nicole Richter, Udo Carmann, Martin Rösler, Tobias Wagner, Stefan Holst, Florian Edler von Hayek, Norbert Pfanner, Helen Rose Wilson, Gunter Grandjean, Alexander Koller, Linus Walker, René Schmid, Fabio Padula, Daniel Ladner, Georgina Schneller, Sascha Bader, Francesco Frontini, Pierluigi Bonomo, Erika Saretta, Paolo Corti e Marco Corda. Uma vez que esses colaboradores aparecem identificados no texto, seria redundante relacioná-los; ainda assim quero manifestar minha gratidão formal. Vocês transformaram a pesquisa em algo muito mais interessante, surpreendente e divertido!

E, acima de tudo, agradeço à minha adorável família José, Sara, Nicholas, Pesto e amigos que me apoiaram nos extensos dias de trabalho. Nada seria possível sem vocês.

Esta pesquisa foi viabilizada por meio de financiamento do programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico Companhia Paranaense de Energia - COPEL, projeto PD 2866-0470/2017, regulamentado pela ANEEL. Com valioso suporte de Gustavo Henrique da Costa Oliveira e André Pedretti.

RESUMO

Edifícios *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), em português, edifícios fotovoltaicos, têm o potencial de, a partir de elementos multifuncionais, produzir energia e atuar como peça construtiva. Além de produção energética, implicam em economia de espaço e impacto no orçamento de projetos, mas não são suscetíveis ao pensamento arquitetônico (ZAERA-POLO, 2016). Ou seja, o conhecimento é um tanto inacessível e raramente é incorporado ao processo inicial de design. Portanto, este estudo visa por meio de múltiplos estudos de caso, identificar os fundamentos para a realização de projetos *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), com foco nas fases iniciais de projeto. Para isto, a pesquisa mostrou-se com ênfase empírica, aspecto essencial da lógica indutiva, atividade descritiva e uma abordagem fenomenológica para explicar e interpretar resultados prováveis. Como resultado, tem-se: 1) representações gráficas síntese sobre os estudos de caso estudados; e 2) *method Cards*, em português cartas método, para compartilhamento dos fundamentos encontrados.

Palavras-chave: *building Integrated Photovoltaics* (BIPV), edifícios fotovoltaicos, representação gráfica de síntese, múltiplos estudos de caso.

ABSTRACT

Building Integrated Photovoltaics (BIPV) has the potential, as multifunctional elements, to produce energy simultaneously acting as constructive assets. Regardless of the energy production, it also provides an economy of space and a real impact on the project's budget, nevertheless, it is not susceptible to architectural thought (ZAERA-POLO, 2016). Implying that the knowledge is rarely accessible and more often than not incorporated into the initial design process. Therefore this master thesis, based on case studies, aims to identify the principles to develop such integration in architecture, focusing on the initial steps and first design's decisions. To accomplish it, this study has presented through empirical emphasis, an essential aspect of inductive logic, described activity, and a phenomenological approach to explain and interpret likely results. The results are the following: 1) graphic synthase representations of the chosen case studies; and 2) method cards to share the found principles.

Keywords: building Integrated Photovoltaics (BIPV), graphic synthase representation, case studies.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. PROBLEMATIZAÇÃO	7
1.2. OBJETIVOS	11
1.2.1. Objetivo geral	11
1.2.2. Objetivos específicos	11
1.3. PRESSUPOSTOS	12
1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	13
1.5. JUSTIFICATIVA	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA	17
2.1.1. Em termos esféricos (rotação)	20
2.1.2. Em termos espaciais (m ²)	24
2.1.3. Em termos angulares (°)	31
2.1.4. Em termos de reflectância (%)	32
2.1.5. Em termos atômicos (fótons e elétrons)	38
2.2. BARREIRA SOCIAL	43
2.3. CONTEXTO BRASILEIRO	53
2.4. SÍNTESE	62
3. MÉTODO	63
3.1. REVISÃO DE LITERATURA	65
3.2. ENTREVISTAS PILOTO	69
3.3. PROTOCOLO PARA DELIMITAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO	73
3.4. PROTOCOLO PARA COLETA DE DADOS	78
3.5. ANÁLISE DOS DADOS	80
3.6. RELATÓRIO FINAL	80
4. RESULTADOS E ANÁLISE	80
4.1. ESTUDO DE CASO ZERO: ADAPTIVE SOLAR FAÇADE (ASF)	82
4.1.1. Entrevista Linus Walker	91

4.2.	ESTUDO DE CASO 01: COPENHAGEN INTERNATIONAL SCHOOL....	108
4.2.1.	Entrevista Heiko Weissbach/ C.F. Møller Architects	119
4.3.	ESTUDO DE CASO 02: NEW-BLAUHAUS.....	142
4.3.1.	Entrevista Kilian Kada/ Kadawittfeldarchitektur.....	151
4.4.	ESTUDO DE CASO 03: MULTI-FAMILY HOUSE IN BRÜTTEN.....	173
4.4.1.	Entrevista René Schmid/ René Schmid Architekten.....	184
4.5.	ESTUDO DE CASO 04: HOUSE SCHNELLER BADER.....	206
4.5.1.	Entrevista Daniel Ladner/ Bearth-Deplazes Architekten.....	218
5.	RELATÓRIO FINAL: CARTAS MÉTODO	236
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	239
6.1.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	243
	REFERÊNCIAS (ABNT).....	244
	APÊNDICE 1 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE SÍNTESE.....	266
	APÊNDICE 2 – CARTAS MÉTODO	266
	APÊNDICE 3 – CARTAS MÉTODO TEMPLATE.....	266

1. INTRODUÇÃO

Início com um pequeno léxico de palavras. *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV) designa edifícios nos quais módulos fotovoltaicos desempenham funções que vão além da produção energética. Portanto, atuam como peças constituintes da pele do edifício, na forma de telhados, fachadas, janelas, e em contraposição à simples sobreposição de módulos (*Building Applied Photovoltaics*, BAPV). Neste sentido, sugiro a expressão edifícios fotovoltaicos como possível tradução para o português. Também, *method cards*, referência à ferramenta criada pela empresa IDEO, serve para auxiliar o processo de projeto e promover *insights* para sua ideação por meio de um baralho de cartas. Sugiro a expressão cartas método, em português.

Com isso estabelecido, organizei a dissertação em três partes para aproximar-me do problema de pesquisa: “na concepção de edifícios fotovoltaicos, quais fundamentos suportam uma integração holística à arquitetura?”. Nos primeiros capítulos (1-2), apresento uma visão geral da tecnologia fotovoltaica, suas implicações sociais e contexto brasileiro. Em sequência, a metodologia aplicada (3), além dos resultados e análise dos estudos de caso realizados na Alemanha e Suíça (4). Finalmente (5), concluo com o compartilhamento dos resultados - no formato de cartas método - direcionada a arquitetos e estudantes de arquitetura.

É importante também introduzir minha relação com o tema energia fotovoltaica. Aconteceu primeiro porque esta dissertação é parte do projeto PD 2866-0470/2017: Desenvolvimento de Minirredes com fontes de Energias Renováveis não Convencionais. Este projeto envolve vários grupos

de pesquisa da Universidade Federal do Paraná (UFPR) - desde engenharia elétrica, física... até arquitetura, com abordagens variadas em relação às energias renováveis. Como arquiteta, minha responsabilidade na equipe é trabalhar a união entre arquitetura e produção energética.

Segundo, a orientação do professor Aloísio Schmid abriu meus olhos para conceitos até então desconhecidos. Sua experiência direcionou este trabalho para a pesquisa de edifícios fotovoltaicos. Comecei meus estudos a partir desse pressuposto e foi crucial para delimitar o escopo.

Finalmente, em relação à prática como pesquisadora, esses dois anos e meio levaram-me a estudos fora da minha zona de conforto. A cooperação com o professor Aloísio foi força motriz ao pensamento crítico. Como consequência, hoje eu questiono o papel do arquiteto “em uma era marcada por uma população mundial em expansão e escassez de recursos” (SOBEK, 2019, tradução nossa).

Portanto, esta dissertação é a sinergia entre a oportunidade de uma bolsa de estudos da Companhia Paranaense de Energia - COPEL para trabalhar no projeto PD 2866-0470/2017 e as orientações e experiência do Professor Aloísio Schmid. Mais ainda, é também resposta a um contexto em que, mesmo com dados promissores e alguns incentivos recentes, a tecnologia fotovoltaica tem pouca disseminação - apenas 1% da matriz energética brasileira vêm de energia solar, em um país com todas as vantagens e condições favoráveis para sua aplicação (EPE, 2020).

Tudo considerado, faço um último comentário. Por entender a arquitetura como um campo de forças ambivalentes, busco distanciar-me de um pensamento monolítico entre “certo” e “errado”. Com os resultados aqui propostos esboço mais uma tentativa de incentivar a prática e o debate, do que estabelecer modelos rígidos. Um trabalho aberto a mudanças, aprofundamento e co-criação em futuros desdobramentos.

1.1. PROBLEMATIZAÇÃO

Em 2050 é esperado que 66% da população viva em cidades, aumentando a pressão sobre a disponibilidade de espaço e recursos - de fato, já percebido em algumas regiões da Ásia, como na cidade-estado insular Singapura (SCHLUETER et al., 2016). Esta crescente demanda por edifícios energeticamente eficientes transforma os critérios e o papel que o arquiteto representa diante do cenário, como personagem deste complexo mecanismo, na frente de batalha (BIENNALE CHANNEL, 2016; COLLETTI et al., 2018). Portanto, edifícios fotovoltaicos podem ser interpretados como possível síntese de tais forças, em que arquitetura é interface entre o homem e produção energética, além de ferramenta para a economia de espaço - defendida no conceito *3for2* (SCHLUETER et al., 2016). Ou seja, com o resfriamento por meio de uma malha de tubos integrados a laje com água corrente - que transporta a mesma energia térmica do que o ar, usando menos de 0,03% do seu volume (SCHLUETER et al., 2016), produção energética integrada ao envelope de edifícios, entre outros sistemas operacionais descentralizados em diferentes elementos multifuncionais, no conceito *3for2* dois andares de um edifício com sistemas tradicionais (ar condicionado centralizado, tubulações, comunicação e tudo o que está escondido na área técnica) transformam-se em três andares a partir da adoção de componentes integrados. Logo, além da eficiência energética, também é uma questão espacial.

Neste contexto, em *Meeting Nature Halfway* (COLLETTI et al., 2018) é dado como evidente que consumo de energia e eficiência energética são o centro de qualquer estratégia inteligente na arquitetura: desde o design, produção, até a manutenção. Não há, por certo, dúvida de que a natureza

desempenha um importante papel em elevar a arquitetura se sol, luz, vento, sombra, evaporação, umidade, etc, são levados em consideração (COLLETTI et al., 2018). Porém, ainda que a relação binária arquitetura *versus* natureza seja vista como obsoleta pelos autores, hoje a educação é uma das barreiras para a implantação de edifícios energeticamente eficientes no mundo (TABAKOVIC et al., 2017, WALKER et al., 2019), acompanhada de barreiras culturais ou que vinculam a tecnologia fotovoltaica à depreciação da arquitetura (CERÓN, CAAMAÑO-MARTÍN e NEILA, 2013; SCOGNAMIGLIO, 2016). Em entrevista com Zaera-Polo (2016), o arquiteto Rem Koolhaas também questiona a concretização de tais valores. Afirma que equipamentos, instalações e máquinas representam um terço da seção de um edifício e podem custar 50% de seu orçamento, mas não são suscetíveis ao pensamento arquitetônico. Ou seja, o conhecimento é um tanto inacessível e raramente é incorporado ao processo inicial de design. Essas se tornam adições posteriores, quase para milagrosamente resolver problemas que a arquitetura não controla mais. Assim, a produção de energia, água encanada, comunicação e tudo o que está escondido acima do teto tornam-se um 'mundo desconhecido' - expressão usada pelo escritório OMA de Koolhaas na Bienal de Veneza "*Fundamentals*", 2014 - "durante reparos em um cano que vaza na sala de impressão do escritório OMA, o trabalhador faz uma pausa para almoçar, deixando o mundo desconhecido da cavidade do teto aberto para investigação..." (OMA, 2014, tradução nossa).

Figura 1 - O "mundo desconhecido". Exposição introdutória da Bienal de Veneza *Fundamentals* 2014, com curadoria de Rem Koolhaas



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2014)

Como reação ao paradoxo, Koolhaas lançou um olhar introspectivo sobre as deficiências da profissão na curadoria de *“Fundamentals”*, enquanto Alejandro Aravena, dois anos depois, as explorou de maneira diferente. Na Bienal de Veneza de 2016, *“Reporting from the front”* - uma alusão à batalha contra forças que resistem à inovação - ele define arquitetura como aquilo que dá forma aos lugares onde as pessoas vivem. O conceito vai muito além da beleza, mas como resposta ao espectro de “problemas da sociedade” (econômicos, políticos, ambientais, legais, sociais, etc), a exemplo do documentário *Legislating Architecture* dirigido por Arno Brandhuber e Christopher Roth (2016) para a Bienal. Portanto, mais do que as deficiências, Aravena mostra onde a arquitetura poderia fazer diferença. O resultado aparece já nas salas introdutórias da exposição: foi construída com 100 toneladas de resíduos - 10.000 m² de placas de gesso + 14 km de metal - oriundos da mostra de 2014. Para Aravena, o

projeto expressa o poder que a arquitetura tem em transformar o que antes era apenas matéria e que, com o conhecimento e habilidades corretas, pode eventualmente se tornar algo valioso (BIENNALE CHANNEL, 2016). É também reflexo a avaliação dada em entrevista para a revista *Volume* anos antes: a arquitetura ainda está “muito mais preocupada com estilo ou a resposta em si, e não com as perguntas” (MADRAZO, RIVERO e ZOLKWER, 2010, tradução nossa).

Independente da abordagem de Koolhaas ou Aravena, a importância se dá na objeção ao clichê de que “a arquitetura apenas responde à indústria da construção (fabricação padrão, aceitação de normas e assim por diante” (COLLETTI et al., 2018, tradução nossa) e ambos ressaltam a necessidade de um discurso interdisciplinar como parte do processo de gênese - diferente da visão de apetrecho plugado ao edifício a posteriori. Esmiuçar as diferenças entre os autores não é o meu objetivo, mas construir o raciocínio de que, mesmo com mudanças climáticas globais em que se é sabido sobre a finitude e escassez do mundo, que para variada gama de autores é questão indubitável (SOBEK, 2019; COLLETTI et al., 2018; SCHLUETER et al., 2016), ainda é um desafio para a arquitetura incorporar tais forças a seu modo de criar formas que abrigam a vida.

Neste contexto, o meu objetivo é atacar a seguinte questão: “na concepção de edifícios fotovoltaicos, quais fundamentos suportam uma integração holística à arquitetura?”, em outras palavras, afastar-me das prescrições expressas por “mitos modernos para libertar o homem das condições climáticas” (SCHMID, 2005), mas aproveitar a oportunidade para explorar a interface holística entre energia e homem. Para Colletti et al. (2018), esta interface é representada pela arquitetura: portanto, meus estudos tangenciam a complexa relação por meio da análise de edifícios. Para tal, o conceito ‘energia’ é aqui entendido como “variável capaz de se

relacionar com a forma de nossos edifícios (ou aglomerados de edifícios ou mesmo cidades e paisagens), em vez de um tipo de variável abstrata com a qual o design não pode lidar” (SCOGNAMIGLIO e RØSTVIK, 2013, tradução nossa). Ou seja, arquitetura ciente de seu contexto, passiva e ativamente, em contraste ao cenário abordado por Koolhaas e Aravena em que edifícios fotovoltaicos representam apenas 1% do mercado solar global (OSSEWEIJER et al., 2018), ainda liderado por variáveis de design que objetivam menores custos para a maior produção de energia, em sistemas rígidos que impactam o contexto local (SCOGNAMIGLIO, 2016) e totalmente desvinculados do espaço criado.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Identificar fundamentos nos projetos arquitetônicos de edifícios fotovoltaicos, com foco nas fases iniciais de projeto - em inglês *early design phase*, definido por Nault et al. (2015) como parâmetros específicos aplicados durante as primeiras escolhas, onde muitas decisões devem ser tomadas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar os dados coletados em entrevistas semiestruturadas e pesquisa documental sobre múltiplos estudos de caso (edifícios fotovoltaicos);
- Sintetizá-los por meio de representação gráfica de síntese;

- Produzir um relatório final que sirva como ferramenta de apoio ao processo de projeto arquitetônico, por meio de cartas método: ou seja, um baralho de cartas para promover *insights* nas primeiras decisões de projeto.

1.3. PRESSUPOSTOS

Nesta dissertação, parto do pressuposto de que edifícios fotovoltaicos são essenciais para a difusão da tecnologia, além de contribuir na meta mundial de energia zero em edifícios. De fato, LYDON et al. (2017) afirmam que edifícios requererão melhor performance energética para aderir às estratégias de mitigação de gases de efeito estufa no futuro. Para tal, é necessário considerar seus componentes como elementos multifuncionais - um telhado que é cobertura e simultaneamente produz energia, por exemplo (LYDON et al., 2017).

Outro pressuposto é a falta de conhecimento sobre o processo de integração de tais estratégias à gênese arquitetônica. Pensamento também ratificado por autores: Walker et al. (2019), Tabakovic et al. (2017), OMA (2014). Mais ainda, considerando que diversos *stakeholders* precisam fazer parte do processo de criação, como por exemplo, o mercado solar junto ao setor da construção civil, ainda há lacuna para a integração e desenvolvimento de peças construtivas inovativas que satisfaçam ambas as demandas (CERÓN, CAAMAÑO-MARTÍN e NEILA, 2013). Já que os módulos fotovoltaicos estarão expostos às condições de produção energética (aquecimento da peça), mas também atuarão como proteção do clima externo (chuva, vento, variações de temperatura), além de demandas mecânicas.

Também, parto do pressuposto de que energia é variável de design. Citando um dos motivos para tal, já que a integração de sistemas operacionais no envelope e estrutura de edifícios, por meio de elementos multifuncionais, resulta em economia de espaço - dois andares viram três andares em projetos otimizados (SCHLUETER et al., 2016) - a questão é também responsabilidade da arquitetura. Portanto, energia é resposta ao “mundo desconhecido” mencionado por Koolhaas, variável passível de pensamento arquitetônico e também reflexo às cidades cada vez mais densas e com espaço reduzido (SCHLUETER et al., 2016).

1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O espectro de contribuições do Design para a Sustentabilidade vai desde o desenvolvimento de produtos que integram seus conceitos e princípios até proposições amplas no âmbito sócio técnico. A presente dissertação atém-se tanto às dimensões sociais, quanto variáveis para o desenvolvimento de produtos, neste caso edifícios fotovoltaicos.

Reconhecem-se as limitações de tal abordagem, mas compreende-se também que a maioria das contribuições em se tratando de produção de energia na arquitetura, tem apresentado ênfase excessiva em parâmetros técnicos – engenharia estrutural, fabricação ou eficiência das máquinas. Portanto, o estudo explora um escopo mais amplo de potenciais contribuições, quando comparado a estudos ortodoxos, principalmente no que tangencia a qualidade do espaço por aqueles que o habitarão e a maneira de interpretar as variáveis no processo de projeto arquitetônico.

1.5. JUSTIFICATIVA

Jayathissa (2017) entende arquitetura como abrigo para proteção, determinado por invólucros que dividem ambientes externos e internos. Com a evolução do desenvolvimento técnico-científico, o ambiente interno tornou-se também manipulável - ou seja, a capacidade de aquecer, resfriar e iluminar que resulta em invólucros herméticos e ambientes internos apartados da realidade. Passamos 87% de nossas vidas em ambientes internos e este consumo de energia resulta em alto impacto ambiental: 32% do gasto total de energia no mundo provêm de edifícios, que contabilizam 19% da emissão de gases para o efeito estufa - *greenhouse effect* (JAYATHISSA, 2017). Sobre o balanço desta conta, existem três alternativas segundo a autora: melhorar a eficiência dos equipamentos, confiar apenas em estratégias passivas para economia de energia, ou unir as duas variáveis produzindo edifícios conscientes de seu contexto passivamente e ativamente - produtores de energia.

Neste sentido, a dissertação é fruto da última estratégia citada. E, quando se trata de produção energética, devido à maturidade da tecnologia fotovoltaica, sua escalabilidade para atender à crescente demanda global é possível (7,5 bilhões de habitantes e subindo!) (JEAN et al., 2015; TROLDBORG, HESLOP e HOUGH, 2014). Fato que justifica o estudo de elementos fotovoltaicos integrados ao envelope de edifícios. Mais ainda, hoje a aplicação dos sistemas também é viável economicamente, afirmação corroborada por dados disponíveis no *Building Integrated Photovoltaics: Product overview for solar building skins Status Report 2017* (SUPSI-SEAC, 2017). Segundo o relatório, enquanto uma fachada em pedra custa aproximadamente 110 €/m², o preço do revestimento de edifícios fotovoltaicos varia entre 100 - 150 €/m² para soluções em módulos de filme

fino, dimensões *standard* e substratos de baixa complexidade. O valor subiria para 500 €/m² em soluções mais complexas, com retorno financeiro aproximadamente entre 7,5 e 15 anos e variações dependendo do contexto (SUPSI-SEAC, 2017).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Antes de seguir, novamente faço digressão para um breve léxico de palavras. Célula fotovoltaica (15.6 cm × 15.6 cm) é a unidade básica para a conversão direta de luz (foto) em eletricidade (-voltaica), e o conjunto de células interligadas eletricamente e encapsuladas é denominado módulo fotovoltaico. Um conjunto de módulos, juntamente a equipamentos complementares como inversores e cabos, é um sistema fotovoltaico. Este estará *on-grid* ou *off-grid* - conectado à rede pública ou a uma bateria para estabilizar o sistema na recorrência de dias nublados, ou seja, na baixa incidência solar (MIT OPENCOURSEWARE, 2014). A tecnologia possibilita produção energética centralizada em uma grande fonte produtora, ou com geração distribuída (GD) em pequenos sistemas próximos ao consumidor final. E, quando há diversificação da matriz energética com aumento da produção fotovoltaica, a estabilidade e confiabilidade é maior, além de menor perda técnica de energia por cabos de transmissão. As células podem ser formadas por diferentes materiais:

- de primeira geração: silício monocristalino ou policristalino (Si), eficiência 11,5%-20%. 87,4% do mercado é dominado pela tecnologia de primeira geração (SLAOUI, 2017; RAUGEI e FRANKL, 2009);

- segunda geração: filme fino de silício amorfo (a-Si), cobre, índio e gálio seleneto (CIS / CIGS) ou telureto de cádmio (CdTe), eficiência 4-13% (SLAOUI, 2017);
- e terceira geração: superfícies sensibilizadas por corantes ou materiais orgânicos (OPV), eficiência 4-8% (SLAOUI, 2017).

No mercado, o predomínio são módulos rígidos, com substrato de vidro. Desde a falência da UNISOLAR em 2012, EUA, especialistas na fabricação de módulos leves e flexíveis como as membranas de polímero para telhado, há uma lacuna de mercado na fabricação deste segmento. Para o SUPSI-SEAC (2017), existem alguns sinais que indicam mudança no cenário e hoje módulos fotovoltaicos em sistemas construtivos leves estão disponíveis para comercialização em empresas como MiaSolé, HyET Solar, DAS energy e Kameleon Solar. Ademais, quando limitamos a fala apenas para as aplicações das células orgânicas de terceira geração, que são também leves, flexíveis e semitransparentes, há desafios relativos à baixa eficiência, custo e redução do ciclo de vida do produto, provavelmente um mercado que apresentará inovações e maior desenvolvimento no futuro (FERREIRA et al., 2018). Eis porque a prevalência ainda são peças rígidas e modulares.

Assim, a principal sustentação dos sistemas fotovoltaicos são os montantes metálicos, diferentes dos módulos leves e flexíveis que podem ser colados nas superfícies. Ao considerar montantes e módulos como peças construtivas, em edifícios *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), em português edifícios fotovoltaicos, há economia financeira - já que 16% do orçamento de sistemas fotovoltaicos é destinado à estrutura física (montantes e fundações), no Brasil (FERREIRA et al., 2018). Em contraposição, *Building Applied Photovoltaics* (BAPV), o sistema está em

uma estrutura paralela a um edifício existente, sobreposta ao telhado ou fachada. A grande diferença está no fato de, no primeiro caso, a produção energética ser concebida de maneira integral e indispensável ao projeto arquitetônico, enquanto no outro, é uma adição posterior ao edifício já consolidado.

Fecho o parênteses, voltemos ao capítulo 2.

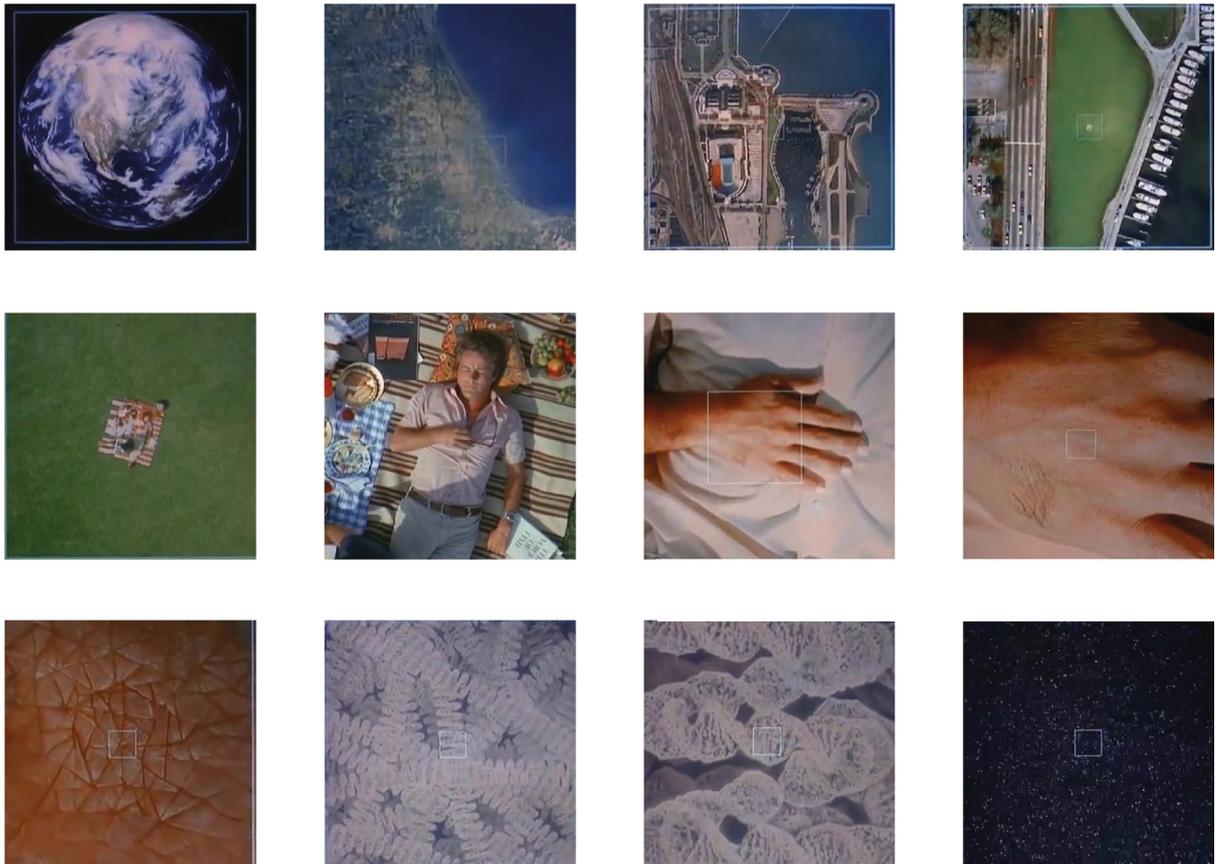
2.1. TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

Já que a história da arquitetura também é a história da inovação dos materiais construtivos, sua montagem e fabricação - assim como muitas outras histórias paralelas (COLLETTI et al., 2018), o módulo fotovoltaico é também variável a ser entendida como parte da disciplina. Logo, em edifícios fotovoltaicos, suas propriedades enquanto material e, também, a maneira em que será montado e integrado na pele de edifícios, são repertórios importantes. Assim, busco aqui interpretar este material e no que refere à montagem - possibilidades de coberturas, fachadas e acessórios de integração variada - sinalizo grupos de pesquisa que trabalharam especificamente em sua categorização: em português, Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura (SANTOS, 2013), em inglês, *Building Integrated Photovoltaics: Product overview for solar building skins Status Report 2017* (SUPSI-SEAC, 2017), além do website <https://solarchitecture.ch/> (SUPSI e parceiros). Todas as referências são de acesso livre e, conseqüentemente, opto por não prolongar o que já foi desenvolvido em detalhe. Parece-me que vale mais interpretar o material construtivo, inspirada por trabalhos como o *Adaptive Solar Façade* (ASF)

liderado pelo Prof. Dr. Arno Schlueter na universidade *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich* (ETHZ), do que neste momento categorizá-lo a partir da escolha de montantes - inevitavelmente, tais categorias também serão apresentadas no decorrer da dissertação na forma de projetos arquitetônicos detalhados.

Sem mais, valho-me do ensejo para, partindo da abordagem de *Powers of Ten* (figura 2), breve documentário escrito e dirigido por Charles e Ray Eames, “um filme que lida com o tamanho relativo das coisas no universo, e o efeito de adicionar outro zero” (EAMES OFFICE, 1977, tradução nossa), beber da fonte e, da escala solar ao nível atômico, transpor a dificuldade do pensamento multiescalar necessário para integração da tecnologia fotovoltaica à arquitetura. Em *Powers of Ten* (1977), as imagens começam em um homem deitado na grama, fazendo um piquenique próximo a um lago na cidade de Chicago, EUA, visto a partir de uma câmera localizada a um metro do modelo. “Então, a uma taxa de 10 metros por segundo, a câmera afasta-se do homem e nos leva para a Terra, voltando ao ponto inicial, a mão do homem adormecido e, eventualmente, até o nível de um átomo de carbono” (EAMES OFFICE, 1977, tradução nossa). Esta é a relação multiescalar interpretada em *Powers of Ten*, a partir de um mesmo ponto de partida. Transpondo tal pensamento à produção de energia fotovoltaica, as aulas ministradas pelo professor Tonio Buonassisi no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), disponibilizadas pelo MIT *OpenCourseWare* (2014), apresentam raciocínio similar - da escala solar à atômica, inferir significado ao pensamento de projeto de sistemas fotovoltaicos.

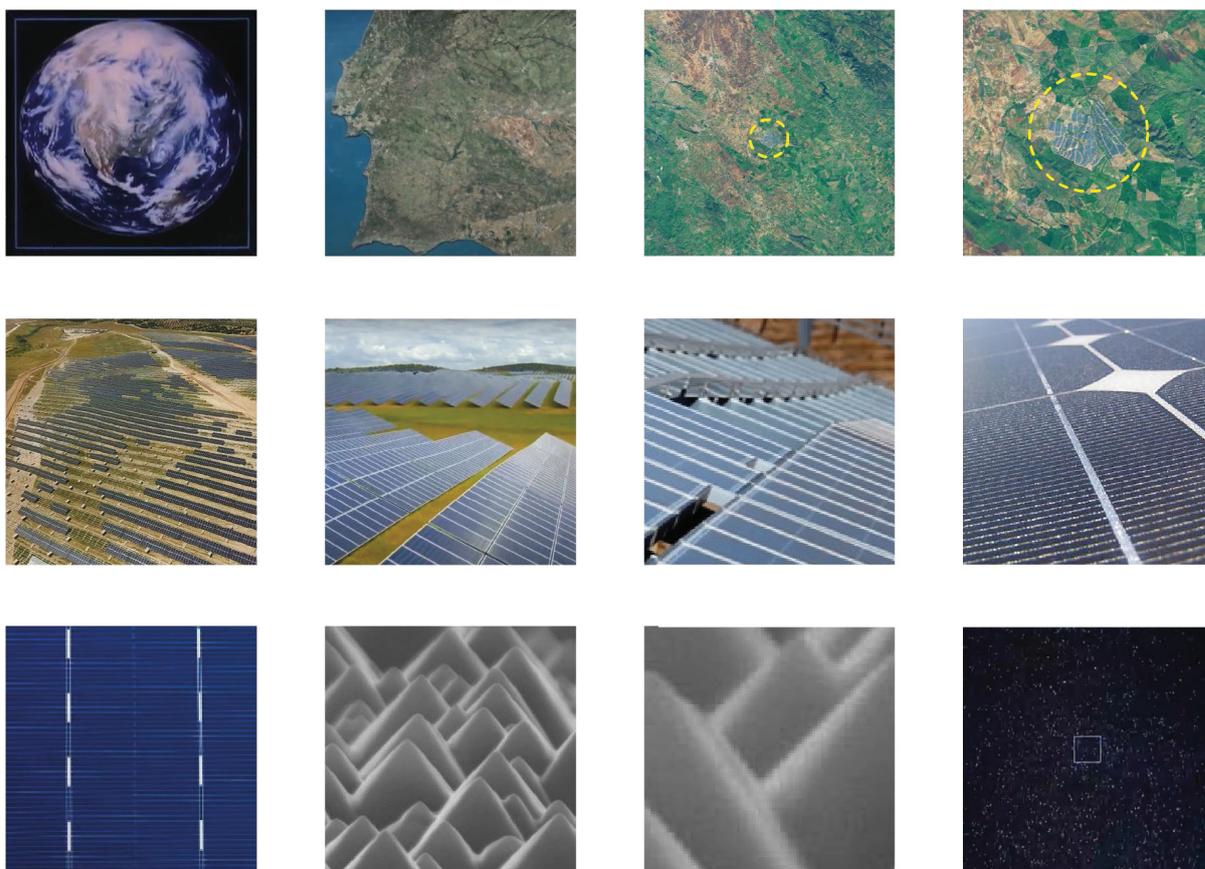
Figura 2 - Abordagem multiescalar do filme Powers of Ten



(Compilação da autora, 2020). Montagem a partir de imagens coletadas no filme Powers of ten, EAMES OFFICE, 1977

Seguindo as referências, construo na figura 3 base para burilar, lapidar, conceitos conectados a diferentes camadas de complexidade do material construtivo. A partir de um conjunto de módulos fotovoltaicos monocristalinos na planta solar Núñez de Balboa, em Badajoz, Extremadura, Espanha, a câmera afasta-se até a escala solar e retorna ao ponto de partida, em um nível de aproximação que alcança a célula de silício e sua composição atômica.

Figura 3 - Abordagem multiescalar da tecnologia fotovoltaica



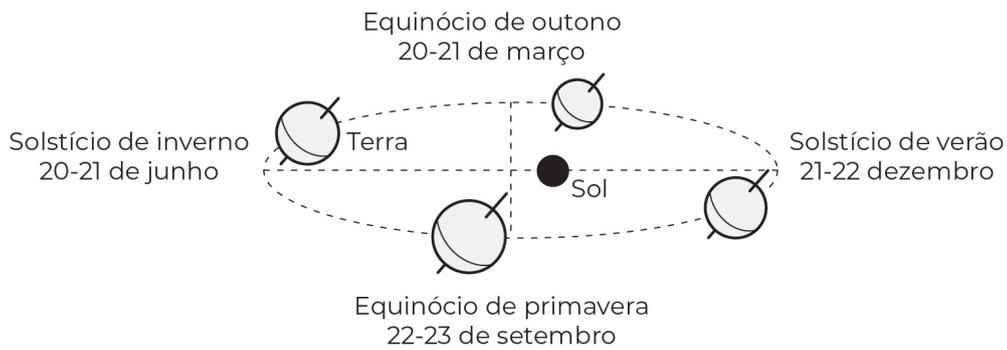
(Compilação da autora, 2020) Montagem a partir de imagens coletadas no filme Powers of ten, site da IBERDROLA, NASA EARTH OBSERVATORY e PVEDUCATION

2.1.1. Em termos esféricos (rotação)

A ideia de energia foi refinada ao longo do tempo, um conceito complexo de definição. Se existe luz, som, vibração, ou átomo, existe energia. Embora, quando falo especificamente da conversão direta de luz (foto) em eletricidade (-voltaica), o protagonista é o sol. Portanto, neste *framework* (figura 3) para, pouco a pouco, adicionar camadas de complexidade, começo pela escala solar, o corpo negro que irradia grandes quantidades de luz todos os dias e sua relação com a Terra. Por ora, esta luz

será tida como energia em forma de onda e posteriormente tratarei de sua natureza dual também enquanto partícula. Ademais, é preciso raciocinar em termos de uma esfera para imaginar a relação de rotação e translação da Terra em relação ao sol (figura 4), com possível auxílio de ferramentas como a disponibilizada pela Universidade de Nebraska para nível introdutório em astronomia: *The Nebraska Astronomy Applet Project*. Ou em experimentos, como o representado na pintura *A Philosopher Lecturing on the Orrery* (Joseph Wright of Derby, 1766).

Figura 4 - Pensamento referente à relação esférica entre Sol e Terra

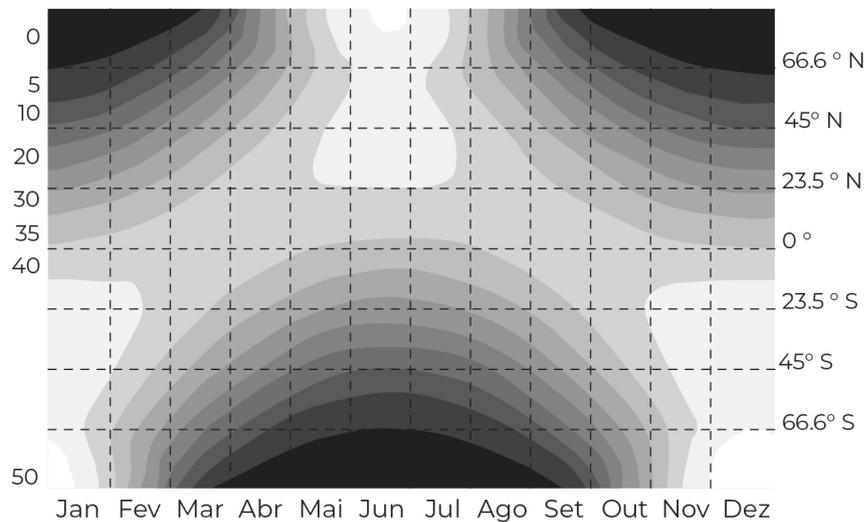


(Adaptado de STULL, 2015)

Com um eixo de rotação inclinado de $23,5^\circ$ em relação à direção normal ao plano de translação, o movimento do planeta a orbitar o Sol, que cria exposição variável de sua superfície ao sol, faz com que num hemisfério seja noite e no outro dia, além de diferentes estações climáticas estabelecidas por sua trajetória elíptica. O resultado deste mecanismo é que localidades do globo terrestre dispõem de variadas quantidades de energia. Neste sentido, a região perpendicular aos raios de Sol recebe radiação solar com intensidade máxima e, em latitudes diferentes desta, os raios solares vão gradativamente se tornando oblíquos e encontram a Terra em ângulos cada vez menores, enquanto uma mesma parcela de radiação

se espalha por áreas cada vez maiores. Portanto, a dose de energia depende de várias condições, mas principalmente da latitude, ou localização norte-sul de um ponto na Terra, que, de acordo com a estação do ano, influirá nos ângulos do sol e nas horas de luz no dia (NASA EARTH OBSERVATORY, 2009), exposta na figura 5.

Figura 5 - Energia recebida em relação à latitude e mês do ano. Mínima em preto (zero) e máxima em branco (50 megajoule/m²/ dia).



(Adaptado de NASA EARTH OBSERVATORY, 2009)

São desses parâmetros que fundam os conceitos de Solstícios (21 de junho e 22 de dezembro, o dia mais longo ou o dia mais curto do ano, cada hemisfério atinge a máxima ou mínima insolação) e Equinócios (22 de março e 23 de setembro, igual divisão entre dia e noite por toda a Terra, os raios solares incidindo igualmente sobre ambos os hemisférios). Por exemplo, em Curitiba, Brasil, latitude 25°25'49.0"S, esquematicamente, no solstício de verão em 22 de dezembro o ângulo de elevação do Sol em relação ao chão - pense em uma linha imaginária a partir do topo de sua cabeça - é 88,5°, quase a pico no céu. Já no solstício de inverno é 48,5° aproximadamente. O resultado provém da adição ou subtração da latitude

de Curitiba ao ângulo de declinação da Terra de $23,5^\circ$ (MIT OPENCOURSEWARE, 2014). Sigamos neste exemplo: no solstício de verão o dia terá duração das 06:25 às 20:06 horas, ou seja, será dia durante 13,41 horas, enquanto que no solstício de inverno das 07:03 às 17:34 horas, será dia durante 10,31 horas. Estes parâmetros são relevantes para a quantificação e previsão de energia disponível.

Também os efeitos atmosféricos, variações locais na atmosfera, como vapor d'água, nuvens e poluição, influenciam a quantidade de energia recebida em um determinado ponto do globo. Por exemplo, algumas localidades na linha do equador: com grande concentração de florestas tropicais, a quantidade de nuvens e chuva afeta a energia solar recebida, com irradiação menor se comparada aos trópicos (MIT OPENCOURSEWARE, 2014). Existem exceções quando se pensa na micro-escala e a nebulosidade é comumente um fator imprevisível ou negligenciado sendo lacuna de pesquisa para alcançar dados mais confiáveis e precisos sobre a produção energética - sem o risco de, por conta de semanas com chuva e nuvens, o sistema colapsar por falta de energia produzida. Outra lacuna importante que envolve tal imprevisibilidade é que as fórmulas e cálculos para produção energética solar são relativas ao *peak power*, ou seja: pela potência de pico, já que não é sabido em qual lugar do mundo será sua implantação. Portanto o cálculo é pelo máximo de insolação possível e a variação de resultados devido ao contexto local e intempéries são fatores a se considerar para melhorar previsões. Também o conceito de albedo: o nível de reflexão de uma superfície, que no verão dos polos, por exemplo, a neve branca e gelo marinho refletem uma parte significativa da luz que entra, reduzindo o potencial aquecimento solar, mas com produção de energia fotovoltaica passível de aumento - já que o sistema absorve raios solares de incidência

direta e indireta (raios refletidos pelo entorno). Segundo Stull (2015), o albedo da neve fresca varia entre 75 e 95% (semelhante à capacidade reflexiva de nuvens espessas), enquanto a neve velha reflete cerca de 35 a 70% dos raios solares incidentes na superfície. Outro exemplo, o albedo do solo escuro e molhado varia entre 6 e 8%, solo claro e seco varia entre 16 e 18%, argila seca 23% e estrada de asfalto entre 5 e 20%.

Com isso estabelecido, a quantidade de radiação solar recebida em determinado ponto do globo será irradiada novamente para o espaço. A Terra também emite radiação, caso contrário seguiria aquecendo infinitamente. Assim, seus átomos e moléculas não absorvem apenas energia, mas também emitem radiação, na faixa infravermelha (calor), de volta ao espaço. O balanço líquido entre energia recebida e energia emitida é extremamente importante para o equilíbrio do sistema - regulando correntes marítimas, ventos, etc. E um excedente ou *déficit* nesta conta resultam em fenômenos como o *greenhouse effect*, efeito estufa, com temperaturas aumentando, enquanto um *déficit* implicaria em um esfriamento global. Portanto o manejo dos 340 W por metro quadrado¹, em média, de energia solar que chega ao topo da atmosfera é muito importante neste complexo sistema de perdas e ganhos.

2.1.2. Em termos espaciais (m²)

Avanço em mais um nível de complexidade, saímos do sol como fonte de energia para uma vista aérea mais aproximada. Portanto, a discussão agora abrange a relação entre sol e matéria, em um momento

¹ Resultado obtido da constante solar de 1414 W/m² dividida por dois, já que apenas um hemisfério estará iluminado, além de calculada a inclinação média.

em que os raios solares ainda não tocaram as superfícies de silício, mas estão viajando entre a escala solar e determinado ponto do globo terrestre. Nesta escala de aproximação (figura 3) inspirada por *Powers of Ten* (EAMES OFFICE, 1977), estou sobrevoando a planta solar Núñez de Balboa, em Badajoz 38°52'47.0"N 6°58'17.9"W, Extremadura, España, construída pela empresa Iberdrola em 2020. Assim, ressalto a mudança de raciocínio de uma esfera para um diferente conceito matemático: pensaremos agora em quantidade de espaço bidimensional, ou seja, de superfície.

Adoto este exemplo por ser a solução de design mais comum para sistemas fotovoltaicos hoje, além de escolha promissora para substituir usinas de eletricidade baseadas em combustível e nuclear (SCOGNAMIGLIO, 2016). Ademais, a escala do sistema chama atenção para seus impactos em termos de uso e transformação da paisagem, possíveis danos ao ecossistema, além de seu poder em adicionar valor ao uso da terra quando integrada à arquitetura - "*Energy-design vision*" (SCOGNAMIGLIO, 2016). Já que, com capacidade instalada de 500 MW, para atender a demanda de 250 mil pessoas por ano, mais de 1,4 milhões de módulos fotovoltaicos foram instalados na planta solar Núñez de Balboa, consumindo área de 10 km², 1000 hectares, área equivalente a 1.200 quadras de futebol ocupadas por módulos fotovoltaicos (IBERDROLA, 2020).

Note que minha intenção com o exemplo Núñez de Balboa não é detalhar o seu contexto de implantação, mas em termos numéricos, mostrar que espaço é um recurso usado pela tecnologia - tanto que a figura que contribuiu para esta análise foi retirada de fotografia disponibilizada pela NASA EARTH OBSERVATORY (2020), ou seja, a área é relevante para imagem de satélite (figura 6). São necessários estudos urbanos e paisagísticos para entender o impacto de instalações de grande

porte, também denominadas como *Photovoltaic landscape* ou *on-ground PV* (SCOGNAMIGLIO, 2016), no entorno e no consumo de áreas livres. Em resposta, a Itália, por exemplo, adicionou em suas normativas a especificação de distanciamento mínimo de sítios históricos, além de chamar a atenção para a influência das vastas áreas cobertas por módulos no ofuscamento de rodovias com carros em trânsito e questionar a possibilidade de geração energética descentralizada em edifícios já consolidados.

Figura 6 – Imagem de satélite da planta fotovoltaica Nuñez de Balboa

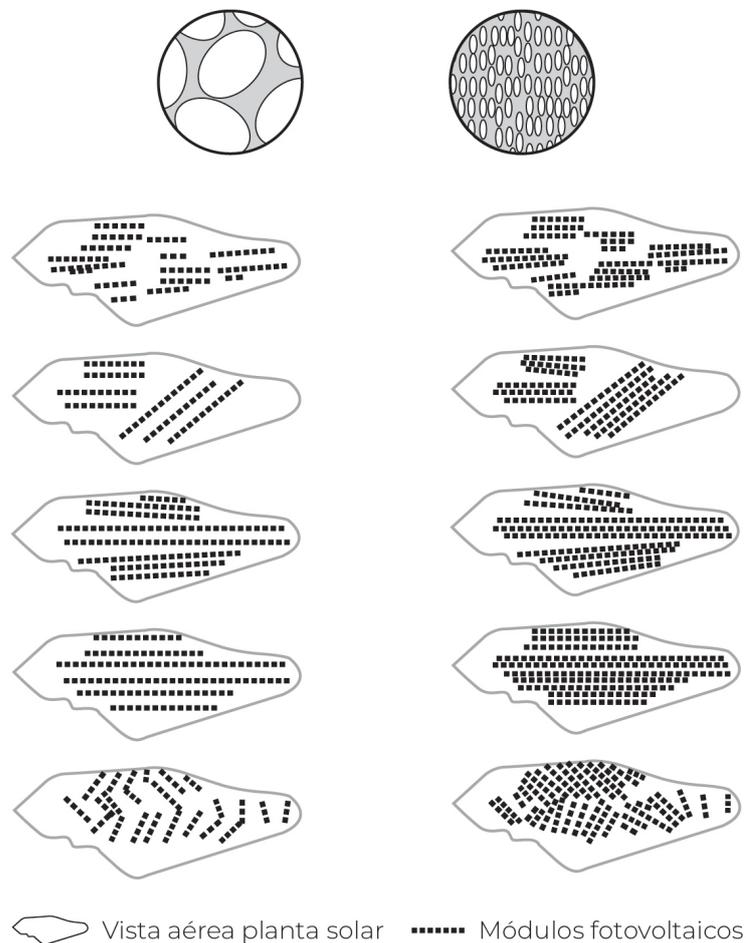


(NASA EARTH OBSERVATORY, 2020)

Também, os sistemas Agro-voltaicos (APV) são uma forma de integrar soluções de design à produção de energia. São projetados para deixar o nível do solo livre, onde a produção agrícola acontece abaixo dos

módulos e/ou nos intervalos entre módulos em composições mais porosas (SCOGNAMIGLIO, 2016). A maneira de desenvolver a relação entre porosidade *versus* densidade, além da coesão ao contexto social, é trabalho também da arquitetura. Scognamiglio define porosidade como uma medida oposta ao grau de densidade que o sistema fotovoltaico pode adotar, ou seja, o número de módulos por área (figura 7).

Figura 7 - Porosidade versus densidade em plantas solares



(Adaptado de SCOGNAMIGLIO, 2016)

É comumente regido por um design auto referenciado, sem considerar o contexto de implantação, com grande efeito de artificialidade quando sobreposto a paisagem natural ou agrária, organizados em linhas

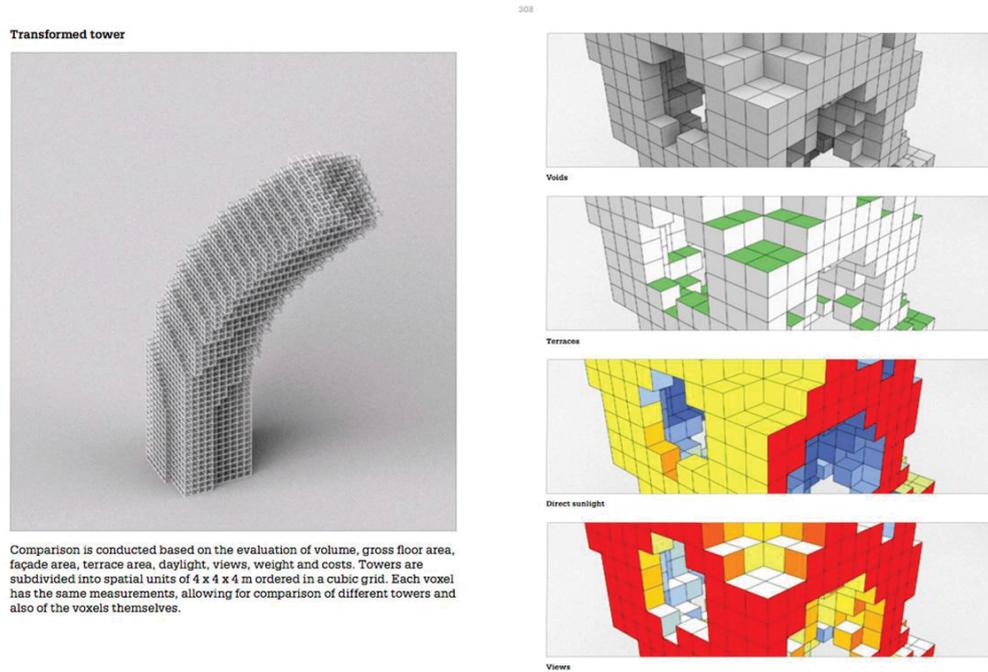
com distâncias mínimas para evitar sombreamento e permitir manutenção, além de visar custos baixos para gerar a maior densidade de potência possível (kWp/m²). Em composições mais porosas, menos densas, correspondem a uma perda em termos de densidade de potência do sistema, mas resultam em projetos desenvolvidos a partir das condições espaciais - e não apesar delas - passível de uso sincrônico a produção de alimentos, estrutura de contenção para deslizamentos de terra, armazenagem de água da chuva para irrigação, entre outros.

As definições, quando sobrepostas às desenvolvidas em *Porosity: Opening up Solidity* (MAAS, 2019), novas camadas de complexidade emergem. Maas defende que para projetar e construir a porosidade urbana, tais interstícios são socialmente, ambientalmente e economicamente valiosos. O livro mostra experimentos em torres como resposta ao processo de densificação das cidades a partir da unidade de medida “voxel” definida por Maas como uma unidade de espaço tridimensional (pixel) que liberta a cidade de sua introversão sintetizada em “torres e blocos enclausurados, distantes e artificialmente climatizados” (MAAS, 2019, tradução nossa). Estes edifícios sólidos, essencialmente, são caixas compostas de piso, telhado e quatro fachadas, que para Maas são definidas por sua orientação: uma fachada tipicamente recebe luz solar, enquanto a face oposta não. O topo dos edifícios recebe mais energia do que a base e, dependendo da profundidade, a luz solar não alcança os ambientes que estão distantes das aberturas. Portanto, porosidade é também definida por trazer mais luz natural para os ambientes, usando os raios solares como “força motriz para esculpir edifícios e penetrar sua solidez. Como seria um edifício se cada unidade habitável recebesse pelo menos duas horas de luz solar direta por dia?” (MAAS, 2019, tradução nossa). Eis que a porosidade vai além da capacidade em adicionar valor ao

uso da terra, mas também serve para melhorar o desempenho energético de um edifício (naturalmente aquecendo, resfriando, sombreando e iluminando).

Portanto, a porosidade nas composições em nível de paisagem, também se estende e influencia os invólucros de edifícios e estratégias passivas e ativas, a partir da subtração de “pixels” que modificam parâmetros de quantidade disponível de fachada, média de horas de sol por dia em terraços, média de horas de sol por dia em fachadas, quantidade de terraços com acesso a mais de 4 horas de sol/dia, fachadas com mais de 90 graus de vistas desobstruídas, custos, etc, relação exposta na figura 8. Estes valores, de ordem arquitetônica, estão intrinsecamente conectados às demandas energéticas e ao módulo fotovoltaico como peça construtiva e produtora de energia. Assim, é contundente dizer que porosidade é a maneira de coexistir produção de energia e arquitetura já que, arbitrariamente, reduz-se a capacidade energética instalada para inserir gama de variáveis que dizem respeito a: preservar área livre, favorecer a agricultura, preservar a paisagem, dar acesso à luz natural, ventilar, permitir terraços, janelas, aberturas na pele do edifício, diversidade de usos, listando apenas alguns. Exemplos de projetos arquitetônicos que trabalham com esta sincronia são o The Farmhouse (figura 9), desenvolvido pelo Precht Architecture, e o Pig City do MVRDV, ambos tratando a produção de alimentos paralelamente à construção de edifícios e cidades. Aqui também vale lembrar a introdução desta dissertação: máquinas de resfriamento, aquecimento, tubulações, consomem espaço e a integração de tais elementos à estrutura equivale, a cada três andares, um andar inteiro do edifício - o que implica em economia financeira, além de resultar em mais espaço, definido pela ETHZ como *“less energy, more space”*, em português “menos energia, mais espaço”.

Figura 8 – Experimentações expostas no livro Porocity



(MAAS, 2019)

Figura 9 – The Farmhouse, habitar e produzir alimentos em centros urbanos



(PRECHT ARCHITECTURE, s.d.)

2.1.3. Em termos angulares (°)

Novamente adiciono mais uma camada de complexidade. Agora estamos sobrevoando os módulos fotovoltaicos, provavelmente de silício monocristalino de primeira geração, estruturados por montantes fixos na planta solar Núñez de Balboa. Esta escala diz respeito a estratégias para maximizar a quantidade de energia absorvida para conversão energética, ou seja, a relação entre absorção solar e conversão elétrica, além de seus desdobramentos (MIT OPENCOURSEWARE, 2014). Portanto, o pensamento continua em termos de superfície e sua relação com os raios solares, mas agora trata-se de uma relação angular. Ou seja, qual a posição angular para a máxima absorção de energia dos módulos fotovoltaicos?

No exemplo adotado, não há uso de concentradores solares - espelhos, lentes ou superfícies côncavas que concentram os raios solares em um ponto, para produção de energia com menor uso de material - ou uso de *tracking* - motor que permite que os módulos acompanhem o movimento do sol, mas que provocam aumento do custo e complexidade para manutenção do sistema. Assim, presumo que a inclinação fixa dos montantes se aproxime ao ângulo de latitude em Badajoz 38°52'47.0"N Extremadura, España. Considerando que é prática comum "ângulos de inclinação correspondentes à latitude e orientação em direção ao hemisfério oposto ao da localização do sistema, para maximizar a geração de energia" (ZOMER et al., 2013, tradução nossa).

Esta imposição, muitas vezes, prejudica a integração ao projeto arquitetônico, mas é uma estratégia de garantir a máxima absorção dos raios solares em uma abordagem orientada por produção energética e custos. Portanto, em termos econômicos, para garanti-los os mais baixos possíveis, a composição é mantida simples, com soluções *standard*,

construídos em estruturas de suporte baratas, presas ao solo por fundações e em ângulos de inclinação pré-estabelecidos (SCOGNAMIGLIO, 2016). Uma estratégia diferente é, mesmo em inclinações tidas como não-ótimas, utilizar a radiação difusa do céu, e também o albedo como oportunidade para capturar os raios solares refletidos, aumentando o nível de reflexão do entorno (SCOGNAMIGLIO, 2016), ou admitir nas composições uma capacidade instalada menos densa e com variáveis de projeto mais complexas - com resultados diversos ao determinado somente por (kWp/m²). Neste sentido, "*Limitations in solar module azimuth and tilt angles in building integrated photovoltaics at low latitude tropical sites in Brazil*" (SANTOS e RÜTHER, 2013), aborda o tema das angulações com maior flexibilidade e possibilidades de integração para auxiliar no projeto arquitetônico e "otimizar desempenho e estética, mostrando que a tolerância na orientação e inclinação do plano dos módulos fotovoltaicos é consideravelmente grande". Não há, por certo, dúvida de que a maneira de integrar os módulos às formas de edifícios e paisagem implica diretamente em sua adoção, portanto uma ferramenta para auxiliar na triangulação entre inclinação dos módulos e produção fotovoltaica é o *Global Solar Atlas* (2020). Destinado às fases preliminares de projeto, fornece previsões e dados para fundamentar decisões relativas à integração da forma.

2.1.4. Em termos de reflectância (%)

Na escala de aproximação, agora vemos a célula fotovoltaica de silício: a interação entre luz e matéria, material semicondutor e camada ativa produtora de energia, dentro do módulo fotovoltaico está prestes a acontecer. Os raios solares tocam a superfície do módulo pela primeira vez.

Portanto, é necessário o manejo das perdas ópticas, para diminuir a luz refletida ou não absorvida e melhorar a eficiência na conversão elétrica, pensamentos que regem esta escala. Pensar em termos de perda por reflexão total - uma consequência da refração - é importante já que exige a passagem da luz entre dois meios diferentes: do ar para um sólido (MIT OPENCOURSEWARE, 2014). Eis que esta escala diz respeito a métodos para melhorar a absorção óptica por meio da refletância dos substratos, por exemplo, utilizar revestimento reflexivo na face dos fundos do módulo aumentando assim a chance de a luz ser absorvida antes de sair do sistema, texturizar a superfície do substrato de silício para os raios não absorvidos refletirem novamente com uma segunda chance de absorção (textura presente na escala de aproximação da figura 3), texturizar os conectores metálicos, aumentar o comprimento de onda por meio da escolha de substratos, etc. A espessura da camada de silício é determinada a partir destes parâmetros e é cerca de quatro vezes a espessura de um fio de cabelo, com estrutura similar ao vidro (figura 10). Mais ainda, a cor dos módulos fotovoltaicos ser azul para melhor absorver o pico do espectro da luz solar, que é amarelo (sua cor complementar), também é uma estratégia de melhor absorção óptica (MIT OPENCOURSEWARE, 2014). Existem *softwares* para calcular o caminho da luz em um meio, como o RaySim, e o “design óptico de células e módulos solares de silício está se tornando cada vez mais importante à medida que os fabricantes aumentam os limites de eficiência” (COTTER, 2005, tradução nossa).

Figura 10 - Espessura e estrutura da célula fotovoltaica monocristalina



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

É nesta escala de escolha dos substratos e espessura dos materiais, unida à análise anterior referente à estrutura de sustentação dos módulos por montantes, que fica claro outro recurso consumido pela tecnologia: a energia e material necessário para sua produção - *grey energy*. No caso de módulos orgânicos de terceira geração, sensibilizados por corantes ou materiais orgânicos (OPV), a espessura de camada ativa para produção de energia é de 100 nanômetros, algo muito mais fino do que a lâmina de silício usada nas células cristalinas. Adicionado substrato, a espessura vai para 500 micrômetros, sendo que o encapsulamento é feito com o mesmo material da garrafa PET, totalmente reciclável, sem necessidade de montantes ou fundações e apenas colado às superfícies. Portanto, a célula fotovoltaica de terceira geração produz mais energia do que consome para ser fabricada, mas sua eficiência ainda é baixa e os custos altos (ROMAN,

2019). Voltando ao exemplo da figura 3, os módulos de silício de primeira geração, demandam instalação de montantes para fixação e fundações, como em Núñez de Balboa que construiu 288.000 fundações, com um peso total de 12.100 toneladas (IBERDROLA, 2020). Além disso, para obtenção do silício de grau fotovoltaico, o material precisa ser aquecido a 2000°C, com maior gasto de energia no processo de produção (ROMAN, 2019). Portanto, somando a energia dispendida nestes diferentes itens da fabricação, o resultado final é que o produto tem maior energia embutida. Uma possibilidade de economia neste sentido são edifícios fotovoltaicos, onde as 12.100 toneladas de material poderiam ser poupadas quando integrados no envelope de edifícios, por exemplo.

Por conseguinte, fica clara a necessidade de reciclagem de módulos fotovoltaicos e baterias em desuso para equilibrar a conta, já que os módulos têm vida útil de, em média, 25-30 anos, mas as células ficam intactas por não terem contato com umidade e oxigênio (PFANNER, 2019), a exemplo da empresa *PV cycle* que trabalha com os resíduos do mercado solar. Também, o reaproveitamento dos montantes metálicos e estruturas de concreto, que têm vida útil superior e podem ser reaproveitados - os códigos estruturais definem níveis de segurança associados a uma vida útil estrutural de 50 anos, referência na construção civil latinoamericana (BRANCO, PAULO, GARRIDO, 2013). Logo, a substituição de peças é premissa da tecnologia e faz-se necessário que os materiais empregados possam ser desmontados e separados fora de suas partes constituintes para substituição ou reaproveitamento. Neste sentido, quando transiro o raciocínio para um projeto arquitetônico, sem intenção de exaurir o assunto, mas fornecer amálgama entre energia e a disciplina, referencio o projeto *Nest-Unit UMAR - Urban Mining and Recycling Experimental Unit* (figura 11). Desenvolvido por Werner Sobek, Dirk E. Hebel e Félix Heisel e

descrito no livro *Recyclable* (SOBEK e HEINLEIN, 2019), é um laboratório para desenvolver soluções inovadoras para a indústria da construção, com foco no ciclo de vida dos materiais.

Figura 11 - Edifício NEST-Unit UMAR



(NEST-UMAR.net, s.d.)

Sobek e Heinlein (2019) evidenciam a importante influência dos trabalhos de Fritz Leonhardt e Frei Otto na busca por edifícios com gasto nulo de energia - especial ênfase no artigo "*Leichtbau - eine Forderung unserer Zeit*", "Estruturas leves - um requerimento dos nossos tempos" (Leonhardt, 1940, tradução nossa). Neste sentido, também chamo a atenção para a conexão entre os atores: Werner Sobek recebeu o Prêmio Fritz Leonhardt em 2015, destinado a engenheiros, e Sobek hoje dirige o Instituto de estruturas leves na Universidade de Stuttgart, como Frei Otto um dia o fez. Quando liderado por Otto, o instituto teve grande

contribuição junto a Günther Behnisch, Heinz Isler, Leonhardt, Andrä und Partner, Jörg Schlaich, Rudolf Bergermann, no detalhamento e construção do Estádio Olímpico de Munique, inspirado pelo Pavilhão Alemão da Expo 67 em Montreal. As inovações da grande cobertura de membrana suspensa e tensionada por mastros, incluindo a experimentação de materiais, são marcos histórico da arquitetura leve (HOLGATE, 1997).

Assim, o Nest-Unit UMAR projetado para o EMPA (*Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology*) e construído em Dübendorf, Suíça, é a trama criada por estas costuras. Para Werner Sobek, no que refere ao consumo de energia e materiais, os edifícios precisam ser projetados de forma que, mesmo com uso 100% de fontes renováveis, os materiais empregados também possam ser desmontados e separados fora de suas partes constituintes, se necessário. Isto significa “edifícios que são também bancos de materiais, depósitos de materiais, para usos futuros” (SOBEK e HEINLEIN, 2019, tradução nossa). Segundo o autor, idealmente, as fontes para novas construções não serão mais matéria bruta, mas a própria cidade e a combinação de materiais e ciclos de vida variados - *Life Cycle Thinking* (LCT) - embora isto seja raramente considerado nas primeiras fases de planejamento. Como resposta, o Nest-Unit UMAR, um projeto modular, leve, pré-fabricado, muito distante do arquétipo de edifício “verde”, é feito de materiais que podem ser reutilizados, reciclados ou compostados, além de módulos agregados ou desassociados do edifício segundo necessidade. O livro *Recyclable* e o edifício construído são catálogos - bidimensional e tridimensional - para expor tais características e dissipar o conhecimento dos materiais construtivos elegidos.

A escolha dos materiais construtivos naturalmente traça paralelo entre forma criada e energia consumida/ produzida. Também, o artigo *3for2: Realizing Spatial, Material, and Energy Savings through Integrated*

Design (SCHLUETER et al., 2016) ratifica o pensamento: a otimização de espaço, material e energia em edifícios é apresentada por meio da integração de sistemas estruturais, mecânicos e elétricos através de todo o ciclo de vida da construção, das primeiras decisões de projeto até construção e operação. A negociação entre variáveis resulta na gestão de resíduos como parte fundamental de projetos arquitetônicos. Indo ao encontro da base de análise - a planta solar Nuñez de Balboa - o que fazer com todo o material empregado para o sistema fotovoltaico depois que a vida útil do módulo chegar ao fim? Quando este pensamento transfere-se a edifícios fotovoltaicos, como projetar fachadas, telhados, janelas, com vida útil da peça construtiva menor do que o restante do edifício? É pensamento similar ao projeto Nest-Unit UMAR, em que as peças precisam ser trocadas ou reutilizadas com facilidade. Portanto, a racionalização de materiais e produção energética, como porosidade, é também maneira de arquitetura e energia coexistirem.

2.1.5. Em termos atômicos (fótons e elétrons)

Adiciono a última camada de análise. O que acontece depois da absorção da luz pela célula de silício? E é neste momento que retomo sua natureza dual já que, nesta escala, faz-se necessário pensar em luz como partícula - “pacotes de energia”, foco dos estudos de físicos há mais de 100 anos como em *“On a heuristic point of view concerning the production and transformation of light”* (EINSTEIN, 1905). Determina que quando um raio de luz se espalha a partir de uma fonte, a energia não é distribuída continuamente por espaços cada vez maiores, mas consiste em “um número finito de energia *quanta* que está localizada em pontos no espaço,

movendo sem dividir-se e que podem ser absorvidos ou gerados apenas como um todo” (EINSTEIN, 1905). *Quanta* é a ideia precursora do conceito de fóton, que surgiu posteriormente em 1920 (MIT OpenCourseWare, 2017), sendo base à teoria do efeito elétrico e, também, ao efeito fotovoltaico. Para abordar esta escala, além de luz entendida como partícula, é também necessário que o *zoom* de análise seja em nível atômico, o átomo de Bohr: imagine um núcleo (prótons e nêutrons) orbitado por uma enorme eletrosfera - grande vazio por onde os elétrons muito pequenos e leves estão sempre em movimento. É neste contexto que a energia elétrica será gerada.

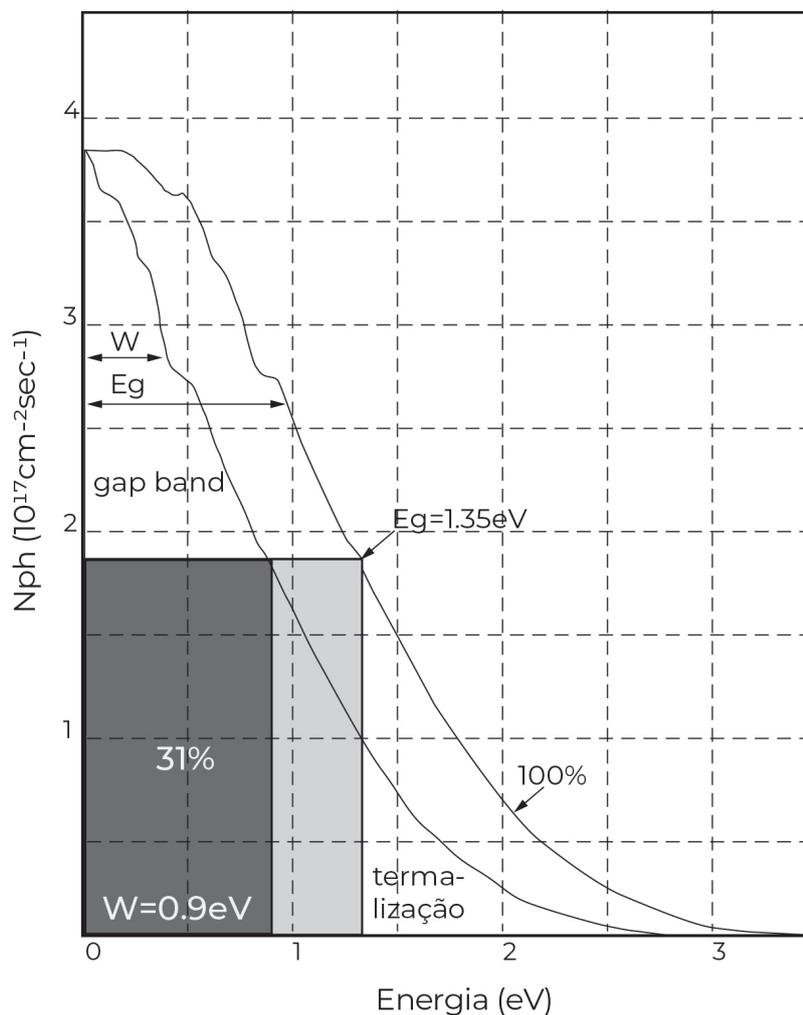
Com isto estabelecido, se eu excitar com a luz de uma lâmpada um pedaço de silício puro, por exemplo, e monitorar a corrente gerada com um amperímetro, como no experimento realizado pelo professor Tonio Buonassisi na aula “*Charge Excitation*” (MIT OPENCOURSEWARE, 2014) no tempo de vídeo 1:05h, o resultado será zero. Eis que, o campo elétrico dentro da célula fotovoltaica precisa ser projetado no dispositivo e não é propriedade inata do silício. Por ser um material semicondutor, tem habilidade de facilmente modificar sua condutividade, e a característica é importante para “dopar”, alterar propriedades do material, e projetar um campo elétrico a partir da inserção da junção p-n (PVEDUCATION.org, n.d.). O que significa, em suma? A inserção de átomos carregados positivamente (p), como o átomo de boro (3 elétrons na camada de valência), e átomos carregados negativamente (n), como o fósforo (5 elétrons na camada de valência): a partir desta junção há a formação de um campo elétrico que impede que os elétrons em excesso do lado negativo atravessem e cheguem até a outra metade com ‘falta de elétrons’. Neste contexto, os “pacotes de energia” que incidem com energia suficiente no material, libertarão os elétrons das camadas externas dos átomos, diminuindo a

força de atração de seus núcleos positivos, separando as cargas, que resulta na diferença de potencial e fluxo ordenado (corrente elétrica). Os sistemas fotovoltaicos só são autônomos por serem projetados com um campo elétrico interno ao dispositivo. Resumidamente:

- a energia solar excita os átomos que estão dentro do material;
- as cargas são separadas em um campo elétrico, para induzir voltagem;
- e a carga é coletada para uso.

Ademais, caso o fóton tenha energia maior do que o necessário para liberar o elétron e gerar corrente ordenada, o excedente é transformado em calor: termalização. Este é o “resíduo” da interação entre fóton e matéria e precisa ser considerado para a integração de módulos fotovoltaicos nos envelopes de edifícios, já que precisam de ventilação e dissipação do calor para manter a eficiência. O gráfico desenvolvido por Henry (1980) no artigo *Limiting efficiencies of ideal single and multiple energy gap terrestrial solar cells*, analisa a eficiência de uma célula solar ideal e é referência importante para entender a relação entre fótons absorvidos e energia gerada (figura 12). “A área sombreada é a energia por unidade de área entregue” (HENRY, 1980), o que não está sombreado são as perdas do sistema (termalização e não absorção). Então, a energia solar disponível nas circunstâncias da célula ideal é 31%. As áreas precisam estar em equilíbrio: se uma variável for muito otimizada e eu aumentar no eixo x a eficiência, por exemplo, o valor do eixo y cairá abruptamente e a área de energia disponível será menor do que 31%. Isso acontece porque quanto menor o *band gap* da célula fotovoltaica - “mínima quantidade de energia requerida para libertar o elétron da ligação existente” (PVEDUCATION.org,

s.d., tradução nossa) - maior as perdas por termalização. Ou seja, se eu arbitrariamente aumento a absorção de fótons e liberação de elétrons livres para gerar corrente elétrica, a termalização será maior. E vice-versa. Também, porque a carga é coletada para uso por meio de conectores metálicos em série, fica evidente outro possível fator de perda: o sombreamento. Comumente, módulos fotovoltaicos são compostos por 36 células conectadas em série, produzindo voltagem suficiente para carregar uma bateria de 12V (PVEDUCATION.org, s.d.). Uma única célula solar de silício tem voltagem por volta de 0.5V, na condição de 25 °C. Portanto, a corrente elétrica total é a corrente individual de cada célula multiplicada pelo número de células em paralelo: $I \text{ (total)} = I \text{ (célula)} \times M$ (número de células em paralelo). Não há, por certo, dúvida de que mesmo o sombreamento parcial de algumas células afetará a energia disponível para conversão elétrica de todo o sistema por estarem interligadas paralelamente, devido à irradiação não uniforme e *mismatch*, incompatibilidade das células dentro do módulo e dos módulos dentro do sistema fotovoltaico (HOFER, NAGY e SCHLUETER, 2016). Destaco dois importantes artigos sobre o tema, com vínculo a arquitetura: *Electrical design and layout optimization of flexible thin-film photovoltaic modules* (HOFER, NAGY e SCHLUETER, 2016) e *Methods for modelling and analysis of bendable photovoltaic* (GROENEWOLTI et al., 2016), ambos encadeiam pensamentos sobre formas arquitetônicas e o design das conexões elétricas de sistemas fotovoltaicos para maior eficiência, relativo ao sombreamento parcial em formas complexas de dupla curvatura, por exemplo.

Figura 12 – Análise gráfica da eficiência da célula fotovoltaica ideal²

(Adaptado de HENRY, 1980)

O desafio está em, cada vez mais, aproveitar o espectro solar em sua totalidade e compreender este material construtivo multiescalar. Em suma, todas as camadas de complexidade exigem variáveis de projeto para alcançar a eficiência esperada da tecnologia e desmembrá-las é importante para inferir significado ao material construtivo. Exige trabalho interdisciplinar e comunicação entre diversos *stakeholders* além de

² No gráfico, o fluxo de fótons (Nph), absorvido por um material semiconductor, está em função da energia (eV). A curva externa E_g , quantidade de fótons absorvidos, é sobreposta à curva W , ou seja, trabalho realizado por fótons absorvidos. As perdas por termalização e *gap band*, determinam W (0.9eV).

pensamento em termos: esféricos (rotação), espaciais (m^2), angulares ($^\circ$), de refletância (%) e atômicos (fótons e elétrons), que resultam em diferentes desdobramentos. Ou seja, a disponibilidade de energia solar no local de implantação, área consumida pelo sistema fotovoltaico para atender determinada demanda energética, angulação entre raios solares e módulos, otimização óptica do material para maior absorção de energia, e efeito fotovoltaico que resulta em conversão elétrica. Em sequência, adiciono a última capa de gordura ao esquema: os aspectos culturais também são de extrema importância e serão fundamentados a seguir. Abraça todas as variáveis aqui listadas, e diz respeito à interação entre produção fotovoltaica e homem.

2.2. BARREIRA SOCIAL

Começo pelo axioma: "vivemos em uma era marcada por uma população mundial em expansão e um suprimento cada vez menor de recursos" (SOBEK, 2019). Esta afirmação, quando está fora do contexto epistêmico, mostra dualidade. De um lado, com um grande número de publicações multimídia, a ideia é conhecida pelo público, um jargão (SCHMID, 2005) - como energia renovável, agricultura orgânica ou sustentabilidade. Por outro, resulta em uma forte barreira cultural para a sociedade incorporar novos hábitos no dia a dia (CAAMAÑO-MARTÍN e NEILA, 2013). Então, se a energia permite a satisfação dos desejos humanos, por que não exercemos uma posição de responsabilidade com sua produção e consumo? A pergunta faz o papel mais de conduzir aqui o pensamento do que um alvo a ser respondido, e servirá como

fundamentação para a complexa barreira cultural que atinge sistemas fotovoltaicos.

Já que “a desaprovação social pode funcionar como um fator restritivo na concretização dos ambiciosos objetivos governamentais” referentes à produção de energia renovável (SCOGNAMIGLIO, 2016, tradução nossa), diretivas como a *European Directive 2009/28/EC*, a *European Building Performance Directive – EBPD* com meta de todos os novos edifícios terem gasto quase zero de energia até o final de 2020 na União Europeia, ou a exemplo das medidas estipuladas pelo estado de Nova York, EUA, sob incumbência do governador Andrew M. Cuomo, com o objetivo de transferir 70% de sua eletricidade para fontes de energia renováveis até 2030, são providências que impulsionam o mercado solar, mas sofrem com barreiras culturais. A velocidade dessa impulsão, muitas vezes uma transição abrupta e unilateral entre os modelos tradicionais de produção energética e fontes renováveis, e ênfase a energia solar, causa um efeito deletério pela falta de mediador - a arquitetura, por exemplo. Diferente dos combustíveis fósseis sistemas fotovoltaicos tornam-se visíveis e transformam a paisagem porque os módulos estão próximos de onde as pessoas vivem (SCOGNAMIGLIO, 2016), ou seja, introjeta valores que afetam aqueles que convivem com a tecnologia, com alto grau de autonomia e possibilidade de instalação nas mais variadas localidades. Esta nova relação demanda acordos tácitos diferentes do que historicamente estamos habituados e negligenciar sua característica social é, de certa forma, deturpar seu prolífico campo de atuação e possibilidades de alcance (SANTOS, 2013).

Para fundamentar essa nova relação, sob a ótica cultural, busco referência histórica para entender seu processo de amadurecimento. No século XVIII, por exemplo, navios baleeiros passavam anos nos mares

caçando baleias e estocando óleo a bordo. Após uma longa jornada, retornavam aos portos de origem para suprir a vida urbana com óleo de baleia (figura 13), a principal fonte de iluminação pública e matéria-prima de velas. A caça às baleias foi uma atividade econômica lucrativa até o século XIX e é retratado no livro *Moby Dick* (MELVILLE, 1851), no qual Ishmael, um marinheiro, conta sobre a viagem infeliz de um navio baleeiro liderado pelo capitão Ahab com o objetivo de matar Moby Dick - uma baleia branca, o antagonista. Além da busca por vingança e desenrolar do romance, Melville descreve detalhadamente o trabalho, quase como uma narrativa documental. Reinterpretado, com ênfase, no filme dirigido por John Huston (1956) e ilustrações de Bill Sienkiewicz (1990) e Christophe Chabouté (2017).

Figura 13 - Caça às baleias para o suprimento da vida urbana



(MOBY DICK, 1956)

Esse clássico literário foi escrito em um contexto em que as baleias estavam quase extintas e onde a busca por fonte de energia se dava muito

distante do horizonte da arquitetura: nos oceanos. Se formos mais além, a descoberta do petróleo que salvou as baleias da extinção, impediu o desmatamento para lenha, possibilitou a revolução agrícola e tornou o motor de combustão possível no século XIX, hoje aterroriza por sua natureza finita, produção de gases, conflitos sociais e derramamentos oceânicos em larga escala, como na costa nordeste do Brasil em novembro de 2019. Neste ciclo contínuo de avanços técnico-científicos, o processo também é apartado da arquitetura, onde a extração se dá no subterrâneo. Portanto, hoje o interesse em raios solares incidentes na superfície da Terra como fonte de energia, onde a vida humana desenrola, demanda novos acordos que são cruciais para a aceitação social e que antes eram invisíveis à população e distantes das possibilidades arquitetônicas.

Esse processo foi lento. De acordo com as previsões de Nemet (2006) e Raugei e Frankl (2009), com ênfase no artigo *Beyond the learning curve: factors influencing cost reductions in Photovoltaics* (2006), fica claro que a passo dos avanços tecnológicos referentes à eficiência e funcionamento da célula e módulo fotovoltaico, com os anos sua curva de custo alcançou o preço de venda da energia oriunda de gás e carvão. Ou seja, a tendência é que, diferente do contexto dos anos 70 em que mesmo que impulsionada pela crise do petróleo era vista como uma “*great promise, lot of problems*” “grande promessa, mas ainda com muitos problemas”, com custos elevados que chegaram a 10 dólares/watt, ou seja, gastar cerca de 12.000 dólares para manter uma torradeira funcionando (SCHUYTEN, 1979). Na atualidade essa impressão, unida à queda dos preços, é distinta e permite que o que antes era destinado apenas ao remoto, sem opção de outra fonte de energia senão a fotovoltaica, como em satélites, por exemplo, hoje a “assimilação, conversão, armazenamento e transporte de energia renovável seja um dos usos mais importantes no século XXI”

(SCOGNAMIGLIO, 2016, tradução nossa). Energias renováveis são a forma de energia que mais cresce no que compete à geração, como eólica, solar, bioenergia e energia hidrelétrica, que mostram participação crescente nas matrizes (PIETROSEMOLI e RODRÍGUEZ-MONROY, 2019).

No entanto, os resultados de tal autonomia muitas vezes são casos como o descrito na reportagem do New York Times *“He Set Up a Big Solar Farm. His Neighbors Hated It”* - Ele montou uma grande fazenda solar. Seus vizinhos odiaram (NIR, 2020, tradução nossa) (figura 14). Depois de Timothy Masters arrendar suas terras na zona rural de Lewiston, EUA, para uma companhia de energia solar instalar módulos fotovoltaicos, tornou-se alvo de uma reação crescente contra a expansão de fazendas solares nas áreas rurais (NIR, 2020). Segundo Masters, um dentre os proprietários de terras que tentam lucrar com o impulso do estado de Nova York em direção a energias renováveis, hoje a empresa solar paga 20 vezes mais do que o produtor de soja que alugava suas terras anteriormente. Logo, há também oposição econômica de pequenos agricultores que arrendam lotes de terras de proprietários maiores e “temem que sejam espremidos por empresas de energia dispostas a pagar mais pelo uso de terras agrícolas para suas células solares” (NIR, 2020, tradução nossa). Outras razões opositivas citadas são: o impacto nas vistas pastoris, o perigo de ofuscamento para os motoristas que trafegam, a preocupação com corujas ameaçadas pela dificuldade em encontrar ratos de campo para comer entre os módulos fotovoltaicos, além da desvalorização das casas em terrenos vizinhos às plantas solares: *“This house, what I want to leave for my son, is going to be worth nothing”* - Esta casa, que eu quero deixar para o meu filho, não valerá nada (NIR, 2020, tradução nossa).

A resposta não é exclusiva de Nova York; na Virgínia, o cancelamento de uma fazenda solar com capacidade de 80 MW, por pressão de protestos

da comunidade perto de Culpeper, EUA, em 2019 inspirou a criação de uma organização sem fins lucrativos. Com a missão de educar o público sobre o impacto negativo da construção de plantas solares em grande escala para fazendas, bosques e comunidades, o *Citizens for responsible solar*, <https://citizensforresponsiblesolar.org/>, é um grupo que protesta contra a “destruição da paisagem rural da Virgínia” (CITIZENS FOR RESPONSIBLE SOLAR, s.d., tradução nossa). Também promove o uso responsável da energia solar, que para eles significa “projetos urbanos, industriais, rurais de menor escala, instalações no telhado e instalações que não resultem na perda de fazendas, bosques e habitats selvagens” (CITIZENS FOR RESPONSIBLE SOLAR, s.d., tradução nossa).

Figura 14 - Reação anti-solar às fazendas solares nos Estados Unidos



(MARCH, L. (fotógrafa), 2020)

Em contraposição, como resposta à crescente reação popular anti-solar, criou-se o *Solar Energy Industries Association* nos Estados Unidos. Abigail Ross Hopper, presidente e chefe executiva da associação, afirma que muitos agricultores precisam da renda vinda do mercado solar para

complementar seus negócios tradicionais, de maneiras que vão além do arrendamento de terras para sistemas fotovoltaicos. Por exemplo, alguns alugam ovelhas para comer e controlar a grama dos terrenos que abrigam os módulos. É o único animal que se comporta bem em tal condição, já que as vacas são muito altas e as cabras podem escalar os módulos e danificá-los (NIR, 2020). Também, o *The Washington Post* retrata a questão na reportagem “*The next money crop for farmers: Solar panels*” - A próxima safra de dinheiro para os agricultores: painéis solares” (BOOKWALTER, 2019, tradução nossa), como estratégia de maximizar os ganhos na área rural já que “seriam cerca de três vezes o que uma colheita média produziria”. E porque terras agrícolas são planas, com baixos custos de instalação, construção e manutenção, bem expostas à incidência solar, além de estarem próximas à rede pública de energia, tornam-se alvo de empresas do ramo para arrendar espaço, impulsionadas por decisões políticas como a medida incentivada por lei estadual que exige que os recursos renováveis em Illinois, EUA, forneçam 25% da energia até 2025 (BOOKWALTER, 2019). Porém, essa transição também é preocupante no que diz respeito ao desuso de solo fértil e produção de alimentos como consequência da baixa dos preços das *commodities* - milho com valor 7% mais baixo e soja 15% mais baixo nos EUA em 2019 - além da falta de apoio na vida do campo (BOOKWALTER, 2019).

Neste sentido, Scognamiglio (2016) listou possíveis aspectos crescentes e decrescentes do bem-estar proporcionado às comunidades pela instalação de sistemas fotovoltaicos. Entre os aspectos positivos estão: desenvolvimento econômico, segurança no suprimento de energia, benefícios ecológicos, compensação comunitária, compensação pessoal, distinção de local e justiça processual. E os negativos: diminuição das vistas, preocupações com segurança, ruído, poluição, destruição da

paisagem, mudança ecológica, diminuição dos valores de propriedade e injustiça processual. Para aquela autora, a barreira social só será vencida quando o “conjunto de resultados deixem os locais pelo menos tão bem quanto antes do projeto fotovoltaico”. Uma aliada essencial para tal transição e aceitação será a arquitetura, mas a prática corrente ainda é tratar energia e arquitetura como domínios separados (SCOGNAMIGLIO, 2016). Um exemplo de integração bem sucedida está no projeto *Agrinergies* desenvolvido pela empresa Akuo em Saint-Pierre, La Réunion, França: a união entre produção de energia, produção de erva-cidreira abaixo dos módulos, estufas para proteção das plantas com cobertura fotovoltaica integrada e módulos monocristalinos dispostos em ângulo de 10°, mas que variam angulação como ondas no percurso e criam topografia convidativa. A abordagem garantiu que o empreendimento fosse aprovado, já que na ilha francesa não é permitida a construção de sistemas fotovoltaicos devido às leis de preservação da terra e paisagem (SCOGNAMIGLIO, 2016). Para alcançar tal resultado, faz-se necessária uma maior conscientização dos arquitetos para o cenário (SANTOS, 2013).

A integração e diversificação energética, se bem sucedida, traz segurança e resiliência no suprimento de energia elétrica que na falta percebida em casos extremos como *blackouts* pode ser também vinculada a questões da economia, política, transporte, segurança, sistema de saúde, escassez de medicamentos, distribuição de água, comunicação, alimentação, hábitos, equidade, vulnerabilidade social e sustenta este heterogêneo sistema. Quando posiciono a lupa de análise sobre a América Latina, a verdade nos impele a aprender que mesmo tratando-se de um continente rico em recursos que impulsionam o desenvolvimento da energia renovável, novamente “a desaprovação social pode funcionar como um fator restritivo na concretização dos ambiciosos objetivos

governamentais” (SCOGNAMIGLIO, 2016, tradução nossa), e aqui estendo “desaprovação social” como um conceito mais abrangente, que abraça também a política e gestão nacional. Se por um lado, a exemplo da Costa Rica, Nicarágua e Uruguai, que em dez anos alcançou a meta de suprir 95% de suas necessidades energéticas a partir de fontes renováveis sem subsídios e sem aumentar os custos para a sociedade, com parcerias público-privadas para desenvolver um *framework* regulatório adequado a suas metas. Por outro, a Venezuela deixou de ser líder mundial em energia e um dos principais produtores e exportadores de petróleo e derivados, bem como um dos principais produtores mundiais de energia hidrelétrica, para tornar-se “importador de petróleo, combustível e eletricidade, sofrendo com escassez severa de energia e frequente racionamento de eletricidade” (PIETROSEMOLI e RODRÍGUEZ-MONROY, 2019, tradução nossa).

O país é uma das maiores reservas de hidrocarbonetos no mundo, e um dos maiores produtores de energia hidrelétrica que, junto a Itaipu no Brasil, com condições geográficas e hidrológicas excepcionais, a planta de produção hidrelétrica Guri “permitiu o suprimento de 70% das necessidades de energia elétrica venezuelana” (PIETROSEMOLI e RODRÍGUEZ-MONROY, 2019, tradução nossa). Um marco na história nacional que alcançou o excelente nível de eletrificação de 90%, com rede espalhada por todo o país. Porém, a transição da parceria público-privada do final dos anos 1990 para um monopólio estatal que em “2007, a empresa estatal Corpoelec assumiu o controle total do setor de energia elétrica” (BAUTISTA, 2012, tradução nossa), unido a manutenção e investimentos inadequados, *framework* regulatório estagnado, compra de maquinários antigos e de baixa eficiência, projetos de construção e reforma inacabados após décadas de trabalho, a indiscriminada e populista extensão de

políticas de subsídios, os milhões de dólares investidos no sistema elétrico mas inexplicavelmente não revertidos, a falha em reduzir as perdas elétricas de transmissão e distribuição do sistema, e o interesse escasso em promover projetos renováveis para diversificar a matriz energética, mesmo em ótimas condições de recursos naturais, convergem em um imbróglio de variáveis para o *déficit* energético (PIETROSEMOLI e RODRÍGUEZ-MONROY, 2019).

Mais recentemente, o mundo testemunhou os últimos *blackouts* na Venezuela, um dos eventos mais longos da história. A causa tem sido fonte de especulação mas, segundo especialistas em energia, “foi o resultado de anos de subinvestimento, corrupção e evasão de cientistas” (Le Monde Diplomatique Brasil, 2019; Folha de São Paulo, 2019; The New York Times, 2019). A falta de energia aprofundou o contexto venezuelano, já em crise, quando trinta milhões de pessoas ficaram sem energia por quase uma semana, tornando a situação política e econômica conturbada do país ainda pior. A recorrência e escala dos apagões, que implicou diretamente no fornecimento de comida e água, culminou em saques e violência. O sistema de saúde também foi afetado. Considerando o contexto, houveram tiroteios entre saqueadores e os proprietários, enquanto as pessoas tentavam invadir as lojas. “Eles estavam indo para hospitais, naquele momento, que não tinham eletricidade. Então, como você vai cuidar de pessoas com ferimentos à bala quando não há eletricidade?” (CASEY, 2019, tradução nossa).

Neste sentido, a possibilidade de novas crises não parece fazer parte do senso comum. Mesmo que a crise do petróleo no início dos anos 70 poderia ter sido um alerta diante do pressuposto de uma indefinida mobilidade motorizada; no Brasil, desencadeou a implementação do abastecimento a álcool. Em outros países, a indústria fotovoltaica. Estas

reações, disruptivas ou não, ainda não são possibilidades que justificam a precaução de forma generalizada. Uma omissão um tanto curiosa se considerada a história humana, fundada em crises e instabilidades.

2.3. CONTEXTO BRASILEIRO

Agora a minha lupa de análise pousa sobre o território nacional. O maior país da América Latina, com 211 milhões de habitantes segundo a projeção do IBGE 2020, com densidade populacional de 23,8 hab./km², muito inferior à Alemanha 230 hab./km² e à Suíça 186 hab./km², ou seja, um país de escala continental que faz fronteiras com Argentina, Bolívia, Colômbia, Guiana Francesa, Guiana, Paraguai, Peru, Suriname, Uruguai e Venezuela. Abundante em recursos, o Brasil tem um grande potencial solar (figura 15), porém a geração fotovoltaica é incipiente. Segundo o balanço anual da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para o Ministério de Minas e Energia (MME) (2020), no transporte, o petróleo é a principal *commodity*, representando 67,2% da matriz brasileira de combustíveis, predominantemente óleo diesel (41,9%). Os 32,8% restantes provêm do etanol (20,6%), biodiesel (4,5%), querosene de aviação e gás natural (parcialmente importado da Bolívia), neste sentido ressalto o crescimento da participação do etanol em relação aos anos anteriores. Na geração de energia elétrica, as hidrelétricas são a principal fonte, computando 64,9% da matriz (EPE, 2020), com marco histórico na inauguração da Itaipu em 1984 (14.000 MW de potência instalada, abastecendo 11,3% da energia consumida no Brasil). Assim, ainda que a energia oriunda de hidrelétricas seja limpa e renovável, sua aplicação é restrita pela necessária inundação

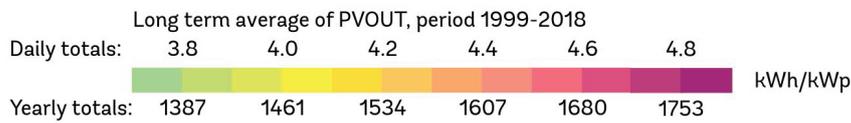
de grandes áreas, emissão de metano (CH_4) resultante da degradação anaeróbica de material orgânico submerso, a dependência hidrológica da região a ser implementada, que sofre em períodos de seca (como, por exemplo, os níveis baixos dos reservatórios na região sul brasileira em 2020), a necessidade de rede de transmissão para escoamento da energia produzida, além da alta energia embutida para a construção e manutenção de uma usina hidrelétrica (FERREIRA et al., 2018). É sabido da importância da diversificação energética, porém a contribuição fotovoltaica na matriz é de apenas 1%. Enquanto outras fontes renováveis, como a eólica e a biomassa, constituem 8,6% e 8,4%, respectivamente (EPE, 2020), com destaque para a empresa brasileira fabricante de pás eólicas: Aeris.

Sobre os recursos e disponibilidade solar no Brasil, pauso a escrita para uma breve digressão. Se compararmos as condições das cidades apresentadas nos estudos de caso em sequência, localizadas no hemisfério oposto, à cidade de Curitiba, por exemplo, o diagrama do caminho do sol em Curitiba (figura 16) apresenta maior elevação solar e superior quantidade de horas com sol disponíveis no ano. No que refere à precipitação, a média em Curitiba é similar aos exemplos que serão descritos – 1.390 mm/ano. Também, as figuras 17 e 18, fornecem comparativo entre Curitiba, Brasil, e Tamins, Suíça: enquanto a primeira transita entre temperaturas majoritariamente agradáveis e amenas (entre 18 °C e 24 °C), a segunda varia principalmente entre fresco, muito frio e gélido (entre -9°C a 13°C). Tais fatores ressaltam o potencial brasileiro para desenvolver edifícios produtores de energia, com melhor desempenho energético, ainda considerando que Curitiba, comparada a outras localidades do território brasileiro, é uma das cidades com menores resultados de irradiação solar disponível – na figura 15, veja Brasília, por exemplo.

Figura 15 - Potencial fotovoltaico no Brasil

SOLAR RESOURCE MAP

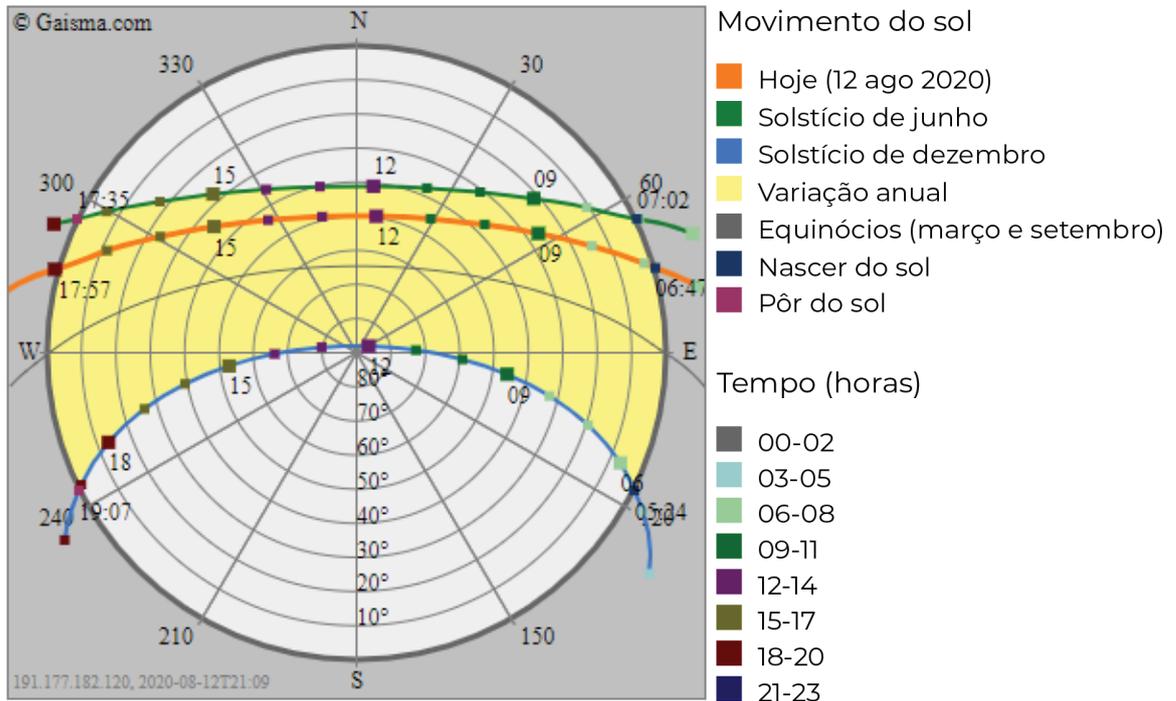
PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL BRAZIL



This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

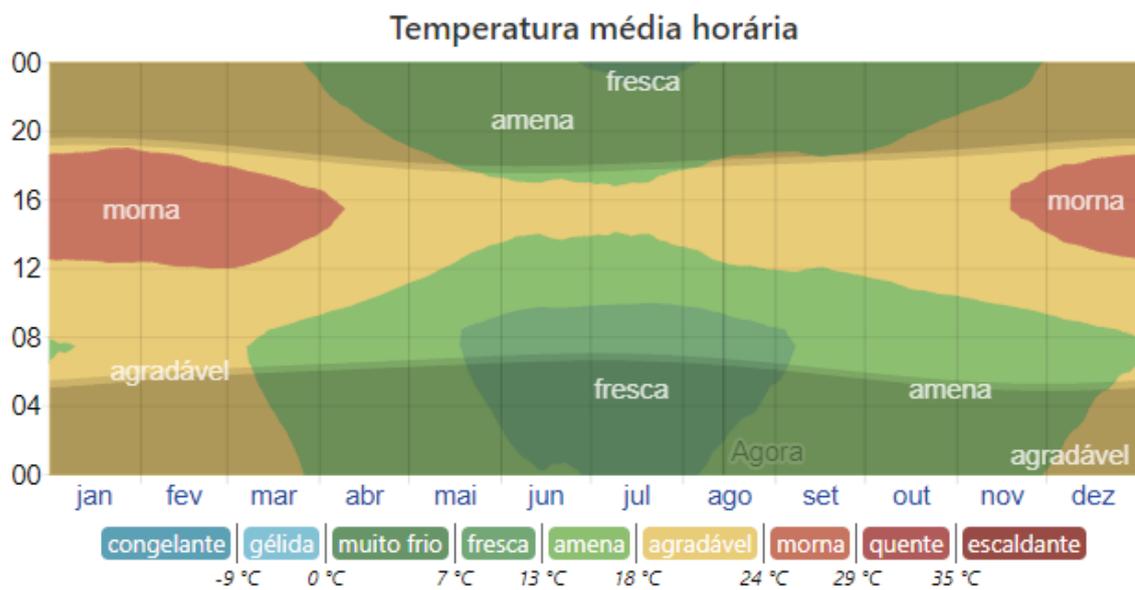
(GLOBAL SOLAR ATLAS, 2020)

Figura 16 – Diagrama do caminho do sol em Curitiba



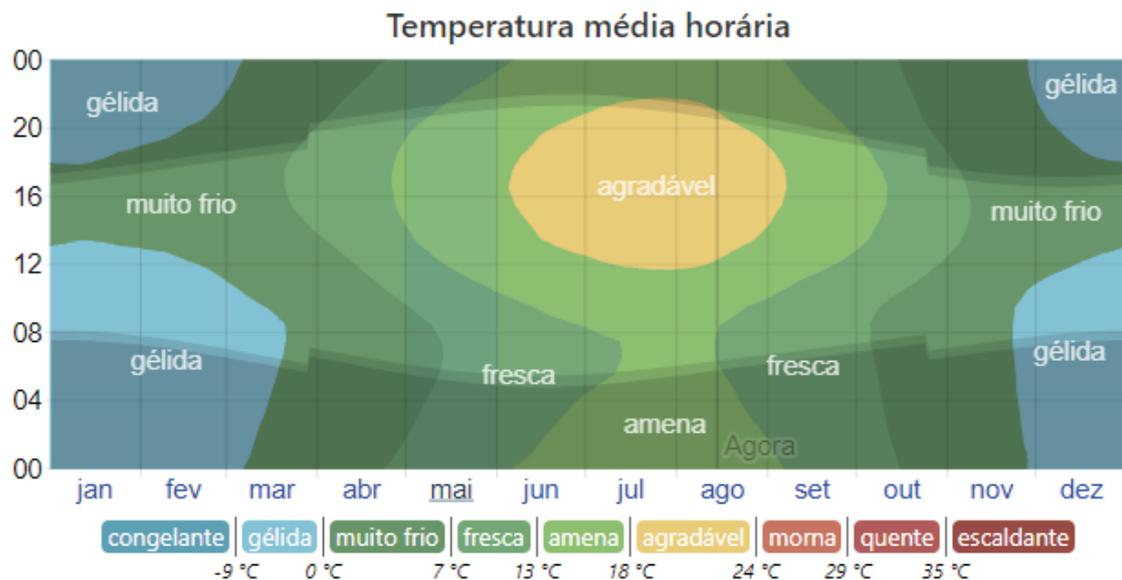
(GAISMA, 2020)

Figura 17 – Gráfico referente à cidade de Curitiba. O eixo horizontal indica o mês do ano e o eixo vertical indica a hora do dia. A cor é a temperatura média para aquele horário naquele dia e as áreas sombreadas representam o crepúsculo e anoitecer



(WEATHER SPARK, s.d.)

Figura 18 - Gráfico referente à cidade de Tamins. O eixo horizontal indica o mês do ano e o eixo vertical indica a hora do dia. A cor é a temperatura média para aquele horário naquele dia e as áreas sombreadas representam o crepúsculo e anoitecer



(WEATHER SPARK, s.d.)

O paradoxo da baixa aplicação de sistemas fotovoltaicos converge em diversas variáveis. De um lado, é tema recorrente de pesquisa em universidades. Porque o Brasil tem características favoráveis à tecnologia, como alto nível de irradiação solar e reservas de quartzo de qualidade, que pode gerar importante vantagem competitiva na produção de silício de grau fotovoltaico, durante os anos 1970s algumas universidades e institutos de pesquisa alemães iniciaram colaborações científicas. Foi o caso do Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, Brasil, e o Institut für Physikalische Elektronik (IPE), Universität Stuttgart, Stuttgart, Alemanha. O grupo de pesquisadores estudou e desenvolveu células solares de película fina, *thin film*, primeira geração de Cu₂S/ CdS (FERREIRA et al., 2018). Assim, as pesquisas no Brasil aconteceram em laboratórios bem equipados, espalhados nos cursos de pós-graduação nos anos 1958-72, resultando em intensa pesquisa sobre coletores solares térmicos, refrigeração, fornos,

fogões, secadoras e destilação. A fabricação fotovoltaica de módulos de silício durante os anos 1973-83 e novamente após 1994, com maior ênfase na implantação em campo durante os anos 2000 (DHERE, 2005), também aqueceu o mercado solar brasileiro.

Assim, a partir de meados dos anos 1980s, deu início a fabricação industrial de módulos fotovoltaicos, empregando células importadas. Tal experiência, incentivou a produção de células de silício brasileiras pela empresa Heliodinâmica (FERREIRA et al., 2018) liderada pelo físico Bruno Topel que consumou cerca de 25.000 projetos, grande parte em áreas remotas (TV CULTURA, s.d.). Os equipamentos foram comprados no exterior para fabricar desde as células até a montagem dos módulos, entregando sistemas fotovoltaicos brasileiros em completude. A empresa fechou em 2010 e foi a primeira e única a produzir o módulo de silício integralmente em território nacional (OSCAR, 2014), hoje as células são importadas da Ásia. Outra empresa de destaque no cenário brasileiro é a Sunew, localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais. Em 2010, os fundadores BNDES, FIR Capital, CSEM Brasil, TRADENER comercialização de energia e CMU comercialização de energia, financiaram pesquisas de desenvolvimento de filmes fotovoltaicos orgânicos (OPV), contando com cientistas especialistas de 18 nacionalidades. Em 2014 “o equipamento de impressão rolo-a-rolo desenvolvido pela equipe do CSEM Brasil, fabricado na Alemanha, é trazido para Belo Horizonte para instalação e primeiros testes” (SUNEW, s.d.). A empresa fornece filmes orgânicos para projetos de grandes dimensões e fomenta parcerias científicas e P&D.

No que diz respeito a plantas fotovoltaicas de geração centralizada, a primeira foi inaugurada em 2011 de iniciativa privada com capacidade de 1 MWp, no município de Tauá, Ceará, Brasil. Já em instalações conectadas à rede pública, alguns projetos piloto foram realizados nos anos 1990s,

principalmente em universidades e centros de pesquisa (FERREIRA et al., 2018). Porém, somente em 2012 essa modalidade de geração foi regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da Normativa Resolução nº 482/2012 que “estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências” (BRASIL, 2012). Ou seja, a produção de energia renovável, sistema fotovoltaico, por exemplo, com potência estipulada até 75 kW (microgeração) ou acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (minigeração)³, conectada à rede por meio de unidades consumidoras, gerará créditos para abater no faturamento. Nesse caso, o consumo a ser faturado “é a diferença entre a energia consumida e a injetada” (BRASIL, 2012), dispensada a necessidade de contratos de uso e conexão. A quantidade de energia ativa injetada que não tenha sido compensada na própria unidade consumidora poderá abater o consumo de outras atendidas pela mesma distribuidora “cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, ou cujas unidades consumidoras forem reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito” (BRASIL, 2012). Os créditos gerados têm validade de 60 meses após a data do faturamento, prazo estabelecido na REN 687, revisando a Resolução Normativa nº 482/2012. A REN 687 traz inovações como a possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras), além de geração compartilhada em consórcios ou cooperativas (BRASIL, 2015). Eis porque a partir de 2012 houve maior número de instalações fotovoltaicas, com ênfase no ano de 2015 (LUNA et al., 2019). Também, a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) lançou a chamada pública DIS GD

³ Os valores foram adaptados segundo a Resolução Normativa nº 687/2015 (REN 687).

001/2020, referente à contratação de energia proveniente de geração distribuída. Este projeto piloto, em outras palavras, oportuniza a compra de energia proveniente de geradores conectados ao sistema de distribuição, de produtores independentes de energia de pequeno e médio porte com potência instalada entre 1 a 30 MW. Isso sem restrição da fonte geradora: biomassa, biogás, eólica, solar ou hidráulica, “com possibilidade de ser o pontapé inicial para uma resolução específica sobre o tema” (COPEL, s.d.).

Do outro lado da moeda, sobre o incipiente desenvolvimento fotovoltaico, é percebido que, mesmo com avanços, faltam incentivos para a difusão da tecnologia. Para Luna et al. (2019), a normativa Resolução nº 482/2012 deveria ser aprimorada para reduzir ou isentar impostos sobre os equipamentos fotovoltaicos, bem como fornecer incentivos governamentais; permitir que o excedente de energia seja vendido ao distribuidor ou ao mercado livre; isentar impostos para instituições sem fins lucrativos e exigir em projetos de programas habitacionais eficiência energética. Também a exigência de melhor desempenho de novas edificações, em um país que, no setor da construção civil, empresas familiares ainda dominam o mercado e operam de maneira não industrial com pouco investimento de capital e trabalho não qualificado. O setor está amarrado a projetos com uso intensivo de concreto como material estrutural e alvenaria como solução de vedação, pautado por decisões baseadas em retornos imediatos e distantes da eficiência energética. Nesse sentido, a arquitetura é um catalisador poderoso para construções de melhor desempenho.

Também potenciais investidores e produtores do setor de energia “não dispõem de informações e conhecimento científico antecedente sobre fontes de energia renováveis e evitam riscos econômico-financeiros” (MELO et al., 2013, tradução nossa). Em 2013, no primeiro leilão de energia

que a produção fotovoltaica foi habilitada a participar, nenhum projeto foi contratado devido à falta de competitividade comparado a outras fontes (FERREIRA et al., 2018). E como os projetos instalados por iniciativas governamentais usam sistemas autônomos e estão implementados em regiões remotas, não há aumento da informação, difusão e educação social. A exemplo de Iniciativas como o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM) em 1994, posteriormente incorporado ao Programa Luz para Todos (LpT), subsidiado pelo governo federal e gerenciado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) que “desde a sua criação, foram destinados US\$ 37,25 milhões para 8.956 projetos e 5.112 kWp (quilowatt-pico) de potência” (ANEEL, s.d.), concentra em suas realizações escolas rurais, comunidades vulneráveis, pequenos produtores, núcleos de colonização e populações isoladas não servidas por rede elétrica. Portanto, a difusão de sistemas fotovoltaicos ocorreu em grande número nas comunidades afastadas e laboratórios de universidades, sem educação e aceitação social nos centros urbanos. Mais ainda, como ressaltam Cardoso, Oliveira e Silva (2013), os projetos em localizações remotas carecem de manutenção a longo prazo - substituição de baterias, substituição de módulos fotovoltaicos, conservação dos sistemas elétricos, portanto, mesmo que o ganho pelo aumento da eletrificação seja incontestável, no decorrer do tempo as medidas não se sustentam.

Outra possível explicação para o fenômeno ainda é o custo se comparado às fontes de energia tradicionais. Em 2013, por exemplo, um sistema fotovoltaico instalado na Alemanha custava 1.684 euros por kW de capacidade instalada (kWp). No Brasil, durante o mesmo período, o custo variou de 7.000 a 10.000 reais por kWp, o que equivale à média de 3.000 euros por kWp, no mesmo recorte temporal (FERREIRA et al., 2018).

Entretanto, os custos caíram expressivamente a partir de 2013, registrando uma favorável competitividade neste sentido.

2.4. SÍNTESE

A fundamentação aqui desenvolvida não é motivada por um desejo meu em exaurir o tema, mas como repertório inicial para entendimento da complexa engrenagem entre fatores sociais para sucesso de sistemas fotovoltaicos. Além das demais camadas de complexidade citadas anteriormente: a tecnologia sob a perspectiva de um material construtivo multiescalar, em termos esféricos, espaciais, angulares, de refletância e atômicos. Servem de base para os próximos capítulos e ênfase para a necessária interdisciplinaridade da arquitetura ao abordar energia também como seu repertório. Afinal, para serem bem-sucedidas, as mudanças requerem estratégias holísticas, cientes da existência de restrições humanas (PIETROSEMOLI e RODRÍGUEZ-MONROY, 2019).

Também é possível intuir que em todas as etapas existem tomadas de decisão a se fazer na arquitetura. Em termos esféricos, qual é o contexto específico do edifício? Como controlar o albedo, ou seja, refletividade da superfície? Em termos espaciais, qual a porosidade do sistema fotovoltaico? Quanto espaço consumirá e em detrimento de quais fatores? Quais os usos sincrônicos? Em termos angulares, qual a relação entre absorção solar e conversão elétrica? Ou seja, qual a posição angular para a máxima absorção de energia dos módulos fotovoltaicos e em detrimento do quê? Em termos de refletância, quanto material consumirá e qual o seu ciclo de vida? Como funcionará a compatibilidade entre peças? Em termos atômicos, como será o manejo do calor produzido pelo módulo? Como

estarão integradas as conexões elétricas? Em termos sociais, como será a aceitação dos usuários e o seu padrão de consumo energético? Quais são as políticas e estratégias de incentivo? Para todas as perguntas, a arquitetura é um importante mediador na integração fotovoltaica bem sucedida: alcançando a eficiência na conversão elétrica, mas também, qualidade construtiva e espacial, além de sua efetiva implementação.

Logo, parto agora para a delimitação do método de pesquisa. Considerando as variáveis explicitadas anteriormente, busco tal interdisciplinaridade e coexistência entre arquitetura e energia nas informações bibliométricas para identificar lacunas e ênfases existentes, o que indicará o caminho a seguir.

3. MÉTODO

Evoco novamente o problema de pesquisa: *“na concepção de edifícios fotovoltaicos, quais fundamentos suportam uma integração holística à arquitetura?”*. A escassez de publicações sobre o tema e, quando considero o contexto brasileiro o número cai vertiginosamente, indica a insuficiência de base teórica. Logo, a pesquisa mostrou-se com ênfase empírica, aspecto essencial da lógica indutiva, atividade descritiva e uma abordagem fenomenológica para explicar e interpretar resultados prováveis.

Supondo, pois, que tal natureza é encontrada mais na prática do que na teoria, decidi observar casos da realidade concreta - projetos arquitetônicos de valor agregado ao considerar energia uma variável de projeto. Agora, busco sintetizar este conhecimento tácito a partir de múltiplos estudos de caso para promover a “conversão de um

conhecimento individual ou coletivo, expresso de forma tangível ou intangível, em conhecimento codificado e tangível, que pode ser comunicado e utilizado por outras pessoas” (SANTOS, 2018). Para este fim, combinei revisão de literatura, pesquisa documental e entrevistas semiestruturadas. Portanto, estudei os múltiplos estudos de caso em seis etapas lineares e bem definidas (figura 19): definir uma estrutura conceitual-teórica na revisão de literatura; desenvolver o protocolo para seleção de estudos de caso e coleta de dados; conduzir teste piloto com especialistas no Brasil para ajustes necessários; coletar dados a partir de entrevistas semiestruturadas e pesquisa documental; reduzir os dados e identificar causalidade; promover estrutura para replicação do conhecimento codificado. Cada etapa será detalhada a seguir.

Figura 19 - Visão geral do método



(Autora, 2021)

3.1. REVISÃO DE LITERATURA

De março 2018 a abril de 2019: Utilizar informações bibliométricas objetivas, derivadas da Revisão Bibliográfica Sistemática, para delimitar o problema de pesquisa. Ademais, a elaboração de uma estrutura teórica base é “imprescindível para [...] subsidiar adequada elaboração do protocolo de coleta de dados” (SANTOS, 2018).

A partir da busca de artigos em inglês revisados por pares no banco de dados da CAPES no Brasil, restrita por busca booleana: “BIPV” AND “early design phase”, surgiram 112 resultados. Aqui vale uma pausa para clarificar a escolha dos termos: BIPV é autoexplicativo, mas *early-design phase* abre possibilidades de escolha. No artigo: “*Review and critical analysis of early-design phase evaluation metrics for the solar potential of neighborhood designs*”, encontrei na definição de Nault et al. (2015) resultados satisfatórios de busca. Fechado este parêntesis, dos 112 artigos encontrados, selecionei apenas os publicados nos últimos 5 anos (2015 a 2020), pertencentes a periódicos bem qualificados pela Qualis-Periódicos (classificação A e B), obtendo ao final 66 resultados. Destes, é perceptível que cinco categorias são desenvolvidas com ênfase:

- diretrizes de projeto para intervenções no nível de fachada ou telhado fotovoltaico;
- lista de estratégias para integração fotovoltaica e otimização energética em edifícios;
- análise de desempenho por meio de *software* para evitar possíveis falhas e *gaps* de energia;
- análise de custos para efetividade da implementação fotovoltaica;
- visão geral da tecnologia.

Dos 66, apenas 2 artigos descrevem a coexistência entre energia e arquitetura, estabelecendo relações entre o espaço criado e as estratégias de produção energética, com ênfase em "*Coupling energy systems with lightweight structures for a net plus energy building*" (LYDON et al., 2016). Esta conclusão destaca a lacuna que trabalho na dissertação: abordar energia como parte da gênese arquitetônica.

Acrescento também que minha participação no concurso *Solar Decathlon* para projetar uma escola com energia líquida negativa - *net negative* - em Piraquara (25°26'32"S 49°03'52"W, região metropolitana de Curitiba, Brasil), contribuiu para delimitar com precisão o problema de pesquisa levantado na Revisão Bibliográfica Sistemática. O projeto foi para as finais do concurso e foi apresentado no Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL) em abril de 2019 em Golden, Colorado, EUA. Observei que os aspectos da competição estavam ligados à "libertação do homem das condições climáticas" pelo uso da tecnologia para alcançar padrões de conforto na arquitetura. Portanto, a qualidade dos trabalhos foi analisada de acordo com o nível de satisfação do desempenho da máquina, sem relação com o espaço criado a partir desta integração - ideia que está de acordo com os dados bibliométricos levantados e também com as conclusões de meus colegas de trabalho, a Equipe Paraná (figura 20), formada por professores, doutorandos e mestrandos para a competição. Em paralelo, nosso processo de projeto foi interdisciplinar e buscou uma integração holística à arquitetura, incluindo: aceitação social, equipamentos comunitários, recursos locais, educação ambiental, ganho solar, oportunidade de luz do dia, fluxo de vento, ventilação natural, análise de faixa de sombreamento, otimização de fachada, volumes estimulantes, conforto térmico, capacidade térmica remota, conforto acústico, soluções

de design resiliente, racionalização estrutural, energia líquida negativa (*net negative*), dejetos como fonte de energia, reutilização da água da chuva e energia fotovoltaica integrada ao edifício (BIPV, em português edifícios fotovoltaicos). Nas figuras a seguir, disponibilizo algumas imagens do projeto, criadas pelo Paraná Team (figuras 21, 22, 23), para evidenciar tais relações.

Portanto, também com este exemplo, é possível intuir que há uma zona cinzenta entre produção de energia e arquitetura. Neste contexto é tentador ver o edifício como produto de uma análise procedente apenas de parâmetros técnicos - engenharia estrutural, fabricação, sustentabilidade - quando na verdade o espectro de variáveis é bastante complexo, regido por uma diversidade de forças. Decisões pautadas em dados que visam eficiência energética transitarão em várias camadas de complexidade, que são interdisciplinares.

Figura 20 - Integrantes da equipe *Paraná Team* para o concurso *Solar Decathlon*



(PARANÁ TEAM, 2019)

Figura 21 - Proposta desenvolvida para o concurso *Solar Decathlon Design*
Challenge: Piraquara School



(PARANÁ TEAM, 2019)

Figura 22 - Cobertura fotovoltaica, módulos monocristalinos são material construtivo integrado à estrutura do telhado, gerando excedente de energia elétrica para consumo da escola e edifícios públicos de Piraquara, além de ser elemento articulador entre os diferentes volumes



(PARANÁ TEAM, 2019)

Figura 23 - Sala de aula, estrutura em madeira laminada colada, otimização da luz incidente e ventilação natural



(PARANÁ TEAM, 2019)

3.2. ENTREVISTAS PILOTO

De abril a maio de 2019: Para aperfeiçoamento do protocolo, realizar entrevistas semiestruturadas com especialistas para testar e ajustar a pesquisa antes da efetiva captação das informações. Realizei o teste piloto com especialistas para entender as certezas, suposições e dúvidas - matriz CSD - sobre a integração fotovoltaica na arquitetura brasileira: Prof. Lucimara Stolz Roman (30 de setembro de 2019, 14 horas, Campus politécnico UFPR, Curitiba, figura 24), Prof. Aloísio Schmid (03 de outubro de 2019, 12h30min, restaurante Levantino, Curitiba, figura 25) e o Eng. José Mario Moraes e Silva (22 de outubro de 2019, 9 horas, LACTEC, Curitiba, figura 26).

Figura 24 - Entrevista piloto com a Prof. Lucimara Stolz Roman



(DIAS, S. (fotógrafa), 2019)

Figura 25 - Entrevista piloto com o Prof. Aloísio Schmid



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 26 - Entrevista piloto com Eng. José Mario Moraes e Silva



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Para os especialistas é certo que a tecnologia deve ser integrada à arquitetura, proporcionando autonomia energética em edifícios. Também têm convicção que a capacitação de arquitetos e engenheiros referente à forma, volume, detalhamento, material construtivo, é indiscutível e de natureza interdisciplinar. Há carência de oferta de soluções construtivas no Brasil, além da falta de incentivo a técnicas passivas e ativas na arquitetura como disciplina. Para disseminar a ideia, consumidores também precisam de informação e a arquitetura tem capacidade mediadora e educadora neste sentido. Os especialistas também apontaram a necessidade de capacitação de instaladores, a dificuldade de implantação de sistema de geração distribuída em edifícios existentes que não o consideraram na fase de projeto e o crescimento do mercado solar brasileiro que, cada vez mais, terá a participação de grandes empresas como a WEG S.A. que importa

módulos fotovoltaicos e fica responsável por conectores e comercialização em território nacional.

Supõem que os sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas gerarão porção principal da energia demandada, sem a necessidade de fazendas solares e grandes impactos na paisagem. Assim, haverá programas de incentivo no futuro por parte do governo, empresas, universidades, investidores, entre outros, e *stakeholders* mudarão a percepção quanto à possibilidade de um edifício autônomo em energia no Brasil. No entanto, a transição será difícil e com incertezas sobre como regulamentar a produção energética de geração distribuída. Também supõem que outros saltos tecnológicos ainda estão por vir, como células fotovoltaicas de rendimento acima de 25%, filmes fotovoltaicos e orgânicos de alto rendimento, com um aumento no mercado brasileiro que poderá atingir mais de 2 milhões de conexões de geração distribuída. Outras suposições são a evolução da arquitetura na sinergia entre estratégias passivas e ativas, o comércio informal de energia elétrica para veículos em que a conta de mobilidade irá integrar-se a conta de operação e construção dos edifícios, a dificuldade de fábricas produtoras de tecnologia fotovoltaica se instalarem no Brasil por motivos de mercado e competitividade, a complexa segurança cibernética dos sistemas fotovoltaicos, que exigirão estudos e inteligência artificial para operação e controle, e o impacto positivo da geração distribuída nas ilhas de calor dos centros urbanos.

Os especialistas levantaram dúvidas sobre o impacto ambiental do descarte de módulos fotovoltaicos, como calcular o balanço energético do material e energia embutida em sua fabricação, a dificuldade em compatibilizar a vida útil do módulo e a vida útil do edifício e demais peças construtivas em um contexto real de mercado. Dúvidas sobre como as relações interdisciplinares para implementação da tecnologia acontecerão

quando fora da universidade, se sistemas construtivos muito robustos e duráveis continuarão fazendo sentido neste contexto e dúvidas sobre o possível impacto da fusão nuclear no mercado fotovoltaico... Entretanto, a transição e aperfeiçoamento da tecnologia ocorrerão em quanto tempo? 100 anos?

A partir das matrizes CSD, contei com uma última oportunidade para refinar a fundamentação teórica e problema de pesquisa, além de praticar a dinâmica da entrevista com terceiros. Na análise de falseabilidade, o posicionamento da Prof. Lucimara Stolz Roman, Prof. Aloísio Schmid e o Eng. José Mario Moraes e Silva, confirmaram minha estrutura teórica e argumentos, além de levantar questões, principalmente nas suposições e dúvidas, que ampliaram o repertório.

3.3. PROTOCOLO PARA DELIMITAÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

De maio a novembro de 2019: Selecionar projetos/ escritórios de arquitetura para estudos de caso. A seleção dos casos foi realizada dentro do universo de escritórios de arquitetura que desenvolveram projetos de edifícios fotovoltaicos. Mais ainda, os *stakeholders* envolvidos no cenário (engenheiros, pesquisadores, empresas fabricantes), também foram submetidos a entrevistas semiestruturadas como apoio ao entendimento do recorte contextual e, também, para a estrutura da dissertação.

Primeiro, delimitar como alvo a amostra de quatro projetos/ escritórios de arquitetura para os estudos. Quanto maior o número, maior o grau de confiança, pois o postulador teórico passou por um número maior de testes de refutabilidade e, sendo a arquitetura plural e ambivalente, a

coleta de múltiplos estudos é válida. Assim, estruturei um protocolo com os seguintes critérios de inclusão:

- uma empresa que atua no mercado;
- com projetos arquitetônicos que apresentem otimização energética, garantindo boa performance;
- e com superfícies ativas (fotovoltaicas) integradas à pele do edifício: realizando além da produção de energia, funções construtivas como fachada, telhado, janela, entre outros.

... E o seguinte critério de exclusão:

- das variáveis: energia e espaço arquitetônico, se não houver valor agregado deste cruzamento, o projeto será excluído.

Uso a definição de Aravena (CANAL DA BIENAL, 2016), também mencionada na seção de problematização: valor agregado se mostra na capacidade de, a partir do que antes era só matéria (ou, neste caso, conversão direta de luz, foto, em eletricidade, voltagem), eventualmente resultar em arquitetura estimulante e de caráter transformador. Unida à definição de Scognamiglio (2016) que considera valor agregado para sistemas fotovoltaicos “um conjunto de resultados e aspectos que deixam os locais pelo menos tão bem quanto antes do projeto”, principalmente no que concerne à barreira social.

Realizei uma pesquisa documental em bancos de projetos arquitetônicos (Archdaily, Architizer, Dezeen), revistas especializadas em soluções construtivas (Detail, Arquitectura Viva, Monolito, Architecture Review, Architectural Record) e o website Solar Architecture (SUPSI e

parceiros), para encontrar edifícios síntese das variáveis desejadas. Ademais, dois artigos foram importantes como apoio à busca: “*Photovoltaics and zero energy buildings: a new opportunity and challenge for design*” (SCOGNAMIGLIO e RØSTVIK, 2012) e “*A comparative review of building-integrated photovoltaics ecosystems in selected European countries*” (OSSEWEIJER et al., 2018). A partir dos projetos arquitetônicos e *stakeholders* mencionados nos artigos, foi possível expandir as possibilidades.

Os edifícios que se encaixam nos critérios mencionados acima são: Adaptive Solar Facade (ASF), Aktiv Stadthaus apartment building, Neubau Parkhaus SMA, Energy Bunker, Stavros Niarchos Foundation Cultural Center, New-Monte Rosa Hut, House Schneller Bader, New-Blauhaus, Umwelt Arena, Mehrfamilienhaus in Brütten, The Farmhouse, Silo Bleu, Bellerivestrasse 36 Zürich, Copenhagen International School, Fuel Station + Rest Stop Fürholzen, Produktionshalle design.s, Réhabilitation de la Halle Pajol. Também deixei em aberto a possibilidade de incluir pessoas das universidades Technische Universität München (TUM), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ) e Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI), pois apresentam pesquisas de alto padrão e inovadoras para este trabalho, além de serem *stakeholders* importantes no recorte contextual. Por conseguinte, Alemanha e Suíça foram os países escolhidos para a viagem técnica de estudos - além de apresentarem um número considerável de edifícios fotovoltaicos construídos. Portanto, adicionei mais um critério de inclusão para o protocolo a partir desta decisão:

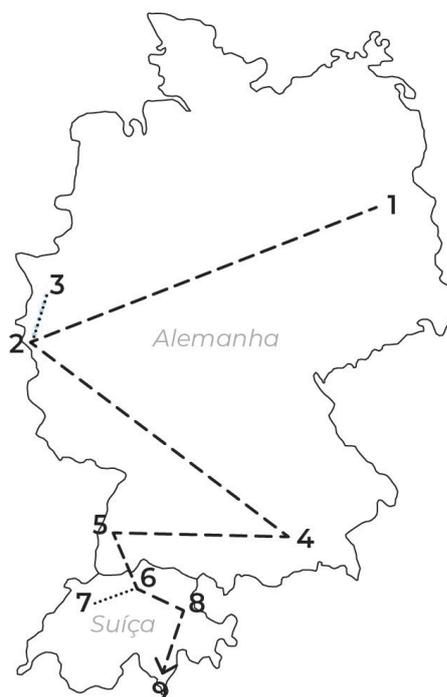
- com projetos arquitetônicos localizados na Alemanha e/ou Suíça (ou cidades próximas de fácil acesso), com sede no mesmo raio de localização.

Considerando o critério “Alemanha/ Suíça”, a amostra foi reduzida a oito projetos/escritórios de arquitetura: Hegger Hegger Schleiff Architekten, Bearth-Deplazes Architekten, Kadawittfeldarchitektur, René Schmid Architekten, Precht architecture, EPURE Architecture et Urbanisme, C.F. Møller Architects e Deppisch Architekten. E 11 stakeholders também foram selecionados como fontes de dados complementares aos estudos de caso: TUM university, ETHZ university, SUPSI-ISAAC and the innovative envelope team, Fraunhofer Institute, Clickcon, Swissolar, Jansen, Megasol, NEW AG, Behnisch Architekten e Transsolar.

O primeiro contato via e-mail ocorreu em Junho de 2019, totalizando 268 e-mails trocados em todo o processo. Obtive quatro respostas favoráveis para os estudos de caso: Copenhagen International School/ C.F. Møller Architects, New-Blauhaus/ Kadawittfeldarchitektur, Multi-family house in Brütten/ René Schmid Architekten e House Schneller Bader/ New-Monte Rosa Hut/ Bearth-Deplazes Architekten. Também, dez respostas favoráveis para os *stakeholders*: TUM university, ETHZ university, SUPSI-ISAAC and the innovative envelope team, Fraunhofer Institute, Clickcon, Megasol, NEW AG, Behnisch Architekten, Transsolar e EPURE Architecture et Urbanisme. Ressalto que, nesta dissertação, descreverei em detalhe os quatro estudos de caso elegidos, já que as entrevistas complementares com *stakeholders* servem principalmente como apoio ao desenvolvimento do trabalho. Assim, a viagem de estudos à Alemanha e Suíça ocorreu em novembro de 2019 e seguiu a agenda (figura 27):

- 1) 11 de novembro, das 9 às 11h30min, Berlim, Alemanha: C.F. Møller Architects;
- 2) 12 de novembro, das 11 às 13 horas, Aachen, Alemanha: Kadawittfeldarchitektur;
- 3) 13 de novembro, das 12 às 15 horas, Mönchengladbach, Alemanha: edifício New-Blauhaus com a equipe NEW AG;
- 4) 14 de novembro, das 17 às 18 horas, Munique, Alemanha: Transsolar;
- 4) 15 de novembro, das 9 às 11 horas, Munique, Alemanha: Behnisch Architekten;
- 4) 15 de novembro, das 13 às 17 horas, Munique, Alemanha: Universidade TUM;
- 5) 21 de novembro, das 10h30min às 12 horas, Freiburg, Alemanha: Instituto Fraunhofer;
- 5) 21 de novembro, das 13 às 17 horas, Freiburg, Alemanha: Clickcon;
- 6) 25 de novembro, das 10 às 12 horas, Zurique, Suíça: universidade ETHZ;
- 6) 25 de novembro, das 15 às 16 horas, Zurique, Suíça: René Schmid Architekten;
- 7) 26 de novembro, das 10 às 12 horas, Deitingen, Suíça: Megasol;
- 8) 27 de novembro, das 9 às 12 horas, Tamins, Suíça: Bearth Deplazes Architekten;
- 9) 28 de novembro, das 10 às 12 horas e das 14 às 16 horas, Lugano, Suíça: SUPSI-ISAAC;
- 9) 29 de novembro, das 10 às 12 horas, Lugano, Suíça: Epure Architecture et Urbanisme.

Figura 27 - Itinerário viagem de estudos à Alemanha e Suíça



(Autora, 2021)

3.4. PROTOCOLO PARA COLETA DE DADOS

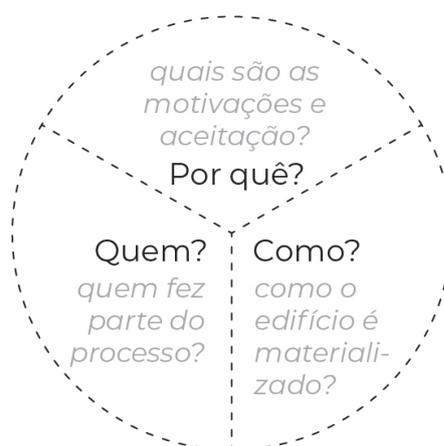
De novembro a maio de 2020: Definir os meios de pesquisa. A partir da delimitação do problema e clara definição dos múltiplos estudos de caso, delinee a pesquisa de acordo com meus objetivos. Portanto, coletei os dados seguindo o protocolo:

- realizar entrevistas semiestruturadas;
- observar artefatos físicos, quando possível;
- entrevistar, também, *stakeholders* como fonte de dados complementares;

- realizar pesquisa documental a partir das informações compartilhadas pelas empresas após entrevistas (desenhos técnicos e relatórios).

Faço um último comentário. Como apoio às entrevistas semiestruturadas, utilizarei a ferramenta *ecossistema do serviço*, como estratégia de estabelecer uma visão sistêmica do processo de “projetar um edifício que produza energia”, assim como estabelecer o conceito geral do projeto. Tempo para realização da tarefa: em média, 2 horas, nos mais variados ambientes (visitas técnicas a edifícios, escritórios de arquitetura ou universidades). As perguntas a se responder são: *por quê?*, *quem?* e *como?* para descobrir sobre o contexto de implantação e estratégias de design em edifícios fotovoltaicos (figura 26). Será realizada com quadros auxiliares e *post-its*, quando possível. Isso porque, dependendo do contexto, servirá apenas como fio condutor do pensamento, resultando em uma conversa aparentemente espontânea, encadeada de maneira aleatória.

Figura 28 - Ferramenta de apoio às entrevistas semiestruturadas



(Autora, 2021)

3.5. ANÁLISE DOS DADOS

Examinar, sintetizar, categorizar e tabular as evidências, recombinadas para alcançar, ao final, conclusões. Assim, os dados coletados serão analisados a partir de representação gráfica de síntese, neste caso, desenho técnico arquitetônico. Tais desenhos têm sua lógica construída a partir da obra *The Function of ornament* (MOUSSAVI e KUBO, 2006), ancorada em material gráfico que defende elementos construtivos como parte da expressão arquitetônica, em outras palavras, “dois campos que estão interconectados” (MOUSSAVI e KUBO, 2006, tradução nossa).

3.6. RELATÓRIO FINAL

Para gerar relatório, desenhar implicações teóricas e prover estrutura para replicação, escolhi as cartas método como ferramenta, em inglês *method cards*. É voltada ao público alvo desta pesquisa, neste caso arquitetos e estudantes de arquitetura, além de fácil leitura quando em grupos interdisciplinares. Já que, dependendo desta delimitação, “o relatório pode assumir diferentes formas, tais como: vídeo, recurso para multimídia, um relatório ou mesmo um formato narrativo” (SANTOS, 2018).

4. RESULTADOS E ANÁLISE

A partir da fundamentação, coloco véus teóricos sobre as massas construídas, os quatro edifícios fotovoltaicos, além do estudo de caso zero. Deste raciocínio, segue a implementação do método descrito

anteriormente, primeiro no projeto *Adaptive Solar Façade* (ASF) liderado pelo Prof. Dr. Arno Schlueter na universidade *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich* (ETHZ), também mencionado na fundamentação. Portanto, é o estudo de caso zero: a partir de sua organização, decorrem os demais projetos.

A seguir, o fluxo de informações será: estudo de caso seguido por representação gráfica de síntese, novamente estudo de caso seguido por representação gráfica de síntese, e assim por diante. Isso porque, foi a forma que escolhi para interpretar questões táteis da materialidade - neste caso, o módulo fotovoltaico como material construtivo multiescalar. Tal escolha tem referência em *The Function of ornament* (MOUSSAVI e KUBO, 2006), reconhecendo que o material construtivo está intrinsecamente conectado à expressão arquitetônica. Abordagem que dá a devida atenção à lacuna de pesquisa encontrada na revisão bibliográfica sistemática: energia como parte da gênese arquitetônica.

Assim, na primeira parte do estudo de caso, a pesquisa documental e entrevista semiestruturada têm o efeito de fundamentar seu contexto, além do processo e tomada de decisões evidenciadas pelo entrevistado. Neste ponto, também é possível relacionar os dados às entrevistas complementares com *stakeholders* e informações adicionais. Na segunda, a representação gráfica de síntese foi organizada em três *frames*: 1) afastado do edifício, mostrando sua relação com o sol e contexto imediato, 2) primeira aproximação, mostrando a integração e coexistência entre os diferentes materiais construtivos em termos de edifício e, por fim, 3) um *zoom* de aproximação no módulo fotovoltaico, para enfatizar o comportamento da peça construtiva em si.

Faço um último comentário. Esta dissertação é um relato em primeira pessoa, mais ainda no capítulo apresentado a seguir. Isto porque,

é também relato da viagem realizada pela autora, em novembro de 2019, alcançando uma forma descritiva inspirada por trabalhos como a dissertação *Peter Zumthor: poiesis* (TAVARES, 2019). Segundo Tavares, que ancorou neste método sua fonte primária de pesquisa, visitando as obras arquitetônicas de Peter Zumthor pessoalmente, a experiência propiciou uma análise direta dos procedimentos de projeto do arquiteto. Assim como aqui defendo que, na experiência, as questões e lacunas abordadas se desvelam - fato que também se alicerça nos postulados do capítulo anterior.

4.1. ESTUDO DE CASO ZERO: ADAPTIVE SOLAR FAÇADE (ASF)

O protótipo *Adaptive Solar Façade* (ASF), estudo de caso zero, foi projetado pelo grupo de pesquisadores A. Schlueter, M. Begle, S. Caranovic, J. Hofer, P. Jayathissa, G. Lydon, Z. Nagy, D. Rossi e B. Svetozarevic, no setor de pesquisa *Architecture & Building Systems* na universidade *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich* (ETHZ). Em desenvolvimento desde 2011, será descrito a seguir a partir de pesquisa documental e entrevista semiestruturada. Os dados utilizados para o caso zero foram disponibilizados pelo pesquisador e estudante de doutorado Linus Walker, em entrevista com a autora Sofia Dias no dia 25 de novembro, em Zurique, Suíça, na ETHZ. Graças às informações compartilhadas por Walker, e ênfase a tese da pesquisadora Prageeth Jayathissa: *Design and assessment of adaptive photovoltaic envelopes* (2017), além de visita ao campus da ETHZ e aos protótipos do trabalho, esta descrição foi possível.

O material construtivo estudado é parte de um grande projeto desenvolvido na ETHZ com grupo interdisciplinar: o HiLo (figura 29), apartamento que abriga dois dormitórios, sala de estar, espaço de trabalho, em construção leve e que gera mais energia do que consome - *net positive energy building* (NPEB) (LYDON, 2017). Após o estudo de materiais inovadores e protótipos desenvolvidos na universidade, será acoplado à cobertura do edifício Nest-Unit UMAR, projetado por Werner Sobek, Dirk E. Hebel e Félix Heisel e construído em Dübendorf, Suíça, para o EMPA (*Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology*) - referenciado na primeira parte da dissertação. Para tal, a ETHZ desenvolveu três frentes de trabalho: a concepção de cobertura sinuosa de concreto ultra fino (*NEST HiLo Roof*), laje funicular (*Functionally integrated funicular floor*) e fachada fotovoltaica (*Adaptive Solar Facade, ASF*). Podem ser acoplados ou desmaterializados com agilidade, baixo uso de materiais e energia. Ademais, a casca de concreto que conforma a unidade de apartamento, similar ao projeto desenvolvido na universidade em parceria com o escritório de arquitetura Zaha Hadid Architects⁴ (ZHA) para a releitura do trabalho de Félix Candela⁵ denominado "*Knit Candela*", cria formas sinuosas e com baixo consumo de material a partir de andaimes, vigas perimetrais de madeira, rede de cabos metálicos, cofragem de tecido e camada muito fina de concreto (BLOCK RESEARCH GROUP, 2017). O processo de construção do protótipo *NEST HiLo Roof*, *Knit Candela*, assim como o citado anteriormente *Functionally integrated funicular floor*, estão disponíveis no Vimeo (BLOCK RESEARCH GROUP, 2017; BLOCK RESEARCH

⁴ Zaha Hadid foi uma matemática e arquiteta, professora da AA School e professora convidada em diversas universidades renomadas: Columbia, Harvard, Yale, University of Applied Arts in Vienna. Fundou o Zaha Hadid Architects (ZHA) em 1979 e conquistou o Prêmio Pritzker em 2004. O escritório ZHA, com sede em Londres, tem projetos construídos em seis continentes, com destaque no uso de ferramentas digitais.

⁵ O arquiteto espanhol desenvolveu muitos experimentos em concreto e argamassa armada, conchas estruturais e formas hiperbólicas.

GROUP, 2019). O uso sincrônico das inovações desenvolvidas pelos grupos de pesquisa é descrito no artigo “*Coupling energy systems with lightweight structures for a net plus energy building*” (LYDON et al., 2016), exemplo de abordagem simultânea entre energia e gênese arquitetônica. Mais ainda, o pesquisador Linus Walker faz parte do trabalho nas simulações e otimização das conexões elétricas dos módulos flexíveis localizados acima da cobertura *NEST HiLo Roof*. Eis que as diferentes frentes estão intimamente conectadas.

Figura 29 - Edifício HiLo: módulos fotovoltaicos nas janelas (ASF) e cobertura

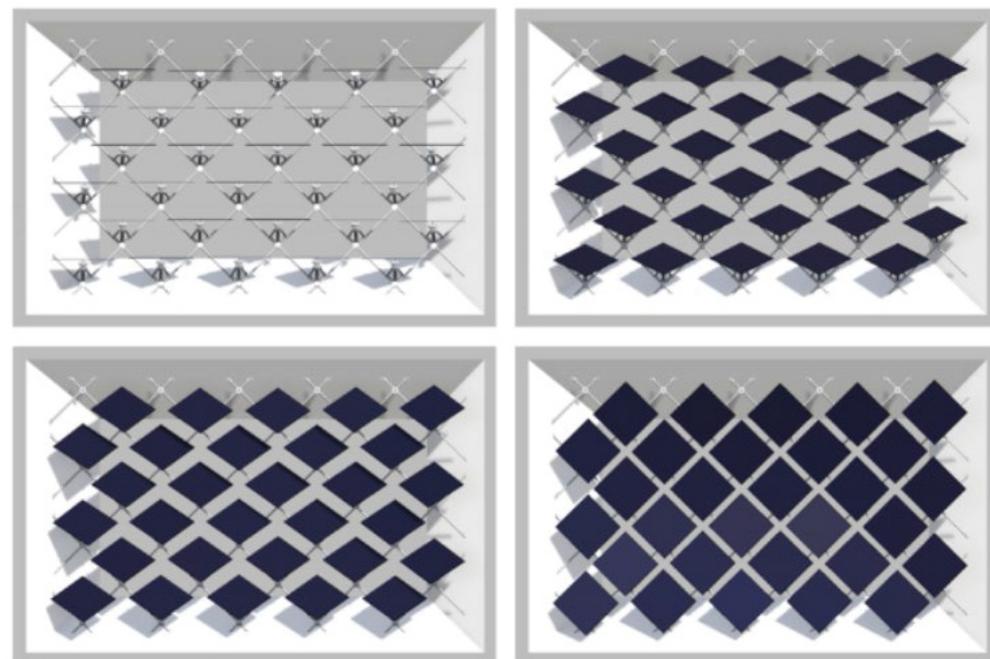


(LYDON et al., 2016)

Assim, o *Adaptive Solar Facade (ASF)* é o estudo de caso zero por sua relação intrínseca: desde as primeiras decisões de design foi concebido como componente pré-fabricado, material construtivo, com dimensões 2,50 m x 4,02 m, a ser acoplado em edifícios com distanciamento de 80 cm do envelope construído - por razões estruturais e portabilidade do sistema. Portanto, é um invólucro modular, com módulos fotovoltaicos leves de 40 cm x 40 cm, segunda geração CIGS, dinâmicos, com amplitude de

movimento de 90° e que só faz sentido se conectado à arquitetura: no caso do apartamento HiLo, por exemplo, será aplicado nas faces envidraçadas de ambos os dormitórios (figura 30). Também, a autora Jayathissa (2017) alude a projetos como o *Al-bahr towers* em Abu Dhabi projetado pelo escritório de arquitetura Aedas em 2012, o *Institut du Monde Arabe* (IMA) em Paris projetado pelo *Ateliers Jean Nouvel* em 1987, e o *Thyssenkrupp quarter* em Essen projetado pelos escritórios *JSWD Architekten* e *Chaix & Morel et Associés* em 2014, como exemplos icônicos e referenciais. Tal qual os exemplos arquitetônicos citados, eis que o sistema ASF também é *kinetic architecture* - arquitetura cinética, na qual partes integrantes do edifício movem-se de acordo com o movimento do sol para libertar superfície envidraçada na baixa incidência e máxima entrada de luz natural, ou sombrear quando há necessidade de proteção do calor excessivo. Mas a diferença está, neste caso, em superfícies móveis que também produzem energia elétrica.

Figura 30 - Fachada adaptativa, com alcance de movimento de 90°



(JAYATHISSA, 2017)

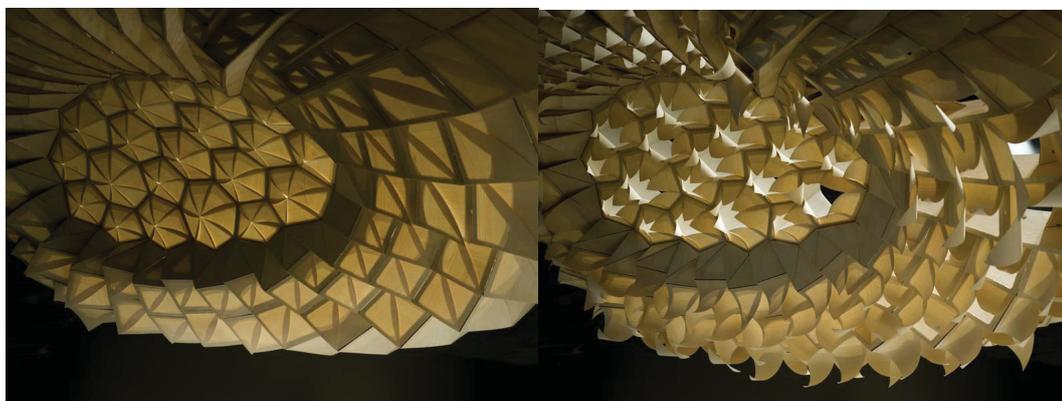
Neste sentido, Jayathissa (2017) defende que por passarmos 87% de nossas vidas em ambientes internos e este consumo de energia resultar em alto impacto ambiental, faz-se necessário produzir edifícios de modo consciente de seu contexto, passiva e ativamente - edifícios produtores de energia. O projeto ASF é resposta a este posicionamento, de maneira a prototipar condições ideais no invólucro: a variação entre o estado hermético e o estado aberto, que responde os múltiplos requerimentos da arquitetura - aquecer, resfriar, liberar vistas, produzir energia. Assim, a variação da orientação dos módulos permite que certas partes da fachada respondam “à luz natural ideal, enquanto outros são otimizados para redução da demanda de aquecimento /refrigeração e aprimoramento de vistas para o exterior” (JAYATHISSA, 2017, tradução nossa). Quando escolhidos módulos solares para a composição da estrutura, é possível também “colher energia no local e usá-la para atender às demandas do espaço interior” (JAYATHISSA, 2017, tradução nossa). Estes são os princípios de funcionamento do ASF e o desafio está nas múltiplas funções que o material construtivo desempenha. Precisamos lembrar que o sistema tem “milhares de posições possíveis e precisa encontrar o balanço ótimo entre redução da demanda de energia, conforto dos usuários e produção de energia elétrica fotovoltaica” (JAYATHISSA, 2017, tradução nossa). Conseqüentemente, cunha-se o termo *adaptive* - adaptativo: o material construtivo responde ao consumo do usuário, temperatura interna, temperatura externa e níveis de radiação. Analisando isto em curto prazo, se o sol se esconde atrás de uma nuvem, ou se a ocupação de usuários no ambiente aumenta drasticamente, o invólucro será capaz de adaptar-se para ir ao encontro das novas necessidades. Também, em longo prazo, é capaz de responder a mudanças como o aquecimento global (JAYATHISSA, 2017).

Podemos agora perguntar: como controlar tais variações, em um projeto desenvolvido por apenas quatro designers, com aspectos interdisciplinares que dependiam de uma gama de *stakeholders* e inúmeras decisões? Consideremos que combina domínios da arquitetura, engenharia estrutural, avaliação energética de edifícios, design fotovoltaico, controle e manufatura, para enfrentar o problema de pesquisa em tempo hábil, adotaram-se ferramentas paramétricas de desenho, ambiente que permitiu a colaboração de todos *stakeholders* durante o processo de design e com resultados de visualização imediata. Segundo a autora, o que levaria meses, foi condensado em poucas horas. Ademais, diferente do sistema BIM (acrônimo de *Building Information Modelling*) que produz resultados *standard* e que torna complicado o desenho de componentes customizados e inovativos, optou-se por ferramentas que permitam *performative design* - supera as limitações dos sistemas BIM, produzindo simulações para a descoberta de novas formas, e não apenas para reproduzir aquilo que é sabido (JAYATHISSA, 2017).

Para clarificar o termo, sobreponho ao pensamento outro exemplo de *performative design*: o protótipo *Hygroscope – Meteorosensitive Morphology* (figura 31), desenvolvido por Achim Menges, professor da *University of Stuttgart*, em cooperação com Steffen Reichert, *Institute for Computational Design* da *University of Stuttgart* e a empresa *Transsolar Climate Engineering*, para exposição no Museu *Centre Pompidou*, Paris, 2012. O projeto é a combinação das propriedades inerentes da madeira e morfogênese computacional, sintetizado em um protótipo feito do material e coberto por uma redoma de vidro, suas aberturas abrem e fecham como resposta às mudanças climáticas deste ambiente controlado - sem necessidade de equipamento técnico ou uso de energia. “Meras flutuações na umidade relativa desencadeiam mudanças silenciosas no

movimento inato da madeira. A estrutura do material em si é a máquina que o movimenta” (ACHIMMENGES, 2012, tradução nossa), e tais flutuações de umidade correspondem, neste caso, aos dados da cidade de Paris. Portanto está em contraste ao museu Pompidou - uma das zonas climáticas mais estáveis e controladas do mundo - servindo como conexão virtual entre ambiente interno e externo, tema do projeto para a exposição. Para tal, baseia-se em características higroscópicas (capacidade de absorver água) e anisotrópicas (certa propriedade física que varia com a direção, sentido das fibras da madeira, por exemplo), por muito tempo vistas como barreiras a se enfrentar no uso da madeira, ao invés de oportunidades para alcançar formas com curvaturas uni e bidirecionais (WOOD et al., 2018). E, para desenhar a complexidade de variáveis que afetam a forma e funcionamento do projeto, convém o uso de *performative design*, com parâmetros como: direcionalidade da fibra da madeira, a relação comprimento-largura-espessura, geometria do elemento e, especialmente, o controle da umidade e possíveis movimentos decorrentes. Mais de 4000 elementos únicos foram gerados e digitalmente fabricados, além da previsão das variadas composições de acordo com o nível de umidade e movimentação das peças (ACHIMMENGES, 2012).

Figura 31 - Flutuações na umidade desencadeia o movimento da madeira



(ACHIMMENGES, 2012)

Ao transferir o pensamento para o *Adaptive Solar Facade* (ASF), para projetar um material construtivo destinado a fachadas que controlam tanto o consumo quanto a produção de energia elétrica, simulando a performance durante 365 dias, ou seja 8.760 horas, exige-se ferramenta que facilite a solução sincrônica de funções e rápida visualização. Assim, a partir do software Rhinoceros 3D com plugin paramétrico Grasshopper, unida a linguagem de programação Python e plugin Ladybug, as principais variáveis (*inputs*) consideradas foram dimensão do quadro de armação e perfil da peça construtiva, dimensão dos módulos fotovoltaicos, espaçamento entre módulos, layout e o alcance da movimentação dos painéis. A partir dos *inputs*, as principais análises (*outputs*) foram o desempenho estrutural, desempenho energético, desenhos técnicos para a manufatura e renders (JAYATHISSA, 2017). As análises de desempenho energético abrangeram dados sobre radiação solar disponível nos módulos fotovoltaicos e na janela atrás do ASF. Neste sentido, Jaythissa comenta que uma composição menos porosa, com maior número de módulos fotovoltaicos por área, resultaria em maior sombreamento e menor entrada de calor e iluminação natural nos ambientes (portanto, maior consumo de energia elétrica). Outro *output* é a produção de energia elétrica, levando em consideração o efeito da termalização, a demanda de aquecimento e resfriamento do edifício de acordo com a quantidade de calor e luz natural recebida, a luz natural incidente no ambiente, simulando todos os horários do dia durante um ano. A partir destas variáveis, o desempenho energético anual do *Adaptive Solar Façade* pôde ser avaliado.

Também, as junções a que os módulos dinâmicos estão conectados são tubos metálicos que abrigam todo o cabeamento e estruturam o sistema, como uma rede em que o sistema elétrico está embutido. Todos

os tubos têm dimensões diferentes, calculadas automaticamente nas ferramentas paramétricas. Mais ainda, a porosidade da composição também afeta os resultados estruturais: quanto mais porosa e mais espaçados os módulos forem, maior a instabilidade mecânica (JAYATHISSA, 2017). Neste sentido, a moldura metálica externa, que arremata a peça, adiciona rigidez ao sistema de rede metálica e garante sua portabilidade como peça pré-fabricada, passível de fixação em qualquer edifício. Esta rigidez adicional faz com que os tubos sejam mais esbeltos, o que aumenta a transparência do material. Portanto, fica explícito que o equilíbrio entre as variáveis interdisciplinares, produção de energia e estabilidade mecânica da estrutura, é importante para alcançar resultados satisfatórios de forma holística. A esbelteza da estrutura garante luz natural em abundância e economia de energia, mas neste sentido fica fragilizada em termos mecânicos. Enquanto uma composição de módulos fotovoltaicos mais densa garantiria maior estabilidade estrutural e produção elétrica, também sofreria com o sombreamento entre peças e estratégias passivas insatisfatórias. Em suma, se com o intuito de produzir energia em edifícios, o pensamento girar em torno apenas de densidade de potência, será isto para o projeto, pior.

Mais ainda, sobre tal sincronia de variáveis, podemos adicionar que o alcance dos resultados está diretamente relacionado ao tipo de uso do edifício, com melhores respostas quando o sistema ASF está inserido em construções que haja demanda tanto por aquecimento quanto resfriamento (edifícios de escritório, academias de ginástica, lojas, mercados e escolas, por exemplo), com economia entre 20 e 80% se comparado a modelos estáticos. Se a demanda fosse unicamente para resfriar ambientes, um sistema estático, mais barato, resolveria bem o problema. Neste sentido, o movimento dos módulos fotovoltaicos é ativado

a partir de um atuador pneumático, feito de borracha neoprene, com três câmaras de ar. Ao bombear uma das câmaras com ar, o acionador deforma, movimentando a peça – com um alcance de 90° e margem de erro em até 2°.

Portanto, a autora recomenda vincular sua utilização a superfícies envidraçadas, onde o imbróglgio de variáveis está presente: vistas para o exterior, entrada de luz natural, aquecimento e resfriamento do ambiente, além de produção energética. Para a autora, os grandes desafios estão, principalmente, na necessária manutenção. Os sistemas elétricos e mecânicos têm garantia de até 20 anos, enquanto os edifícios durarão pelo menos 50 anos. Isto poderia ser mais bem compatibilizado com manutenções frequentes, mas implicariam em maiores custos financeiros envolvidos no processo. Negligenciar a manutenção do sistema “acabará por levar à falha, o que resulta em imensa insatisfação dos usuários” (JAYATHISSA, 2017, tradução nossa). Se os módulos dinâmicos pararem de se movimentar, na posição “fechada”, o ambiente ficará totalmente no escuro, por exemplo. Outro desafio está na capacitação dos profissionais envolvidos, que demanda o conhecimento interdisciplinar e domínio de vários softwares.

4.1.1. Entrevista Linus Walker

Realizei a entrevista semiestruturada com Linus Walker no dia 25 de novembro, das 10 às 12 horas, em Zurique, Suíça, na universidade *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich* (ETHZ). O engenheiro civil, graduado na ETHZ, também finalizou seus estudos de mestrado na universidade, seguindo a linha de pesquisa *Architecture and Building*

Systems, liderado pelo Prof. Dr. Arno Schlueter. Com foco em energias renováveis e células solares, Walker realizou extensão de pesquisa na Universidade Federal de Grande Dourados (UFGD), Mato Grosso do Sul, Brasil e, hoje, dá continuidade a seus estudos na ETHZ no que diz respeito a simulação e otimização de sistemas BIPV para o título de PhD.

Na transcrição da entrevista, os acrônimos indicam os participantes: Sofia Hinckel Dias (SHD) e Linus Walker (LW). A conversa foi gravada com autorização do entrevistado e traduzida para o português a fim de facilitar a compreensão.

SHD: Como funciona o seu grupo de pesquisa na ETHZ? A exemplo do edifício HiLo, vejo que há diferentes frentes de trabalho...

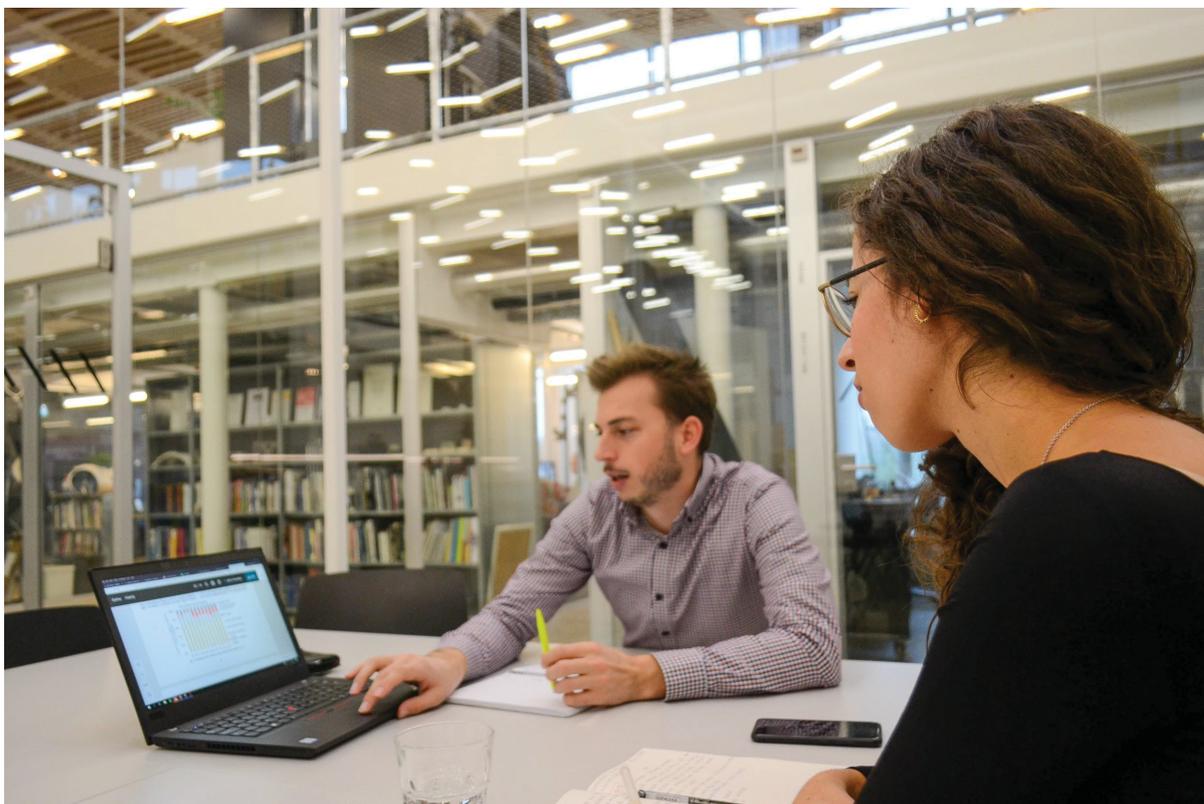
LW: Sim, trabalhamos em três grandes grupos. A primeira parte é focada, principalmente, em análise energética na escala urbana. Eles desenvolveram um *software* em que você pode projetar as demandas energéticas de todo um bairro, por exemplo. Claro que, para isto, a resolução não é apurada, não fornece desenhos na unidade do módulo ou célula fotovoltaica, mas desenha áreas de demanda para a produção energética na cidade. Portanto, tal ferramenta possibilita que você simule rapidamente, com tempo otimizado. Desta forma, a partir dos resultados, inicia-se o processo de decisão e detalhamento. Assim, além da escala urbana, também fica clara a relação entre edifícios e as possibilidades de produção energética compartilhada. Por que cada edifício deveria pensar apenas em sua produção energética isoladamente? Faz mais sentido, quando possível, pensar em áreas disponíveis que sejam complementares entre construções.

A segunda parte do grupo de pesquisa desenvolve estratégias de retrofit orientadas por dados previamente levantados para encontrar soluções visando menores custos e melhor desempenho energético. Considerando que nós temos muitos edifícios antigos na Suíça e que a taxa de retrofit no país é apenas 1%, se continuarmos neste ritmo nunca irá alcançar a meta estipulada no acordo de Paris e políticas nacionais. As pesquisas neste sentido estão acontecendo agora e ainda há muito a decidir. Mas consiste, basicamente, em colocar sensores e medir o comportamento do edifício por dias, ou semanas, o tempo ainda não foi determinado ao certo, levantando dados para posterior análise. A partir de *machine learning tool* - aprendizado guiado por ferramentas computacionais - é possível triangular as variáveis e receber um prognóstico como: você primeiro precisa trocar o seu telhado, depois atualizar o sistema de aquecimento, em suma, dirá quais estratégias e como deverão ser realizadas para alcançar resultados satisfatórios.

A terceira e última frente de trabalho, da qual eu faço parte, é a pesquisa direcionada a soluções para a produção de energia fotovoltaica, aperfeiçoamento de sistemas operacionais, estratégias passivas, mas também a análise de otimização do ciclo de vida de edifícios. Esta é uma abordagem um tanto recente e é sintetizada, de certa forma, no edifício HiLo. Ou seja, se você desde o princípio produz um edifício com enorme emissão de carbono, não há produção energética ou eficiência operacional que anule esta conta. Inclusive faz sentido em alguns momentos menor eficiência operacional, menor produção energética, mas construções com menor gasto de energia embutido em sua materialização. Voltando ao exemplo do edifício HiLo, que será construído no próximo ano inclusive, a meta principal era produzir forma com o mínimo de concreto possível e, com isto alcançado, diminuir ainda mais o impacto da construção também

com a produção energética fotovoltaica nas janelas (Adaptive Solar Façade) e módulos na cobertura.

Figura 32 - Entrevista com o engenheiro e pesquisador Linus Walker na ETHZ



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

SHD: Então no edifício HiLo, a geometria foi dada e os sistemas fotovoltaicos adaptados à forma criada, ou o oposto?

LW: Sim. Neste caso, a geometria foi dada antecipadamente. É uma forma complexa de dupla curvatura, inovadora para a incorporação de sistemas fotovoltaicos. A prioridade era usar a menor quantidade de concreto possível e, depois disso, estudar a melhor orientação e angulação dos módulos solares. Dos resultados propostos por meus colegas, eu simulei as conexões elétricas e as aperfeiçoei para a melhor produção de energia. Logo, não trabalhei diretamente com a Adaptive Solar Façade, mas dentro

do grande grupo de pesquisa que participou na concepção do edifício HiLo, do qual o protótipo ASF faz parte.

Inclusive, ainda sobre o ASF, hoje os pesquisadores que os desenvolveram não estão mais na ETHZ. Agora precisamos introduzir novos estudantes na pesquisa. Todo o processo de concepção, dados, simulações e construção estão muito bem documentados, como na tese de Jayathissa, e por isso é possível sua continuidade.

SHD: Relacionado ao Adaptive Solar Façade, o que está acontecendo no momento?

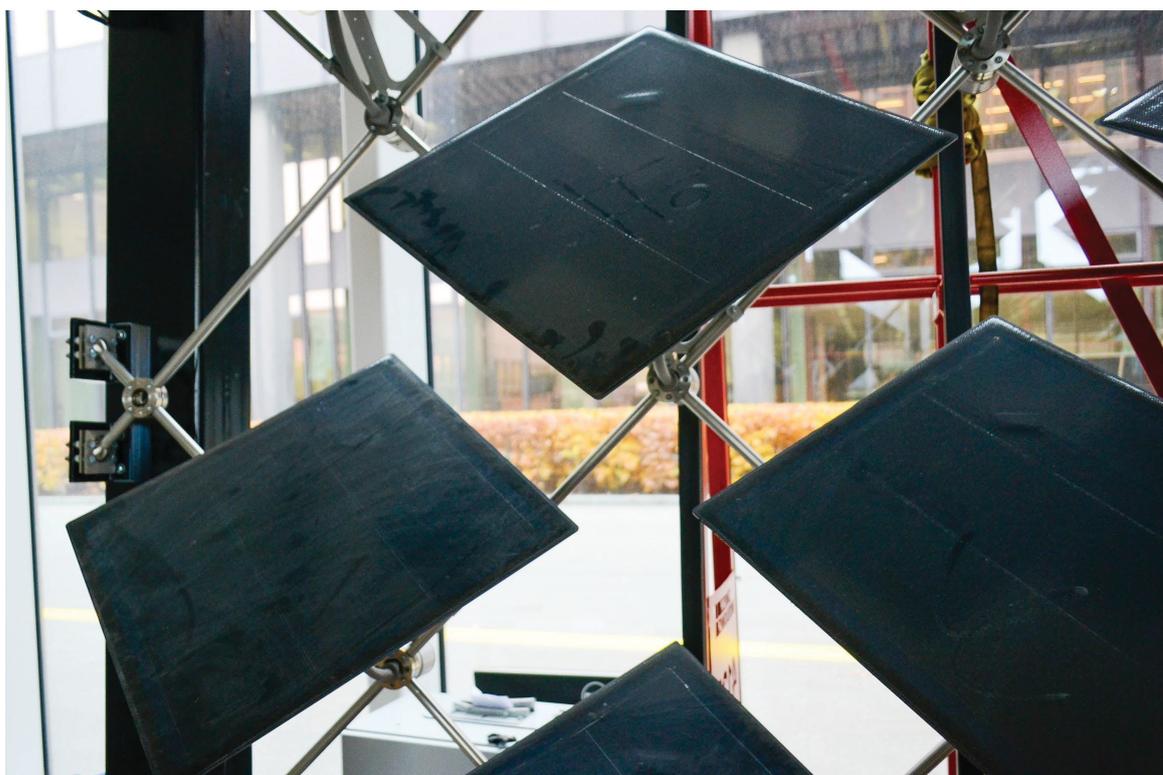
LW: Os módulos precisam de maior estabilidade porque são muito leves e o principal problema em fachadas são as cargas impostas pela ação do vento. Da maneira que estão, eventualmente, eles vão quebrar. Então, a peça final terá rigidez adicional. Temos aqui no laboratório um protótipo para você entender o funcionamento e tirar fotos, se quiser. Mas a peça final ainda será construída, para posterior implementação e testes no edifício HiLo. Também, estamos estudando a automação do sistema, como acontecerá o controle por parte do usuário. Para resumir a visão: apertar um botão ou pedir para a fachada abrir e ela, em resposta, abrirá.

SHD: Qual é o conceito que rege o projeto da ASF?

LW: A ideia é ir além da produção de energia. Então, também melhorar o aquecimento natural a partir da entrada de radiação solar, ou o resfriamento ao proteger o ambiente do calor excessivo. E, se nenhum usuário estiver no ambiente que está atrás da fachada, a ideia é que a partir da automação da peça construtiva ela reconheça: “ninguém está

aqui” e otimize a angulação dos módulos solares para seguir o movimento do sol, capturando a maior quantidade de energia possível para produção energética. Se houver usuários no ambiente, existem preocupações adicionais como a liberação das vistas da janela, por exemplo, ou entrada de luz natural. Também, sobre estética, penso que é questionável se o resultado final do protótipo é o que deveria ser. Mas, na minha opinião, o resultado é muito legal, com aparência técnica em que nada está oculto. Sob a ótica financeira, as decisões tomadas visam otimização econômica. Por exemplo, a movimentação das peças acontece por meio de três câmaras de ar, muito mais baratas se comparadas a soluções elétricas.

Figuras 33 e 34 - Vistas frontal e posterior do *Adaptive Solar Façade* (ASF)





(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

SHD: Neste contexto, onde módulos fotovoltaicos são integrados ao envelope de edifícios, como a sua pesquisa se relaciona com o tema?

LW: Eu comecei a estudar edifícios *Building Integrated Photovoltaics*, edifícios fotovoltaicos, porque trabalhei e trabalho com simulações. Então, basicamente, eu desenvolvi um *framework* de análise para simular a irradiação disponível e sombreamento em contextos urbanos. Especialmente em formas complexas. Esta simulação de *ray tracing* - simulação do trajeto dos raios de luz - permite analisar a luz e sombra em cada hora do dia, para definir a energia produzida por cada célula solar e como conectar células e módulos para otimizar os resultados. Por exemplo, descobrir qual a melhor maneira de conectar os módulos para minimizar perdas por sombreamento.

SHD: Estes conceitos foram aplicados no edifício HiLo?

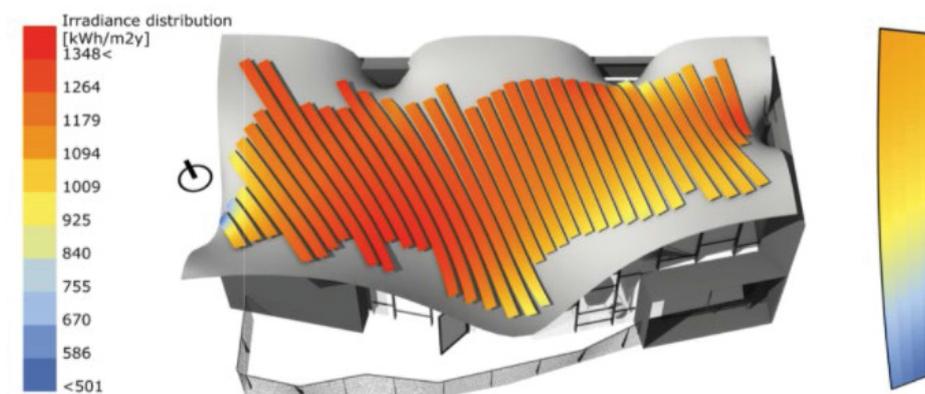
LW: Sim. Você pode consultar os resultados de pesquisa no artigo: *High-resolution, parametric BIPV, and electrical systems modeling and design* (figura 35). Neste caso, os módulos de cada *string* serão conectados por inversores, conceito similar aos micro-inversores onde cada módulo individualmente converte corrente DC para corrente AC.

SHD: Com esta escolha, quais as perdas e ganhos do sistema?

LW: Quanto menor o inversor, menor sua eficiência. Porém, também serão menores as perdas por sombreamento e haverá maior liberdade nas formas e composição arquitetônica. Então, como o edifício HiLo tem cobertura orgânica, as tiras de módulos flexíveis fotovoltaicos comportam-se independentemente uma das outras para gerar o máximo *output*. Também, com o uso de *Bypass Diode* você pode “pular”, desconsiderar, as células sombreadas - evitando o aumento de temperatura e perda de eficiência - e a partir de simulação descobrir quais as melhores conexões e *layout* para o design elétrico do sistema (figura 36).

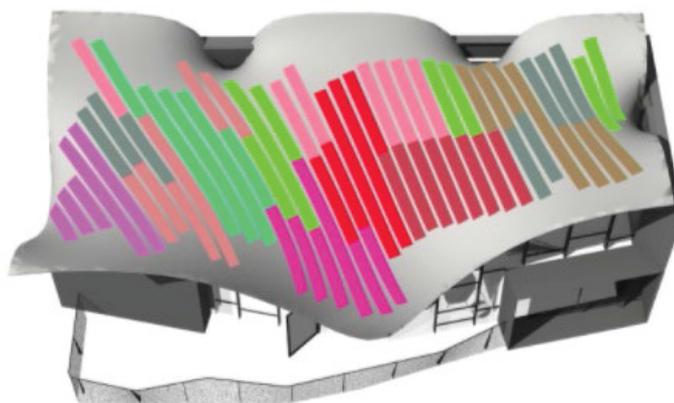
Figura 35 – Irradiação solar nos módulos flexíveis do edifício HiLo, durante um ano.

Na direita, há a aproximação de um dos módulos (filme fino CIGS)



(WALKER et al., 2019)

Figura 36 – Módulos da mesma cor estão conectados eletricamente



(WALKER et al., 2019)

SHD: Como funciona este processo de otimização?

LW: Nós primeiro entendemos como conectar os módulos, a partir de uma simulação simplificada em que você pode rodar e obter resultados rápidos milhões de vezes se quiser, para economizar tempo. Depois, a partir dos resultados, vemos quais soluções estão disponíveis e detalhamos as escolhas: por exemplo, módulos longitudinais ou transversais, onde usar *Bypass Diode*, etc etc etc.

SHD: Quais ferramentas vocês usam para as simulações?

LW: Grasshopper, Radiance, Python, e assim por diante.

SHD: Existem pesquisas similares em desenvolvimento para apoio às primeiras decisões de edifícios fotovoltaicos?

LW: Sim. Esta ferramenta é descrita no artigo “*A novel design framework for solar thermal/electrical activation of building envelopes*”, desenvolvido

por minha colega de pesquisa Alice Chevrier, que hoje trabalha na Transsolar. Este também foi um projeto desenvolvido no Grasshopper, em que você pode escolher o volume do edifício arquitetônico a ser aplicado, eleger o material solar, a tecnologia de cobertura dos módulos (se serão transparentes, semi-transparentes ou com aparência opaca), você também escolhe a cor e o padrão de aplicação. Com isto definido, é preciso descrever os sistemas operacionais do edifício (radiadores, sistema de refrigeração, etc). O *output* da ferramenta é uma estimativa aproximada de como o edifício ficará com a aplicação da tecnologia, considerando o aspecto visual e também o desempenho energético. Claro, esta ferramenta é destinada às primeiras fases de projeto e decisão, ela não é precisa. Quero dizer, as comparações são precisas, mas os números finais não. Portanto, precisarão de maior detalhamento nas próximas fases do projeto.

SHD: Agora que você mencionou resultados finais com números precisos ou comparações entre diferentes cenários de desempenho, qual a melhor maneira de gerar dados para apoiar decisões na arquitetura? Considerando energia como variável do projeto arquitetônico?

LW: Primeiro, eu acredito que decisões baseadas em dados são muito importantes. Mas, as pessoas sempre me perguntam “quanto dinheiro eu vou economizar?”, e eu sempre acho muito difícil responder este número exato. Mas é bom ser capaz de responder “comparado a este cenário, você economiza 10%”, por exemplo. Acredito que, quando se trata de dados para possíveis decisões, comparar é mais importante do que fornecer números finais. Neste sentido, Alice Chevrier fez um ótimo trabalho.

SHD: Agora que você mencionou a dúvida das pessoas sobre o preço da energia fotovoltaica, como é a aceitação na Suíça?

LW: As pessoas estão acostumadas a pensar que a tecnologia fotovoltaica não é eficiente, é cara, não funciona bem, além de ser feia. São os mesmos pensamentos de 20 anos atrás. No passado, isso pode ser possivelmente verdade, mas hoje não é mais. E eu acredito que isto não pode ser subestimado no design, os arquitetos deveriam ser mais abertos para a adoção de diferentes tecnologias. Tal pensamento deveria se perpetuar em todas as etapas do design e não apenas aplicado posteriormente ao edifício finalizado. Mas, infelizmente, ainda não é muito difundido.

SHD: Mesmo aqui na Suíça?

LW: Sim. Quando você conta para as pessoas que é possível aplicar módulos fotovoltaicos em fachadas, ainda gera surpresa e é associado a algo feio ou caríssimo. Mesmo no nosso clima, a tecnologia hoje tem um bom *payback*. Fachadas precisam de um tempo maior para retorno financeiro, mas em telhados é relativamente rápido. Nossa geração precisa superar este velho estado de espírito.

SHD: Existe algum incentivo do governo para auxiliar na incorporação de sistemas fotovoltaicos?

LW: Aqui, a população vota para quase tudo. Nós votamos 5 vezes por ano para aprovar leis e decisões nacionais. Há 2 anos, as pessoas votaram e decidiram que querem novas estratégias energéticas para o país. Nós queremos acabar com a energia nuclear e focar em fontes renováveis.

Então, tal decisão deu impulso para trabalhar e investir na área. Nós tivemos grandes incentivos, em que o governo pagava uma tarifa muito alta para aqueles que produziam energia solar, as pessoas ganharam bastante dinheiro. Mas a política não sustentou-se financeiramente. Então hoje a política mudou: se você constrói um sistema fotovoltaico, receberá em torno de 20% do dinheiro investido de volta, o que é ainda um bom incentivo. A Suíça tem um grande potencial a ser explorado. Há duas semanas nós tivemos eleições e todos os partidos estavam a favor de energias renováveis... Então, possivelmente, a pauta estará em ainda mais evidência nos próximos anos. Hoje nós temos 65% da matriz energética oriunda de hidrelétricas e 35% de energia nuclear. Nós também temos que considerar na conta a necessária descarbonização do transporte e aquecimento de residências e ambientes, além da energia necessária para produção do próprio módulo fotovoltaico.

SHD: Na ETHZ você estuda a *grey energy* incorporada na produção do módulo fotovoltaico?

LW: O pensamento é considerado nos projetos, mas não sei de pesquisa específica sendo desenvolvida na ETHZ. Usualmente, considera-se que o *payback* referente à produção de energia acontece em três anos. Mas o *payback* referente à emissão de carbono depende do contexto em que o módulo será utilizado. Por exemplo, se eu utilizá-lo na Alemanha ou na Polônia, onde ainda se produz energia a partir do carvão, então o *payback* será muito mais rápido do que em países com sistemas elétricos mais descarbonizados. Exceto, claro, se você usar este sistema fotovoltaico para substituir sistemas de aquecimento antigos. Então o retorno será muito mais rápido se comparado a substituir energia hidrelétrica, por exemplo.

SHD: Seu grupo de pesquisa também estuda como os usuários se comportam com essas novas tecnologias?

LW: Nós temos uma segunda parte do grupo de pesquisa com sede em Singapura. Estão realizando estudos sobre *occupancy center control*, ou seja, como o edifício aprende a partir dos comportamentos do usuário. Por exemplo, hoje você acende a luz do seu quarto durante 10 minutos. Amanhã durante 20 minutos. O edifício aprende com os seus hábitos e comportamentos, como você usualmente utiliza certas funções. Claro, isso se estende também para o controle térmico. Mas, sobre os efeitos psicológicos da tecnologia no usuário, nós não realizamos pesquisas. Eu acredito ser uma abordagem também importante.

SHD: Existe alguma pesquisa em desenvolvimento que pode ser vinculada ao contexto brasileiro?

LW: Sim. O projeto *3for2*, liderado pelo Prof Dr. Arno Schlueter, também desenvolvido para Singapura e trata-se de um retrofit. Por ser um contexto em que nunca é necessário aquecer ambientes, as principais cargas de energia são para refrigeração. E sistemas de refrigeração ocupam muito espaço nos edifícios, você precisa da altura do ambiente (3 metros), somada a metade desta altura (1,5 metros) só para abrigar sistemas de refrigeração. O que eles fizeram? Disseram “ok, nós podemos fazer isso de uma maneira muito mais compacta”, e é por isso que o projeto é chamado *3for2*. Com a mesma quantidade de espaço, o que antes abrigava dois andares, com as estratégias desenvolvidas, agora ocupa três andares. Para isto, não é utilizado sistema de ar condicionado centralizado para resfriar o

ambiente a 18°C, mas optou-se por sistema integrado a toda laje de piso para resfriar o ambiente a talvez 20°C. Da mesma forma, você pode aquecer a 30°C ao invés de usar radiadores que precisam chegar a temperatura de 60°C. Assim, conseguiram aperfeiçoar o fluxo de energia e também ter uma bomba de calor super eficiente, já que as diferenças entre temperaturas são menores.

SHD: Quais outras estratégias arquitetônicas foram utilizadas neste projeto em Singapura para a integração fotovoltaica?

LW: As janelas também foram remodeladas, inclinadas para reduzir o ganho solar de acordo com a incidência em fachadas. Além disso, no espaço necessário para alcançar esta inclinação nos planos envidraçados, foram integrados painéis fotovoltaicos para a produção de energia. São soluções simples e eu me pergunto, porque não aplicá-las sempre? (figura 37). Mais informações sobre este projeto você pode encontrar nos artigos "*Comparing the indoor environmental quality of a displacement ventilation and passive chilled beam application to conventional air-conditioning in the Tropics*" (PANTELIC et al., 2018) e também "*3for2: Realizing Spatial, Material, and Energy Savings through Integrated Design*" (SCHLUETER et al., 2016).

SHD: Como os estudantes da universidade têm acesso a estas informações? Principalmente no que se refere à integração fotovoltaica...

LW: A biblioteca para os alunos de arquitetura da ETHZ, é também uma biblioteca de materiais. Você encontra amostras de madeira, vidro, revestimentos... e agora também módulos solares para integração BIPV.

Percebemos que os cursos de arquitetura e design ainda são de velha guarda e a integração de sistemas ao envelope de edifícios não é mencionado durante a graduação. Acreditamos que os módulos fotovoltaicos não são pensados como uma opção de design, então desenvolvemos esta exposição na biblioteca para os alunos explorarem o material.. Isto é recente, aconteceu há mais ou menos dois meses (figuras 38, 39, 40, 41, 42 e 43).

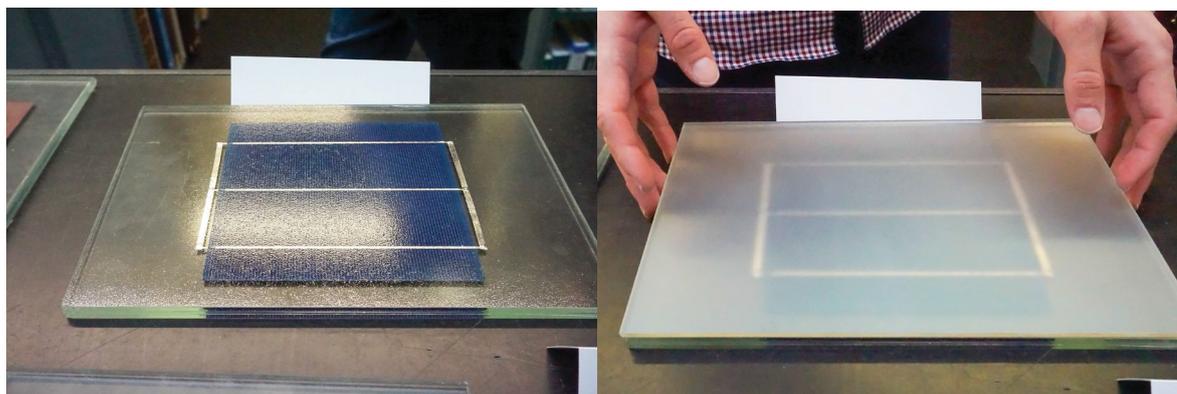
SHD: Muito obrigada pela entrevista, Linus!

Figura 37 - Render edifício 3for2 em Singapura



(ETHZ, s.d.)

Figura 38 - Alunos podem testar o efeito visual de diferentes substratos



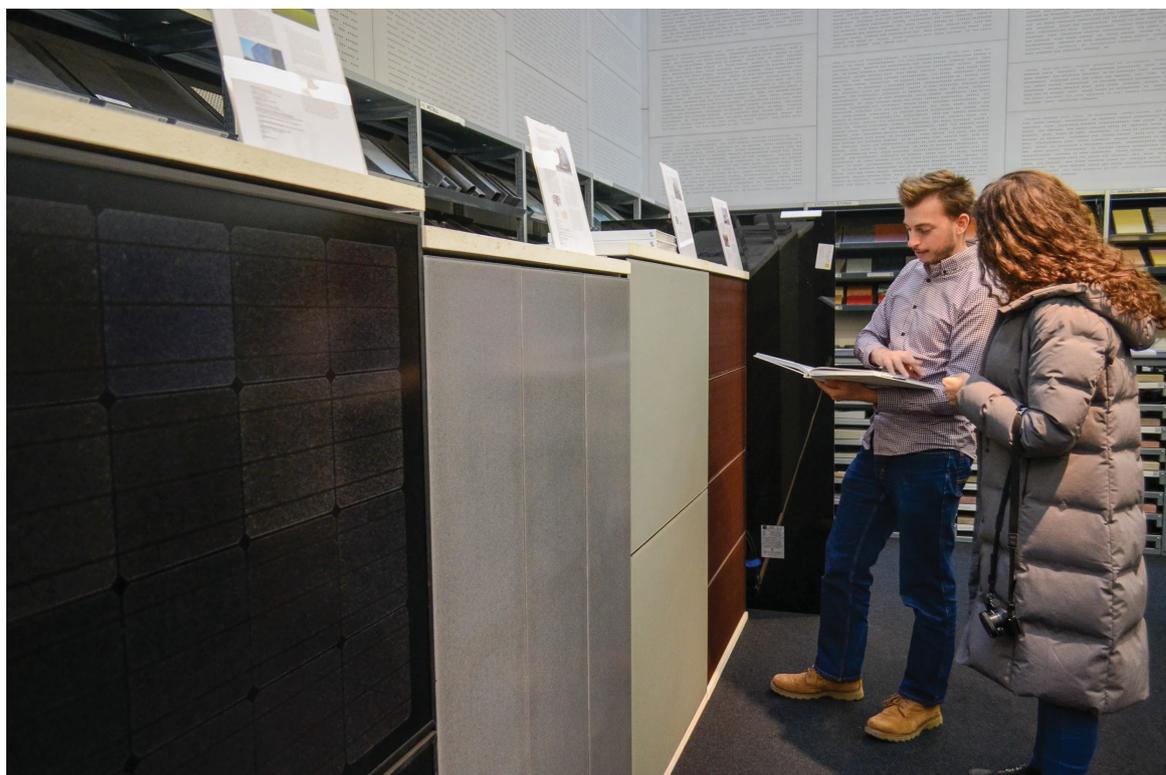
(DIAS, S. (fotógrafa), 2019)

Figura 39 - As amostras são catalogadas por tipo, empresa fabricante, detalhes técnicos e exemplos de edifícios construídos



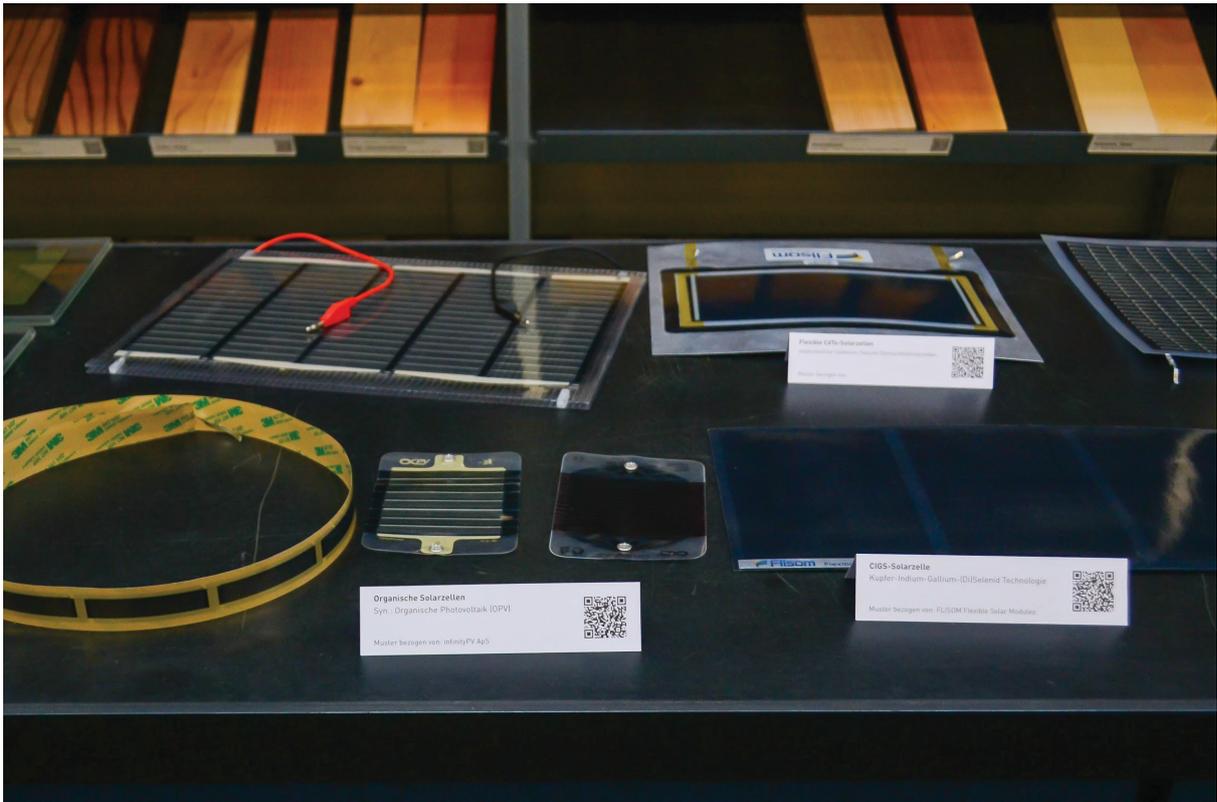
(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 40 - Expositor demonstra a fixação de módulos em fachadas (escala 1/1)



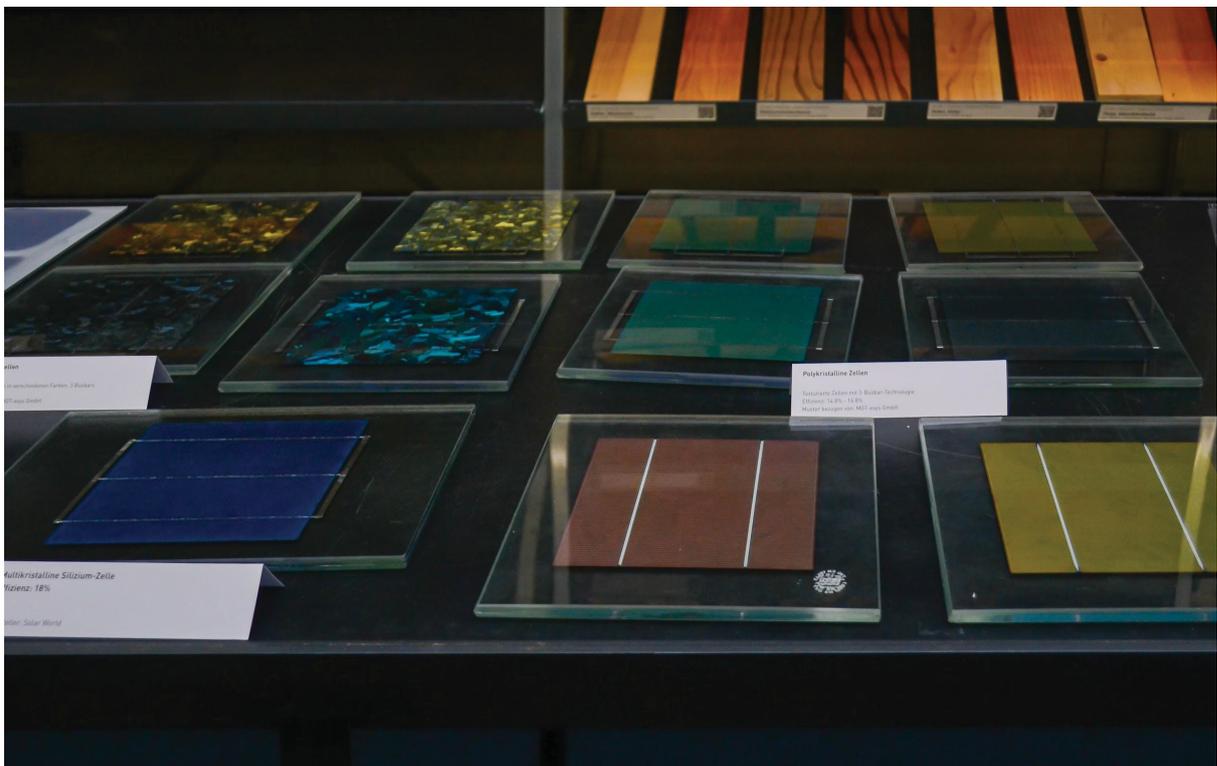
(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 41 - Amostras de módulos fotovoltaicos leves e flexíveis

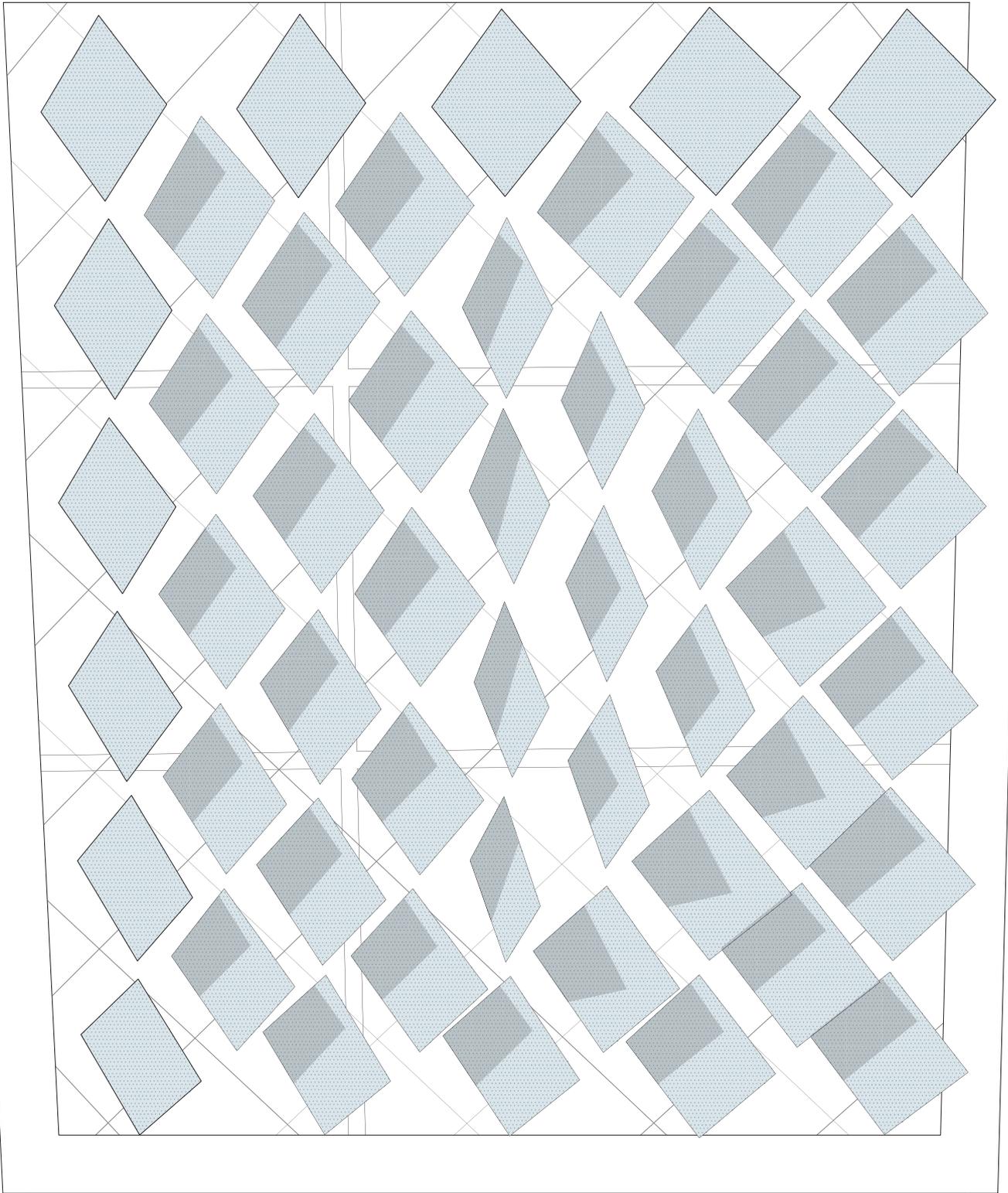


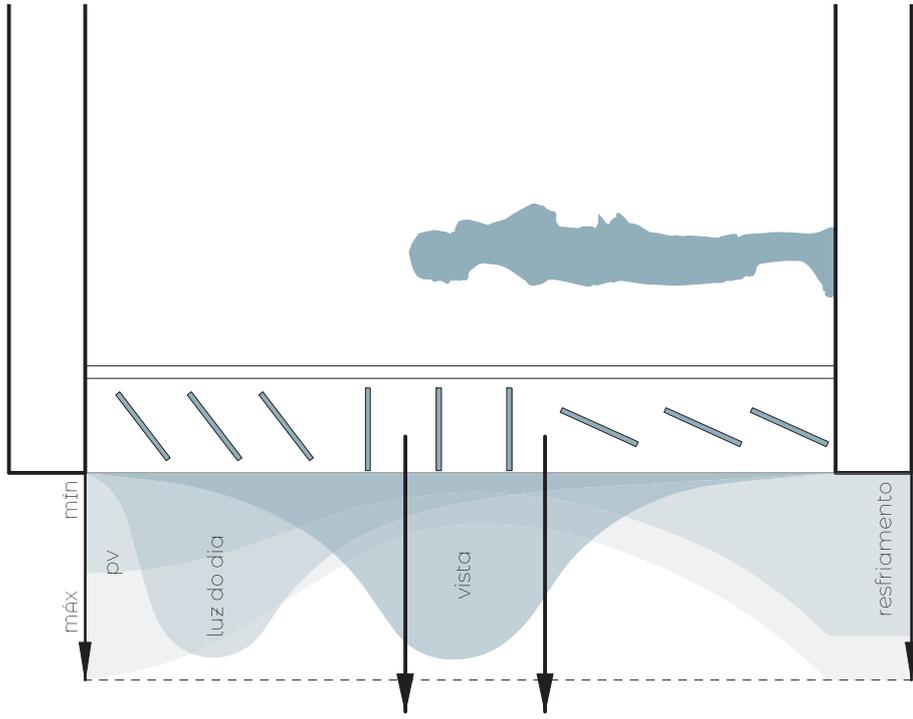
(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 42 - Amostras de módulos fotovoltaicos de primeira geração

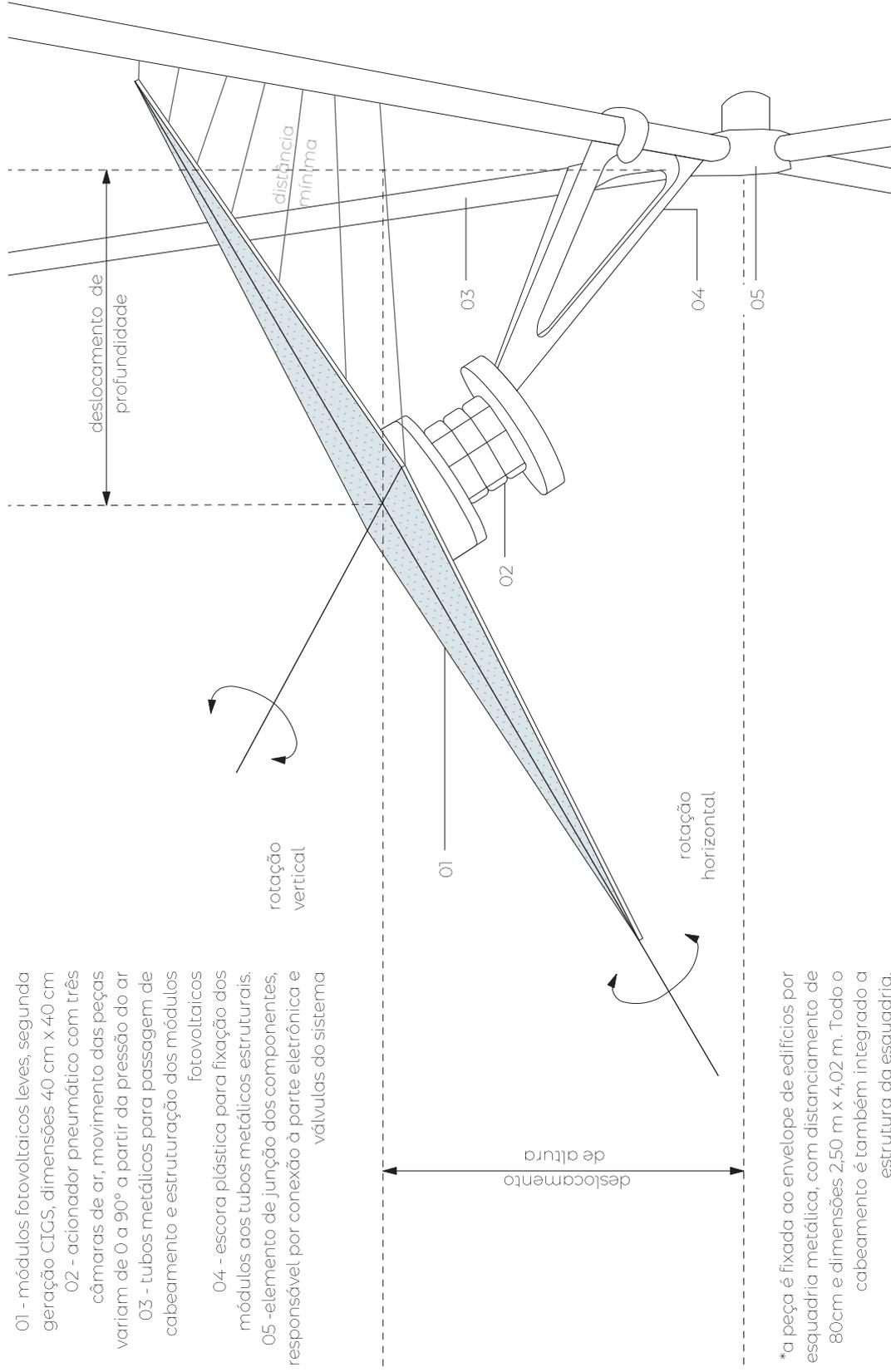


(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)





- 01 - módulos fotovoltaicos leves, segunda geração CIGS, dimensões 40 cm x 40 cm
- 02 - acionador pneumático com três câmaras de ar, movimento das peças variam de 0 a 90° a partir da pressão do ar
- 03 - tubos metálicos para passagem de cabeamento e estruturação dos módulos fotovoltaicos
- 04 - escora plástica para fixação dos módulos aos tubos metálicos estruturais.
- 05 - elemento de junção dos componentes, responsável por conexão à parte eletrônica e válvulas do sistema



*a peça é fixada ao envelope de edifícios por esquadria metálica, com distanciamento de 80cm e dimensões 2,50 m x 4,02 m. Todo o cabeamento é também integrado a estrutura da esquadria.

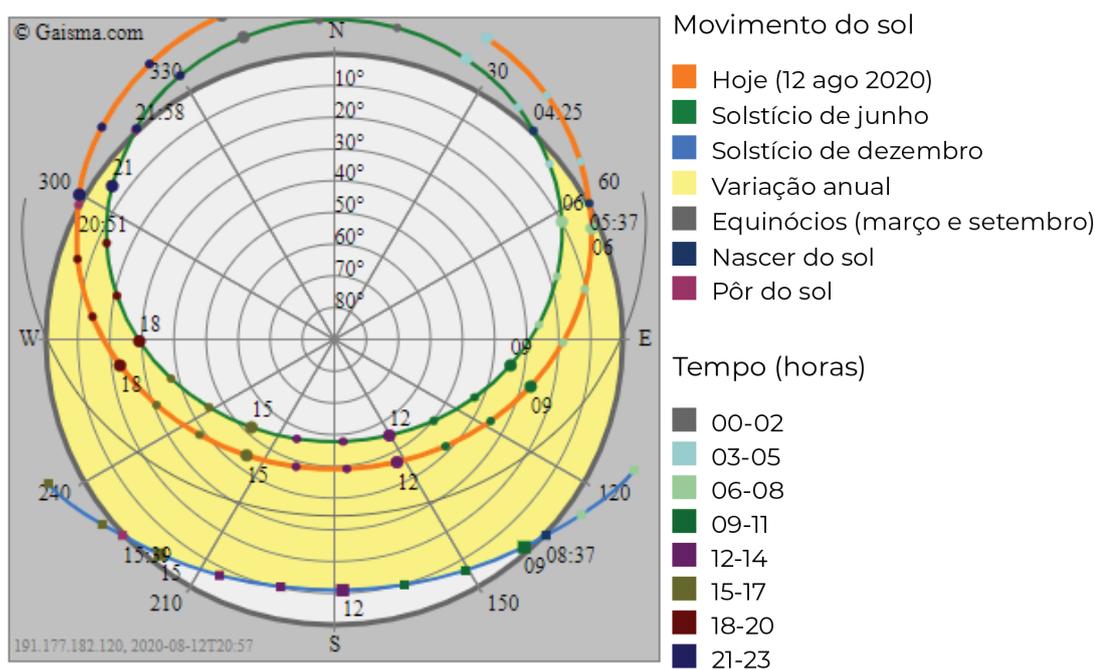
4.2. ESTUDO DE CASO 01: COPENHAGEN INTERNATIONAL SCHOOL

A Copenhagen International School, estudo de caso 01, projetada pelo escritório de arquitetura CF Møller Architects e construída em Copenhagen, Dinamarca, será descrita a seguir a partir de pesquisa documental e entrevista semiestruturada. Encontrei os dados no website *Archdaily* e, também, no website do CF Møller Architects, ambos disponíveis online. Também, em documentos compartilhados pelo arquiteto Heiko Weissbach, como relatórios técnicos, que ancoram as informações descritas a seguir.

O projeto da *Copenhagen International School*, com início em 2012 e construção finalizada em 2017, cumpre o propósito de criar um novo espaço para acomodar o número crescente de alunos da escola. É exemplo pioneiro na educação dinamarquesa desde os anos 1960s e a mudança para Nordhavn, bairro de Copenhagen, Dinamarca (55°41'32"N 12°33'53"E), é também reflexo deste pioneirismo na implantação da arquitetura (FILMPLUSDK, 2018). A antiga área portuária industrial hoje abriga edifícios como o *Portland Towers* projetado pelo escritório de arquitetura *Design Group Architects* (2013), *Konditaget Lüders* projetado pelo *JaJa architects* (2016), *UN City* projetado pelo *3xNielsen* (2013), *The Silo* projetado pelo *Cobe architects* (2017), *Nordhavn metro line extension - Nordhavn Station e Orientkaj Station*, também desenvolvido pelo *Cobe architects* (2020), para mencionar alguns exemplos que são símbolos da expansão urbana e reestruturação da zona portuária. Neste contexto, as temperaturas médias em Copenhagen variam entre -2 °C a 21 °C e raramente são inferiores a -8 °C ou superiores a 26 °C, o céu é parcialmente encoberto, o inverno é longo, e sentido como muito frio sob ventos fortes (WEATHER SPARK, s.d.). Como indica a figura 44, no solstício de inverno em dezembro, o dia começará às

08h37min e terminará às 15h39min, além de o sol encontrar-se em elevação igual a 10° , o que evidencia a baixa incidência solar desta estação com maior demanda por aquecimento. Mais ainda, por estar localizado em uma zona portuária, há o predomínio de fortes ventos.

Figura 44 - Diagrama do caminho do sol em Copenhague

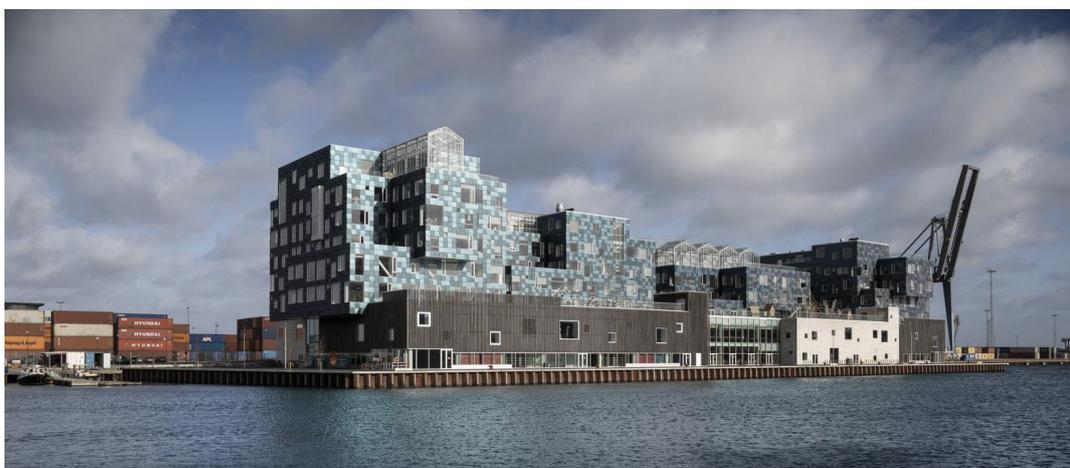


(GAISMA, 2020)

Voltando à escola, chamo a atenção para o fato de seguir convicções consistentes dos pontos de vista social e energético. No âmbito social, como torná-la símbolo para a comunidade, mas também, como auxiliar o desenvolvimento individual dos alunos em diferentes fases de crescimento e particularidades. Neste sentido, outro fator de grande importância é o acesso à luz natural, estratégia para incentivar o aprendizado principalmente nos períodos de inverno e temperaturas rígidas. Para Anders Smith (FILMPLUSDK, 2018), membro do conselho da escola, a luz influencia como você desempenha certas tarefas e o projeto arquitetônico cria suporte para melhorar o ambiente de ensino. Assim, as salas de aula são arbitrariamente localizadas nas esquinas dos volumes, para receber luz

natural de duas fachadas e aumentar a incidência solar (figuras 46 e 48). No âmbito energético, 12.000 módulos fotovoltaicos foram integrados ao envelope do edifício (figura 45). Para Smith, aplicados por questões estéticas e energéticas. Portanto, luz é uma das principais forças organizadoras da arquitetura.

Figura 45 - Copenhagen International School revestida com 12.000 módulos



(C.F. MØLLER, 2017)

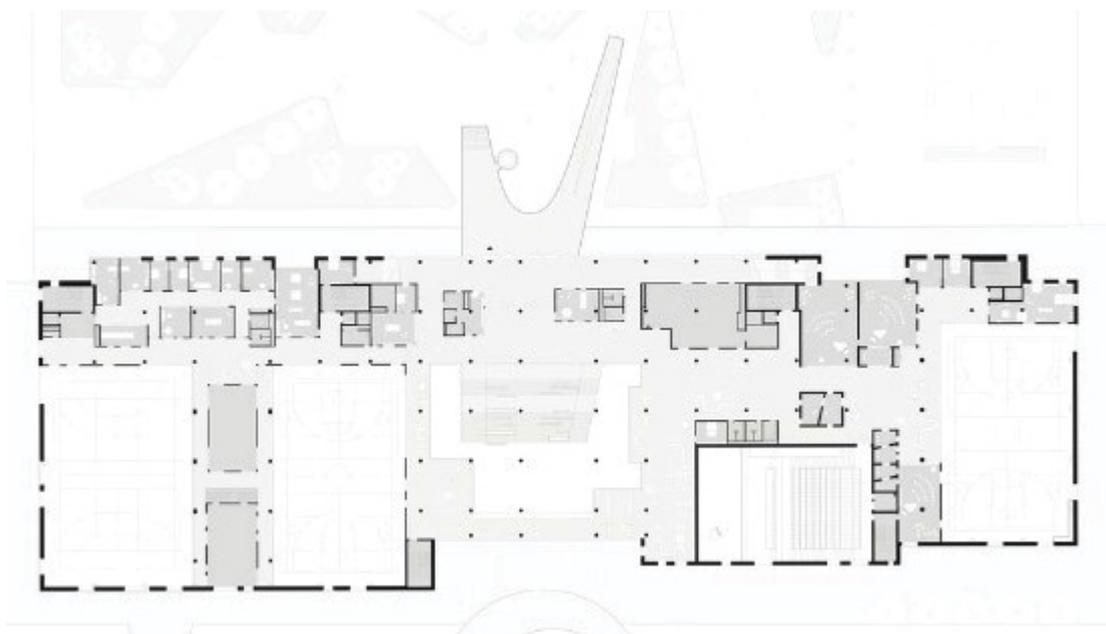
Figura 46 - Salas de aula localizadas nas esquinas dos volumes das torres, para maior incidência solar e estímulo à realização de tarefas



(C.F. MØLLER, 2017)

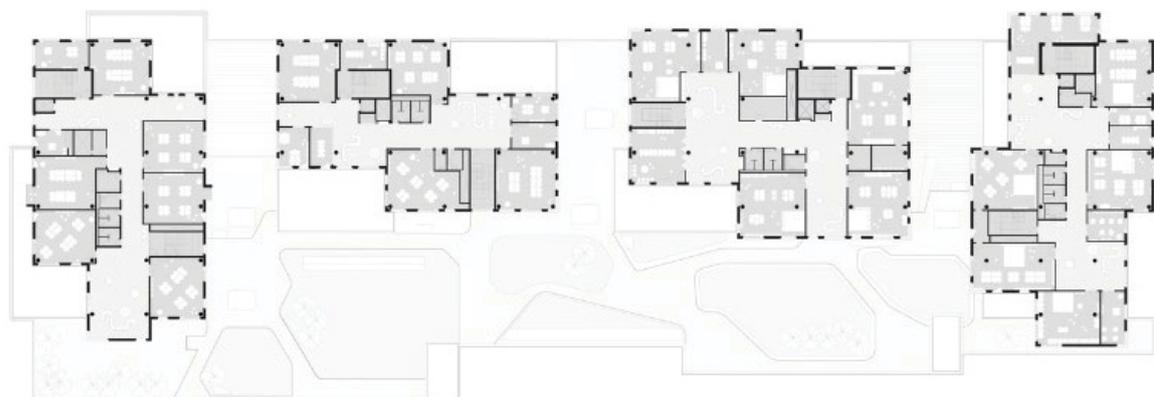
Com 26.000 m² de área construída, é a maior escola da cidade e abriga 1.200 estudantes e 280 funcionários. A área é distribuída em quatro volumes, organizados por uma mesma base de dois andares. Os volumes variam entre 5 a 7 andares, “cada um especialmente adaptado para atender às necessidades das crianças em diferentes estágios de desenvolvimento” (C.F. MØLLER, 2017, tradução nossa). Tal organização confere identidade e legibilidade ao espaço, enquanto o embasamento articulador (térreo e segundo pavimento) abriga atividades comuns a todos os alunos: *foyer*, instalações esportivas, refeitório, biblioteca, anfiteatro e salas de ensaio. Portanto, as salas de aula, localizadas nas torres, podem ser fechadas nos contraturnos, enquanto o embasamento serve de apoio à comunidade. O pátio externo também foi projetado com tal intuito: a topografia criada é parte do processo de revitalização do bairro Nordhavn para desfrute da população. Continua também nos terraços elevados e cobertura do edifício, mas nesta oportunidade com caráter privado para uso e segurança dos alunos.

Figura 47 - Planta baixa nível térreo do embasamento articulador



(C.F. MØLLER, 2017)

Figura 48 - Planta baixa terceiro andar, quatro torres abrigam as salas de aula



(C.F. MØLLER, 2017)

Figura 49 - Paisagismo voltado à comunidade versus terraços elevados privados



(C.F. MØLLER, 2017)

Enfatizo que os detalhes sobre o sistema fotovoltaico, apresentado em sequência, são possíveis graças ao contato com o arquiteto Heiko Weissbach que disponibilizou documentos após entrevista com a autora

Sofia Dias no dia 11 de novembro de 2019. Assim, ancoro a pesquisa em afirmações pautadas por dados fornecidos pelo CF Møller Architects. Os módulos fotovoltaicos na Copenhagen International School ocupam 6048 m² de superfície das fachadas, fornecem cerca de metade do consumo anual energético da escola (40-50%), com produção estimada em 300 MWh/ano (C.F. MØLLER, 2017). É o maior exemplar de construção BIPV, em português edifício fotovoltaico, na Dinamarca e, segundo o *Building Integrated Photovoltaics: Product overview for solar building skins Status Report 2017* (SUPSI-SEAC, 2017), pode ser classificado como uma integração *Rain-screen façade (cold façade)* - fachada “fria”, os módulos fotovoltaicos funcionam como revestimento da fachada da edificação, com passagem de ar entre substratos para dissipação do calor gerado pela termalização e incidência solar, motivo da denominação “fria”. A termalização, citada na primeira parte da dissertação, é o “resíduo” da interação entre fóton e matéria, ou seja, calor. Assim, o material construtivo é integrado de forma similar a outros revestimentos, normalmente por meio de trilhos metálicos e detalhes técnicos que se assemelham às fachadas ventiladas.

Ao dissolver o que seria apenas uma torre em quatro, o acesso a horas de luz natural/dia é garantido nos ambientes criados a partir do nível do embasamento, diferente do que seria um paralelepípedo de grandes dimensões, profundo e hermético. As quatro torres têm seus interstícios, a assimetria entre volumes, além dos rasgos abertos no envelope do edifício, também esculpidos pela incidência solar, somada à gama de variáveis: maior perímetro disponível para aberturas e ventilação, estratégias bioclimáticas, idade dos alunos, fases de aprendizagem, identidade e legibilidade, terraços para brincar. Pois bem, similarmente às simulações disponíveis em *Porosity* (MAAS, 2019), a porosidade é consequência desta

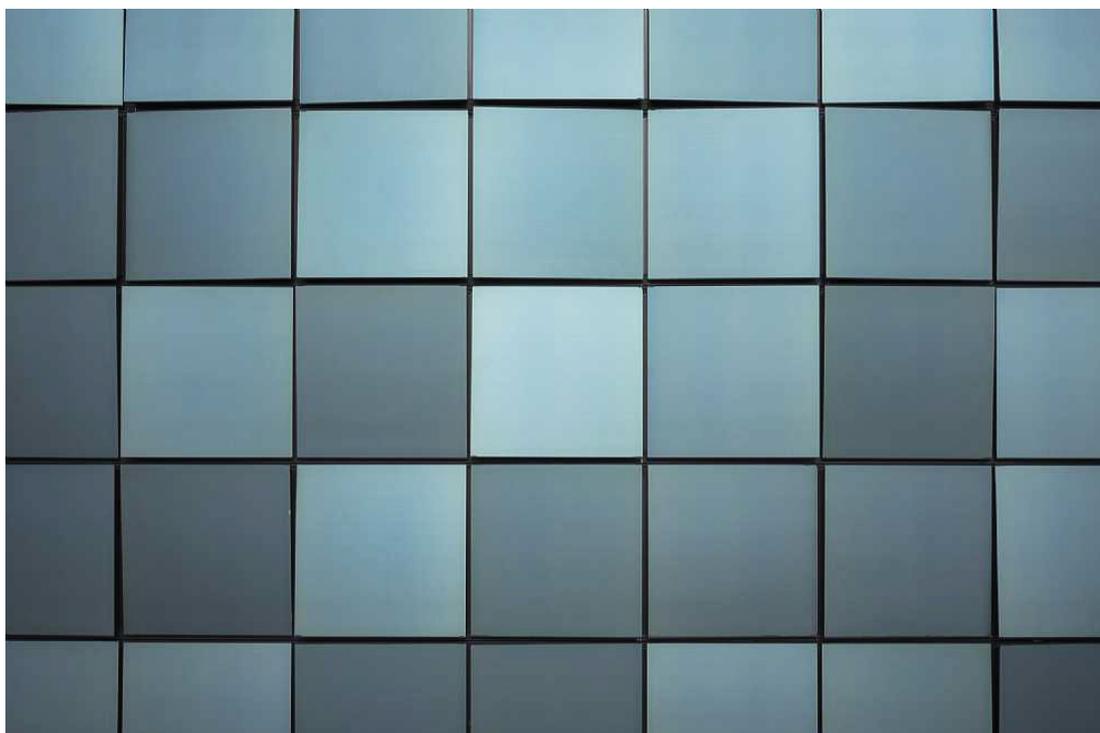
miscelânea que vai além da produção energética e resulta na quantidade de superfície disponível para a inserção de módulos fotovoltaicos, ou seja, área de fachada. Aqui a geração de energia não é peça portátil como no estudo de caso zero, mas fruto das decisões arquitetônicas, portanto o sucesso está no balanço das questões a se responder em termos volumétricos de maior escala - todo um edifício e não um espaço particular.

Também difere da prática comum mencionada por Zomer et al. (2013) e Scognamiglio (2016): restringir sistemas à latitude da cidade e orientação norte-sul, dependendo do hemisfério. No entanto, no estudo de caso, os módulos fotovoltaicos assumem a materialização do desenho da escola, com pequenas variações angulares de 4° em relação à verticalidade dos demais substratos - diferente dos 55°41'32"N de Copenhagen. As peças estão posicionadas em todos os sentidos de inclinação que, para o C.F. MØLLER (2017), cria um "*sequin-like effect*" - efeito texturizado de lantejoulas, "*sequin*" em inglês. Todos os módulos têm a mesma cor azul, mas a variação nos sentidos de inclinação confere diferentes tonalidades à composição (figura 50). Além disso, estão instalados a partir do embasamento do edifício, nas quatro torres, desenvolvidas com 7,2 m entre colunas (C.F. MØLLER, 2017). A fachada ativa produtora de energia está integrada inclusive à face norte, o que também difere da prática ordinária mencionada por Zomer et al. (2013) e Scognamiglio (2016).

O acabamento opaco e a orientação dos módulos divergem do arquétipo de peças ofuscantes, com células e ligações metálicas aparentes, além de azul característico. Porém, são basicamente "preparados da mesma maneira que outro módulo monocristalino, apenas as dimensões, tipo de vidro frontal e sistema de armação, moldura metálica, foram desenvolvidos especialmente para o projeto" (C.F. MØLLER, 2017). As

soluções foram aprimoradas pela empresa *Swissinso* e *Solvis*, para a produção dos módulos denominados *Kromatix*, enquanto o C.F. MØLLER junto à Solar Lab trabalharam no detalhamento do sistema de integração à fachada (SWISSINSO, s.d.). O material construtivo, módulo fotovoltaico, consiste em várias camadas unidas no processo de laminação: vidro, filme de EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*) para encapsulamento e proteção contra a água e sujeira, célula solar monocristalina, filme de EVA para encapsulamento, fundo protetor (normalmente polímero ou composição de polímeros) e moldura metálica de alumínio. A estrutura de fixação - montantes - é uma caixa metálica de alumínio com face inclinada, 4° em relação ao substrato da fachada que está verticalmente posicionado. Também, a estrutura contém trilhos metálicos para a fixação do módulo fotovoltaico e é reforçada para suportar os fortes ventos (figura 51).

Figura 50 - Inclinação dos módulos causa efeito de variação de tonalidade



(C.F. MØLLER, 2017)

Figura 51 - Moldura metálica em alumínio para fixação do módulo



(C.F. MØLLER, 2017)

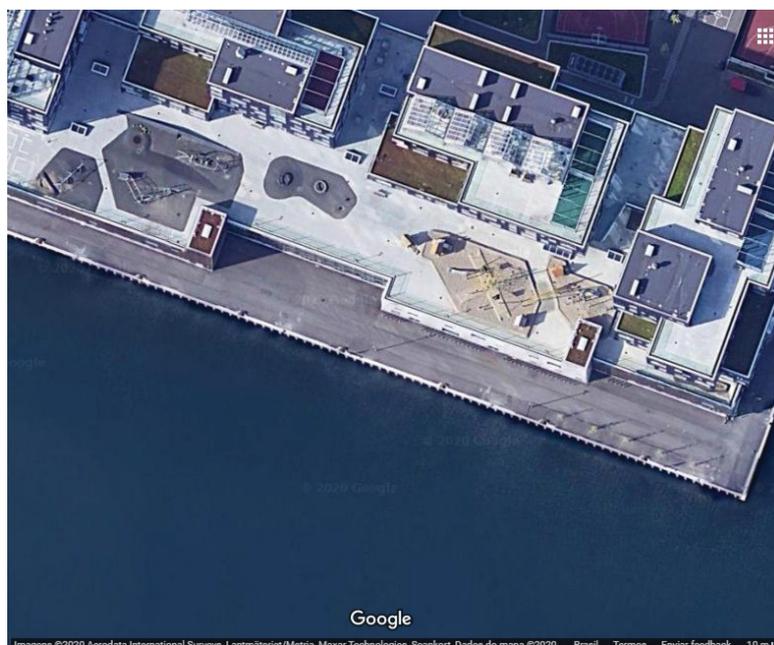
O acabamento opaco e azul, tipo *Kromatix™ blue-green solar glass*, é conferido ao substrato de vidro por meio de tratamentos de superfície de “nanotecnologia otimizados para energia solar (fotovoltaica e térmica). Isso significa que o produto não tem tinta ou matiz, mas deposição atômica transformando o vidro translúcido em cor” (SWISSINSO, s.d., tradução nossa). O resultado é obtido por meio de alterações da superfície: na superfície interna do vidro por meio de plasma de baixa pressão e, na externa, a partir de tratamento para potencializar a reflexão difusa da luz. Portanto, evita o ofuscamento e brilho, além de ocultar as células e ligações elétricas dentro do módulo (SWISSINSO, s.d.). No entanto, aplicar *layer* acima da célula solar é uma escolha que exige balanço no que refere à absorção óptica por meio da refletância dos substratos. Já que, quanto mais alta a refletância, menor a transmitância e absorção dos raios solares que alcançam a célula, conseqüentemente, produzindo menor quantidade de energia. Portanto, dependendo da cor, o fator de transmitância do substrato *Kromatix* varia entre 85-90%. No caso do azul, é igual a 88% (SWISSINSO, s.d.). Fica claro que o esforço para esconder a célula fotovoltaica induzirá perdas adicionais de eficiência que variam entre 8-30%, dependendo da cor e padrão (WALKER, s.d.).

Na sua maioria os módulos contêm 16 células, de dimensões 72 cm x 74 cm, conectadas com fio de cobre estanhado. Enquanto os módulos de menores dimensões, contêm apenas 12 ou 8 células. Estão interligados eletricamente em séries de oito e cada *string* - como chamamos um “x” número de módulos solares conectados em série - são acoplados aos inversores de frequência para a conversão de corrente elétrica contínua para corrente alternada de 230 Volts. Estas máquinas estão armazenadas acima do forro de teto dos ambientes no edifício (C.F. MØLLER, 2017). Além disso, os fios elétricos que unem a primeira à última célula, saindo pela face posterior e central de cada módulo, são conectados aos *junction box* - caixa de passagem, transportando a eletricidade gerada por cada peça à ligação em série entre módulos, além de proteger os fios da água e corrosão. Tais agrupamentos em séries de oito estão munidos de *diodo de bypass*, servindo como um caminho alternativo para a corrente quando um módulo estiver parcialmente sombreado, por exemplo, o que limita a dissipação de calor e perda de eficiência. Também evidencio que o contexto de implantação é banhado pelas águas do estreito de Øresund, que separa os países Dinamarca e Suécia (figura 52). Esta característica garante que a escola não sofra com o efeito do sombreamento por outros edifícios, porém, a reflexão especular da água, não contribui significativamente para o albedo.

Se o projeto fosse guiado apenas pela produção energética e maiores resultados em densidade de potência (kWp/m²), prática comum em sistemas fotovoltaicos que, segundo Scognamiglio (2016), levam a soluções *standard*, sua materialização seria outra. Provavelmente resultaria em terraços cobertos por módulos, sem espaço livre para brincar, ou na maior área de fachada possível para a inserção da tecnologia na face sul, com o mínimo de subtrações (janelas). Opostas a este raciocínio, as decisões

projetuais no *Copenhagen International School* concatenam produção de energia à gênese arquitetônica, sinal de abandono da característica de design autoreferenciado e sustentado apenas pela produção energética. Ainda sim, o cômputo geral é de 300 MWh/ano, equivalente ao consumo anual de aproximadamente 70 casas com média de três habitantes por unidade habitacional, gerando cerca de 40-50% do consumo energético da escola (C.F. MØLLER, 2017). A fachada sul do edifício produz 68 kWh/ano a cada 1.000 m² de superfície, enquanto a norte 25 kWh/ano a cada 1.000 m².

Figura 52 - Contexto de implantação do projeto, orientação norte para cima



(Screenshot Google Maps, 2020)

Segundo o relatório disponibilizado por Weissbach, de abril a maio de 2017 o total de energia consumido pela escola foi igual a 167.000 kWh, dos quais 57.000 kWh foram produzidos pelos módulos fotovoltaicos, dados disponíveis e captados nos primeiros meses de funcionamento do sistema. Os elementos estruturais da fachada para inserção da tecnologia foram construídos entre junho e novembro de 2015, 6 meses até a conclusão. A inserção de todas as peças fotovoltaicas aconteceu entre

maio e outubro de 2016, também 6 meses até a conclusão. A conexão dos módulos solares aos inversores foi feita no último mês antes da abertura oficial da escola: 8 de janeiro de 2017. Todos os dados sobre a produção de energia do edifício, similar à biblioteca da ETHZ, estão disponíveis aos alunos da escola para análise durante as aulas de física e matemática (C.F. MØLLER, 2017).

4.2.1. Entrevista Heiko Weissbach/ C.F. Møller Architects

Aterrissei em Berlim no Aeroporto Berlim-Tegel "Otto Lilienthal" (TXL), o principal aeroporto internacional projetado em 1965 para Berlim ocidental pelo escritório de arquitetura Gerkan, Marg und Partner (GMP). Com característica forma hexagonal de seus terminais, tinha encerramento previsto para 2012, mas continua em funcionamento devido a atrasos na obra do novo Aeroporto de Berlim-Brandemburgo "*Willy Brandt*" com abertura prevista para 2020. Para acessar o centro da cidade a partir da zona perimetral, fui de ônibus até a Estação Central Berlin Hauptbahnhof. Também foi projetada pelo escritório de arquitetura alemão GMP a partir do mérito de concurso, escolhido em 1993. A finalização do projeto em 2006 culminou na maior interseção ferroviária da Europa, fruto do projeto de remodelação ferroviária da capital alemã. Segundo o escritório GMP, o princípio chave está no símbolo arquitetônico e urbano da passagem do túnel ferroviário interurbano norte-sul e do viaduto para os trilhos elevados, que criam a forma em cruz (figuras 52 e 53). Devido ao programa arquitetônico híbrido, é um centro pulsante para a cidade. O edifício de mais de 300 metros de plataforma, trilhos ferroviários elevados, que correm de leste a oeste e o hall de entrada entre os prédios

ladeados são cobertos por uma delicada estrutura de telhado em vidro. A cobertura que abriga a plataforma tem a “forma de uma construção de concha curva e segue o layout das pistas. Partes do telhado estão equipadas com módulos fotovoltaicos” (GMP, s.d., tradução nossa). Portanto, o sistema fotovoltaico está totalmente integrado à forma e funciona, também, como cobertura (figura 53). O edifício fotovoltaico está numa estação central com movimento diário de milhares de pessoas, em contexto urbano situado a norte da quadra dos edifícios governamentais de Berlim, a exemplo do Reichstag. Tais relações podem ser visualizadas no vídeo disponibilizado pelo escritório GMP em seu *website* - nos minutos 2:40 e 3:30, os módulos fotovoltaicos integrados à cobertura estão aparentes, junto a plataforma de partida e chegada dos trens.

Figura 53 - Integração fotovoltaica à cobertura de vidro



(GMP, 2006)

A partir deste contexto de chegada à cidade, realizei entrevista com o arquiteto Heiko Weissbach no dia 11 de novembro, das 9 às 11h30min, Berlim, Alemanha, no escritório do C.F. Møller Architects, 2 dias após o aniversário de 30 anos da queda do muro de Berlim. O escritório localiza-se próximo ao Jüdisches Museum Berlin projetado pelo Studio Libeskind, no bairro Kreuzberg. Weissbach é arquiteto formado na Royal Academy of Fine Arts in Copenhagen e, também, na Aarhus School of Architecture. Hoje é responsável por supervisionar uma equipe de arquitetos e designers no estúdio dinamarquês CF Møller Architects Berlin, que está em processo de formação na cidade. Ele atua como o principal ponto de contato entre clientes, parceiros de planejamento local e outros escritórios internacionais da empresa. Fundada em 1924, hoje o C.F. Møller Architects tem 310 funcionários, com sede em Aarhus, Dinamarca, e filiais em Copenhagen, Aalborg, Oslo, Stockholm, Malmö, Berlim e Londres.

Iniciamos a entrevista semiestruturada na sala de reuniões, sentados em cadeiras fruto da colaboração entre o escritório e o estúdio de design Wehlers. As cadeiras R.U.M - um acrônimo de *Re-Used-Materials* - são produzidas inteiramente a partir de redes de pesca recicladas (figura 54), prova da preocupação sobre o ciclo de vida dos materiais incorporados ao processo de criação. Para a transcrição, os acrônimos indicam os participantes: Sofia Hinckel Dias (SHD) e Heiko Weissbach (HW). A conversa foi gravada com autorização do entrevistado e traduzida para o português a fim de facilitar a compreensão (figura 55).

Figura 54 - Cadeira R.U.M, acrônimo para *re-used-materials*



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 55 - Entrevista com o arquiteto Heiko Weissbach no escritório de arquitetura CF Møller Architects Berlin



(DIAS, S. (fotógrafa), 2019)

SHD: Para você, quais estratégias fazem parte de um edifício eficiente?

HW: Na Alemanha e no norte da Europa, a estratégia nas últimas décadas foi, principalmente, evitar o consumo de energia. Apenas nos últimos anos consideramos a possibilidade de arquitetura produzir também energia elétrica, resultando em edifícios com consumo de “energia zero”, autossuficientes. Portanto, no meu ponto de vista, produzir energia a partir de sistemas fotovoltaicos é um complemento às estratégias de comportamento dos usuários, escolha de materiais e estratégias passivas, para evitar o consumo de energia antes e produzi-la depois, já com uma demanda de consumo mais baixa.

Isto deveria estar presente desde o primeiro pensamento arquitetônico. É como rolar uma pedra sobre a colina: se você não mantém as ideias desde o princípio, fica muito difícil voltar atrás depois que certas decisões são tomadas. É como parar de empurrar a pedra sem antes chegar ao topo da colina, de forma que se torna impossível abandonar as decisões, no meio do caminho, porque a partir deste momento as ideias arquitetônicas tornam-se inválidas. Você precisa pensar nas condições do local, interpretar antes tudo o que for construído, desde a concepção e estágios iniciais, para manter o raciocínio durante todo o processo, é claro.

SHD: Então estas são estratégias simbióticas?

HW: Sim, e são soluções difíceis de implementar em escala global porque os contextos mudam muito rapidamente, com variáveis diferentes mesmo em curtas distâncias. Por exemplo, ao sul de Frankfurt, muitas casas unifamiliares ainda não têm isolamento térmico e estamos falando de

apenas alguns quilômetros de distância. Neste contexto multifacetado, é muito mais fácil instalar máquinas de ar condicionado, com “conforto” garantido em qualquer período do ano, ao invés de cultivar um pensamento sobre como criar um bom clima no interior de edifícios a partir da gênese arquitetônica. Para tal, acredito que o processo começa sempre em primeiro aperfeiçoar o consumo de energia, além de entender bem o contexto em que você está lidando.

Por exemplo, na Dinamarca, devido a sua grande costa que é muito extensa e quase insular, sofre-se muito com o vento de intensidade média a forte. Em oposição, aqui este não é um tópico relevante. Berlim é "plana como uma panqueca", como dizemos. A colina mais alta tem algo em torno de 45m. Então você tem que analisar essas diferenças e construir algo que irá interagir com a natureza. No caso da Dinamarca, eles precisam proteger o ambiente interno, já que estão muito expostos ao vento. Portanto, se você deseja sombreamento solar, como brises móveis, por exemplo, do lado de fora das janelas, que é o lugar certo, é necessário colocar uma proteção para o vento não levar as peças voando por aí além de proteger o ambiente interno. Essa é a ideia de uma fachada de dupla camada. E assim por diante... Se pensarmos bem, basicamente tudo o que você materializa na arquitetura você o faz conduzido por aquilo que está fazendo de errado. Fazemos errado e depois compensamos. Esta é uma história longa, podemos conversar sobre isso durante anos.

SHD: Para quem estas estratégias são destinadas?

HW: Para todos, em qualquer lugar, porque todas as estruturas edificadas consomem energia e, portanto todos os edifícios devem ser levados em consideração. Por exemplo, quando pensamos em sombreamento em

países onde a irradiação solar alcança altos valores, esta deveria ser a necessidade número um ao criar novas arquiteturas. Depois, você usa energia para resfriar os ambientes. E eu penso que tais decisões são igualmente importante em fábricas localizadas nos subúrbios, fazendas, ou em um edifício no meio da cidade. Afinal, cada kilowatt-hora conta para o equilíbrio global!

SHD: Além de aperfeiçoar/evitar o consumo de energia e entender o contexto de implantação do edifício, você adicionaria quais estratégias na busca por edifícios “zero”?

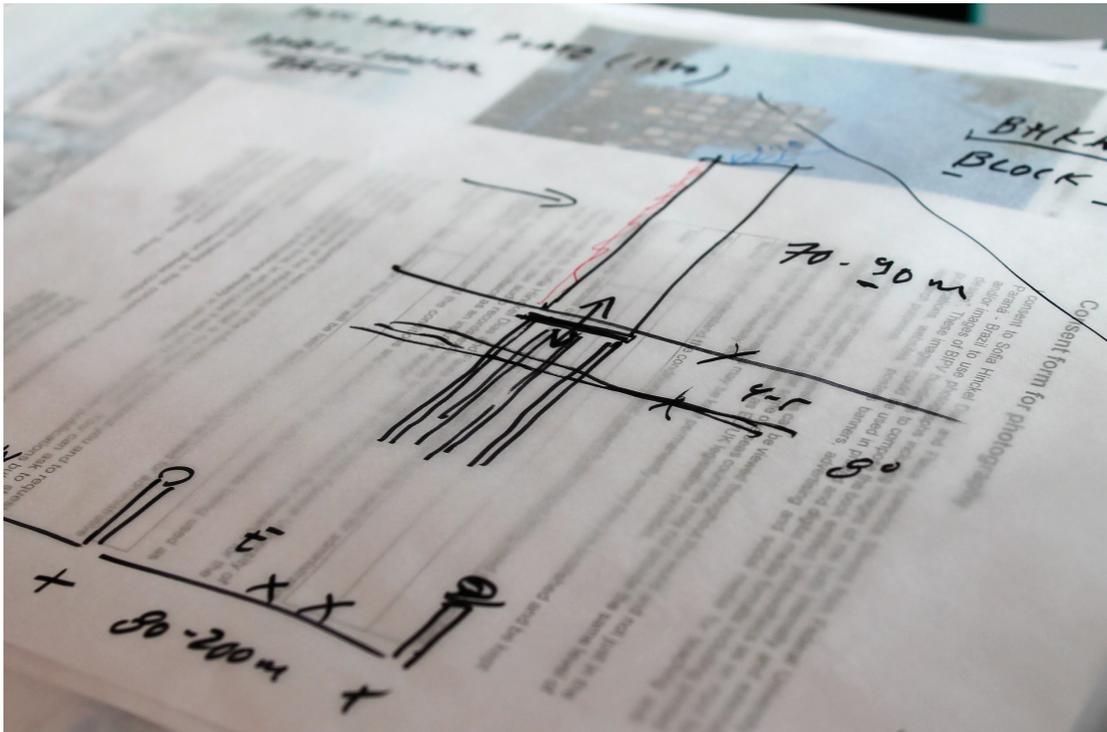
HW: É claro, temos também estratégias passivas, implantação de sistemas fotovoltaicos para a produção de energia e, no norte da Europa, muitas vezes tentamos também esgotar o uso de energia geotérmica. É uma solução bastante popular principalmente na zona rural e em casas unifamiliares. Você basicamente cava um buraco no chão e coloca uma manta para absorver a energia do solo, emitida abaixo da superfície. E você deve considerar que, no norte da Europa, a superfície está congelada, então deve colocá-la ainda mais profunda para capturar o calor da Terra. Em casas unifamiliares e pequenas estruturas, você pode fazer isso de maneira muito simples: é um produto de baixa tecnologia, *low-tech*, não é nada sofisticado. A indústria agora também está produzindo o BHKW, *Block heating power plant*, é um sistema de produção de energia elétrica e térmica, que requer apenas um pouco de gás para funcionar, com baixo consumo e alta eficiência. Hoje, os sistemas são compactos, ocupam área de 1 m² (80 cm x 120 cm) e também silenciosos. Você pode combinar com sistemas fotovoltaicos em uma escala menor, especialmente em casas antigas com aquecimento ineficiente e ainda baseadas na queima de

carvão, por exemplo. Neste sentido, o morador pode substituir as máquinas antigas com suporte e incentivo financeiro do estado. Esta mudança pode chegar muito próxima ao balanço energético zero em moradias unifamiliares.

SHD: Como isso é aplicado em projetos maiores? Para torres de edifícios por exemplo.

HW: Vamos fazer o exercício de imaginar que construiremos uma torre. Terá em torno de 70-90 metros de altura, algo comum nos dias de hoje. Mas a edificação de uma torre é como uma árvore: para sua verticalização também haverá raízes, fundações tão profundas quanto sua altura. Normalmente serão como pilares profundos, diferentes de fundações de casas unifamiliares que usam fundações planas. Portanto, estes pilares suportam o peso e também suportam o movimento da estrutura pela carga dos ventos. Com este exemplo em mente, nós do CF Møller Architects construímos uma torre em Munique. O nível da água subterrânea é muito baixo na cidade, cerca de 4 a 5 metros abaixo da superfície do solo e a temperatura durante todo o ano é cerca de 8°C. Portanto, afeta diretamente a construção de fundações profundas (figura 56). Assim, usando deste artifício decidimos aproveitar esta temperatura para otimizar a performance energética do edifício, incorporando nos pilares de concreto tubos com água corrente que absorvem a temperatura subterrânea e a levam para dentro do edifício. Este é outro tipo de troca geotérmica, existe uma longa lista de possibilidades.

Figura 56 - Croquis explicativos feitos por Weissbach



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

HW: Outro exemplo: o projeto da Potsdamer Platz, por Renzo Piano⁶. Depois que o muro de Berlim caiu em 1989, toda a área foi abandonada, nada foi deixado para trás. Muitas pessoas acreditam que o muro é uma simples estrutura, apenas uma separação linear, quando na verdade é uma zona vazia (figura 57). Ou seja, estamos falando em termos de área de superfície. A Potsdamer Platz está localizada neste vazio, de aproximadamente 200 metros. Em uma área próxima, existia uma antiga usina que produzia energia elétrica a partir da queima e então um grande engenheiro alemão, Gerhard Drees, que junto a Hans Sommer criou o escritório de engenharia Drees & Sommer, propuseram atualizar este antigo modelo de produção energética para o século 21. Ou seja, produzir

⁶ Arquiteto italiano graduado na Politecnico di Milano. Em 1971 montou o escritório "Piano & Rogers" e, juntamente com Richard Rogers, ganhou o concurso para o projeto do Centre Pompidou. Em 1981, estabeleceu o escritório de arquitetura "Renzo Piano Building Workshop", hoje com 150 colaboradores, desenvolvendo o plano urbanístico e edifícios da Potsdamer Platz, Berlim, nos anos 90. Recebeu o prêmio Pritzker em 1998.

calor e energia e, simultaneamente, reduzir o consumo total de energia de todos os edifícios criados com base no plano diretor de Renzo Piano para a Potsdamer Platz. Acredito que entre 20 e 25 arquitetos participaram do projeto, mas todos foram colocados para trabalhar sobre o mesmo conceito de energia. Ideia que coaduna, também, com a economia de água e coleta da água da chuva. Portanto, é marco histórico da conscientização energética nos anos 90, tópico relevante antes não considerado de forma integrada à concepção arquitetônica. Este foi um dos primeiros projetos em grande escala monitorados pela União Europeia. E, conectando tais ideias à nossa conversa anterior, neste projeto eles fizeram tudo o que sabiam na época, inclusive esgotar o uso de energia geotérmica nos projetos arquitetônicos - mas agora em uma escala ainda maior do que mencionamos anteriormente, em nível urbano. Falando ainda sobre o que está abaixo da superfície do solo, em Berlim você sempre tem que construir fundações à prova d'água porque o nível da água subterrânea está a 1,5 metros da superfície. E estacionamentos subterrâneos também são complicados para construir na cidade... Precisam ser à prova d'água e é muito caro! Assim, na Potsdamer Platz metade do orçamento foi usado "abaixo da superfície" para construir shopping centers, apartamentos, edifícios de escritórios, estacionamentos, estações de metrô, presentes no plano urbano de Renzo Piano. Inclusive, por causa do aniversário de 30 anos da queda do muro de Berlim, que aconteceu neste final de semana, no Sony Center que fica no coração da Potsdamer Platz, muitas histórias engraçadas foram expostas em estações de TV sobre esta época. Por exemplo, durante a construção dos edifícios e escavações do subsolo, havia salva-vidas para impedir que as pessoas caíssem na água (figura 58)!

Esta característica fez com que consumo e produção de energia, estratégias passivas bioclimáticas, soluções geotérmicas para aproveitar a temperatura abaixo da superfície, soluções financeiras e orçamentárias e, também, sociais, fizessem parte da arquitetura... Que organiza todas as forças materializadas em edifícios - em escala urbana!

Figura 57 – Zona de transição entre os dois lados do muro de Berlim



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 58 - Canteiro de obras na Potsdamer Platz. É possível verificar a presença da água no início das escavações



(RENZO PIANO BUILDING WORKSHOP, s.d.)

SHD: Então esta forma de pensar arquitetura, em consonância com a maneira de produzir energia e lidar com o contexto de inserção, é bem diferente do arquétipo de edifício “verde”...

HW: “Arquitetura verde” tornou-se muito popular porque arquitetos estão projetando fachadas “verdes”. Ou seja, colocam plantas nas fachadas, mas na verdade é um comportamento estúpido... já que plantas precisam de terra e água e não deveriam ser a única força para conceber edifícios sustentáveis.

SHD: Neste sentido, quais grupos de pesquisa são relevantes para a discussão de uma arquitetura em que produção de energia, ou redução do consumo, estratégias passivas, ciclo de vida de materiais, contribuem para a gênese?

HW: Transsolar. Conduzido por Thomas Auer e Stefan Holst, com escritórios em Stuttgart, Munique, Nova York e Paris. Eles colaboram com arquitetos em todo o mundo e são, digamos, a vanguarda da arquitetura sustentável. Nós do C.F. Møller Architects trabalhamos com o Transsolar em um projeto para um concurso... e trabalhamos porque em sua consultoria, já no *briefing*, lançaram possibilidades de consumo zero de energia atrelado às oportunidades para desenvolvimento da arquitetura. Um estudo complexo já que, neste caso, tratava-se de um edifício de escritórios com 50.000 m², no centro da cidade e, claro, que implicava em várias restrições. Então, elegemos conceitos *low-tech* e propusemos um edifício de 7 andares feito em estrutura de madeira para este prédio administrativo do *The German Ministry for the Environment* - BMU (Ministério Alemão do Meio Ambiente), objeto do concurso (figura 59). Será a primeira vez que este tipo de uso será

construído em madeira... se escolherem o nosso projeto na competição, é claro! Logo, eletricidade, aquecimento, resfriamento, vaporizar água no verão para baixar a temperatura em torno de 3°C, tópico agora provado cientificamente por Thomas Auer, são informações muito importantes para gerar boa arquitetura. Auer dirige seu próprio departamento de pesquisa na Universidade de Munique, que desenvolve pesquisas em paralelo à aplicação no mundo real por parte da Transsolar.

SHD: Hoje, qual tópico você considera em evidência?

HW: *Grey energy*. O que isto significa: considerar a energia incluída em todos os tipos de materiais no processo de projeto. Tentamos, pelo menos na Dinamarca, propor projetos com concreto reciclado, por exemplo. Pegar o concreto de demolições, esmagá-lo, separar o ferro desta mistura e você poderá reciclar o material em aproximadamente 50%. O tijolo, claro, também é outro material muito bom para reciclar. Henning Larsen, importante arquiteto dinamarquês, fez uma escola com concreto reciclado. Outro importante escritório de arquitetura dinamarquês é o 3xn, e eles também desenvolvem projetos sustentáveis neste sentido.

Claro, depois do tema *grey energy*, é importante também pensar sobre a regeneração dos materiais. Neste sentido, o material número um é a madeira. O C.F. Møller Architects desenvolveu a maior estrutura em madeira na Suécia: o edifício de apartamentos residenciais Kajstaden de oito andares (figura 60). Construído 100% em madeira, até o elevador é feito em madeira laminada cruzada. Se você olhar no nosso *website*, ilustramos o processo de construção e você consegue visualizar o edifício sendo levantado. Observação importante neste tipo de construção, já que você pode preparar os painéis de madeira em fábrica, a construção é menos

vulnerável ao tempo e mais rápida: levanta-se um edifício em 3 a 6 meses. Portanto, esta é uma referência muito legal sobre o tema, desenvolvido por nossos colegas suecos na sede de Estocolmo. Ola Jonsson, arquiteto responsável, está dando várias palestras sobre este projeto.

Figura 60 - Edifício Kajstaden construído totalmente em madeira



(C.F. MØLLER, 2019)

SHD: Percebo que é um movimento que está começando, ainda com poucos exemplares de edifícios totalmente em madeira... Qual é o contexto alemão?

HW: Existe um escritório de arquitetura em Berlim chamado KADEN+LAGER, um dos pioneiros da construção em madeira na Alemanha. Mas a maioria das construções são híbridas, combinando madeira e concreto porque a lei de proteção contra incêndio na Alemanha é muito rígida e eles têm medo de edifícios feitos totalmente em madeira. Entretanto, a vantagem da madeira é que pode-se calcular em quanto tempo queima, diferente de outros materiais. Hoje a brigada de incêndio

está realmente aberta para esta ideia. É um grande avanço, especialmente quando falamos em estruturas laminadas cruzadas. Neste caso, se você conhece o tipo de madeira, a umidade e a espessura, resulta em números precisos de quanto tempo terá antes do incêndio arruinar o prédio. Então as estruturas estão ficando cada vez mais altas! E cada vez de melhor qualidade...

Uma grande mudança é notada principalmente na Suécia e Finlândia, já que a indústria do papel está sofrendo com o uso de e-mails eletrônicos e diminuição da quantidade de papel que as pessoas normalmente consumiam. O que é bom... mas a indústria madeireira precisa descobrir novos mercados, como a construção civil. Ainda mais nestes países em que a reserva de florestas é vasta. Portanto, acredito que, unindo todos estes fatores, o desenvolvimento destes empreendimentos será cada vez maior.

SHD: E como é a aceitação de tecnologias integradas ao edifício? Como sistemas fotovoltaicos, por exemplo?

HW: Somos todos humanos e cometemos erros. Isto considerado, as duas primeiras gerações de edifícios sustentáveis tinham muitas tecnologias integradas de difícil entendimento para as pessoas que neles moravam ou trabalhavam. Por exemplo, uma vez visitei uma das torres projetadas por Renzo Piano na Potsdamer Platz e dentro do prédio, ao lado dos escritórios, você tem um grande painel com muitos botões para apertar, termômetros para medir a temperatura, etc, e todos recebem um livro para saber como usar seu escritório, como não abrir a janela, como ajustar a temperatura. E basicamente todo mundo que usa o edifício está fazendo errado. Quero dizer, a tecnologia é difícil de entender e não tiramos tempo para aprendê-

la. Assim, levando isto em consideração, levamos tais conceitos, unido à concepções de integração energética, já para as fases de *briefing* e participação de competições, para facilitar o entendimento e uso do edifício pelos usuários. Por exemplo, vencemos um concurso em Zurique, o edifício Bellerivestrasse 36, retrofit de uma construção muito bonita de 1974 (figura 61), eu acho, com estrutura de concreto e com muitos muros e reentrâncias perimetrais (figura 62). O que é algo que você não constrói hoje, tudo está se tornando tão racional... Está localizado em área muito central, a 2 km da estação central e o proprietário queria reformar o prédio para alugar. Por isso, convidaram cinco escritórios de Zurique e o CF Møller Architects de Copenhagen para desenvolver propostas para um concurso. Nossa estratégia foi tirar a balaustrada existente e colocar superfície de vidro do chão ao teto, além de usar a altura da laje para introduzir módulos fotovoltaicos com o ângulo perfeito para a incidência solar em Zurique. Ao fazer isso em todo o edifício, em todos os andares, podemos produzir toda a eletricidade necessária para sua demanda energética.

Figura 61 - Antes e depois do retrofit projetado para o edifício Bellerivestrasse 36



(C.F. MØLLER, 2019)

Figura 62 - Muros e reentrâncias perimetrais do edifício Bellerivestrasse 36



(C.F. MØLLER, 2019)

HW: O projeto consiste, basicamente, em reorganizar o espaço e preenchê-lo com escritórios, banheiros e serviços para alugar. Ademais, aproveitar a altura da laje para criar uma estrutura de aproximadamente 1,20 m para fixar módulos fotovoltaicos no topo, com a angulação perfeita (figura 63). Produzir toda a energia necessária a partir destas soluções é incrível. Também, escolhemos módulos fotovoltaicos com o substrato de vidro pintado em branco... Então, durante a apresentação do projeto em Zurique, o cliente perguntou: Com licença, talvez esta pergunta seja um pouco antiquada, mas os módulos fotovoltaicos não são azul escuro? E eles não precisam estar no telhado? Nossa resposta foi: Sim, isso foi há 10 anos. Agora também podemos usar módulos fotovoltaicos nas fachadas, com uma estética totalmente diferente. E é uma empresa suíça que a produz, funcionou tão bem que vendeu a tecnologia para o Catar e, ao ver o potencial em projetos como o Bellerivestrasse 36 e a Copenhagen International School, a comprou novamente. Produzem módulos em várias cores, em tons de azul, verde, amarelo, etc.

Figura 63 - Os módulos estão posicionados no chanfro do volume que sobrepõe as antigas lajes de concreto, inclinados segundo a incidência solar em Zurique



(C.F. MØLLER, 2019)

SHD: Qual foi o contexto de integração fotovoltaica à Copenhagen International School?

HW: Nós tivemos dificuldades em projetar a fachada em termos de design. O efeito, digamos, aleatório na inclinação e posicionamento das peças na superfície é difícil de projetar, já que temos a tendência de repetir soluções “racionalizadas”. Ou seja, contar 1, 2, 3, 4, e repetir a mesma peça no próximo buraco vazio. Então, alguém muito talentoso em programação, desenhou um programa paramétrico para organizar e otimizar o posicionamento dos módulos fotovoltaicos na fachada. A solução de design paramétrico foi realizada no software Rhinoceros, com plugin Grasshopper. A maioria dos escritórios de arquitetura daneses usam softwares BIM para a concepção de projetos, mas a solução paramétrica é

a maneira perfeita de alcançar o resultado esperado para o projeto Copenhagen International School, a partir de parâmetros que alcançam a aleatoriedade precisa. Sobre o contexto de implantação da escola, é banhada por água, durante o inverno a exposição aos raios solares é de, em média, 6 a 7 horas, com ótima incidência durante o verão. Tais fatores resultam em uma produção energética anual que varia entre 40% e 50%.

Na Dinamarca e também em toda a Europa, usualmente construímos fachadas com três *layers*: face interna, isolamento e revestimento exterior, falando de maneira grosseira. Claro que, atrás do revestimento exterior existem outros elementos, como a estrutura que sustentará o módulo, organizará os fios e instalação, seguido de uma camada de isolante térmico. Todas estas escolhas são paralelas ao uso do edifício, com funções públicas no nível térreo, além de usos esportivos, e usos didáticos nas torres acima do embasamento. Mais ainda, estufas de vidro localizadas na cobertura, em terraços privados e destinados aos alunos. Portanto, as três classificações em relação ao uso do edifício, também determinam onde a energia é produzida. O pensamento em camadas classifica toda a integração arquitetônica e maneira de conduzir o pensamento.

SHD: Por que está localizada no bairro Nordhavn?

HW: Esta é uma pergunta que muitas pessoas fazem. As estações de metrô nesta região foram abertas há algumas semanas, portanto não é mais um bairro isolado. Tais estações estão a apenas alguns passos da escola. Toda a área do Nordhavn foi e será ainda mais revitalizada (figura 64), processo em andamento a partir de um concurso lançado há 10 anos. O plano diretor da área foi desenhado nesta época e aos poucos os edifícios e remodelações

foram surgindo. O processo foi mais lento do que o esperado por causa da crise financeira que sofremos, adicionada à complexidade de se construir uma linha de metrô em Copenhague. Mas agora a escola foi inaugurada, junto às estações de metrô, apartamentos residenciais, edifícios de escritórios, muito bem localizados já que com apenas algumas estações de metrô você já estará no centro da cidade. Já estão falando sobre uma extensão da escola, porque é muito popular... além de Copenhague ser uma cidade muito internacional. Portanto, desejam criar mais espaço para crianças de famílias estrangeiras ou danesas que desejam que seus filhos frequentem uma escola internacional. Parte da imagem positiva da escola advém, claro, do currículo e da maneira que os professores tratam as crianças e etc, etc, etc, mas também da materialização da arquitetura, completamente penetrada pela luz natural e produção de energia. A luz natural e a relação com a aprendizagem é um tópico muito importante na Dinamarca e, em comparação com a Alemanha, está 10 - 15 anos à frente. Na Alemanha ainda temos um professor que fica na frente dos alunos e diz o que devem fazer, enquanto na Dinamarca, explicando de maneira simplificada, coloca-se um problema na mesa, incentivando os alunos a discutirem e refletirem sobre. E o fazem sentados em cima das mesas, ou no sofá, ou nas estufas da cobertura, orientados por tarefas que os alunos devem solucionar. Por exemplo, acredito que na escola desenvolvida por Henning Larsen, de 15 a 20% do tempo que as crianças passam na escola, estão sentadas juntas com um grupo escutando talvez o professor ou a outro colega para aprender ou desenvolver representações em desenhos. Logo, as questões pedagógicas também são parte das soluções arquitetônicas.

Figura 64 - Revitalização do bairro Nordhavn



(COBE ARCHITECTS, 2020)

SHD: Qual o efeito que esta forma de pensar causa?

HW: Um efeito muito positivo! Porque não apenas cria espaços valoros, com ambientes adaptados ao contexto e necessidade, mas também estimula e cria suporte para crianças em diferentes etapas de aprendizagem e com bagagens históricas totalmente diferentes. Acredito que este seja o ponto mais interessante sobre a Copenhagen International School: abriga, por exemplo, a segunda geração de imigrantes e refugiados vivendo na Dinamarca, mas também a segunda geração de famílias americanas que vieram trabalhar na cidade, diplomatas, ou o que for, então você não tem apenas diferenças financeiras, mas principalmente grandes diferenças culturais. E todos compartilham deste bonito edifício.

Outro efeito positivo, causado pela integração dos módulos fotovoltaicos, é que o edifício provoca curiosidade e estímulo. Muitas pessoas desejam tocar no material, já que é algo desconhecido, não acreditam ser um módulo fotovoltaico. Talvez seja o motivo de as peças

não estejam integradas ao nível térreo, já que tanto crianças quanto adultos querem sentir sua materialidade! Por sorte, a camada ativa que produz energia é protegida por vidro, já que a umidade e o toque danificariam os sistemas... Você não pode tocar as obras de arte no museu! Ou tocar os pés de esculturas nas igrejas... A matéria, os materiais não duram para sempre, tudo o que é criado um dia desaparecerá, mas este é outro aspecto filosófico da arquitetura e teremos que discuti-lo a fundo em outra oportunidade. Neste sentido, meu arquiteto favorito, o catalão Enric Miralles, projetou o cemitério em que está enterrado: o Cemitério de Igualada, próximo a Barcelona. O projetou para ser temporariamente retido, criando o espaço em que os mortos são enterrados, mas com o tempo, a terra cairá novamente e o espaço desaparecerá. Por isso que uma das frases presentes na fala de Miralles é: você precisa construir o espaço como se sempre estivesse ali, trabalhar com o tempo a seu favor, recebê-lo e mudar com ele. O tempo é visto como um detonador de transformação e até de desaparecimento.

SHD: Quais programas arquitetônicos estão em maior destaque no escritório? Haverá outras integrações fotovoltaicas?

HW: Sim! Este é um projeto hospitalar desenvolvido pelo C.F. Møller Architects. Hoje, é um dos maiores mercados na Alemanha, já que metade dos hospitais serão desativados no país. Isto porque os tratamentos hospitalares tornaram-se tão especializados que hospitais menores não podem oferecer todos os serviços necessários. Nos países escandinavos, onde a população varia entre 4 e 6 milhões de habitantes, eles já têm um número reduzido de hospitais, como na Dinamarca que tem hoje apenas 5 grandes hospitais em todo o país e as clínicas menores tornaram-se locais

de tratamento específico. O C.F. Møller Architects projetou o maior hospital da Dinamarca e este conhecimento agora é exportado para a Alemanha.

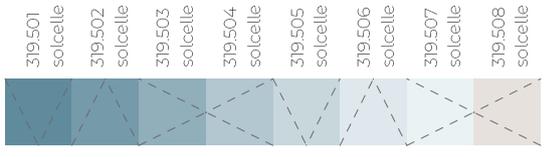
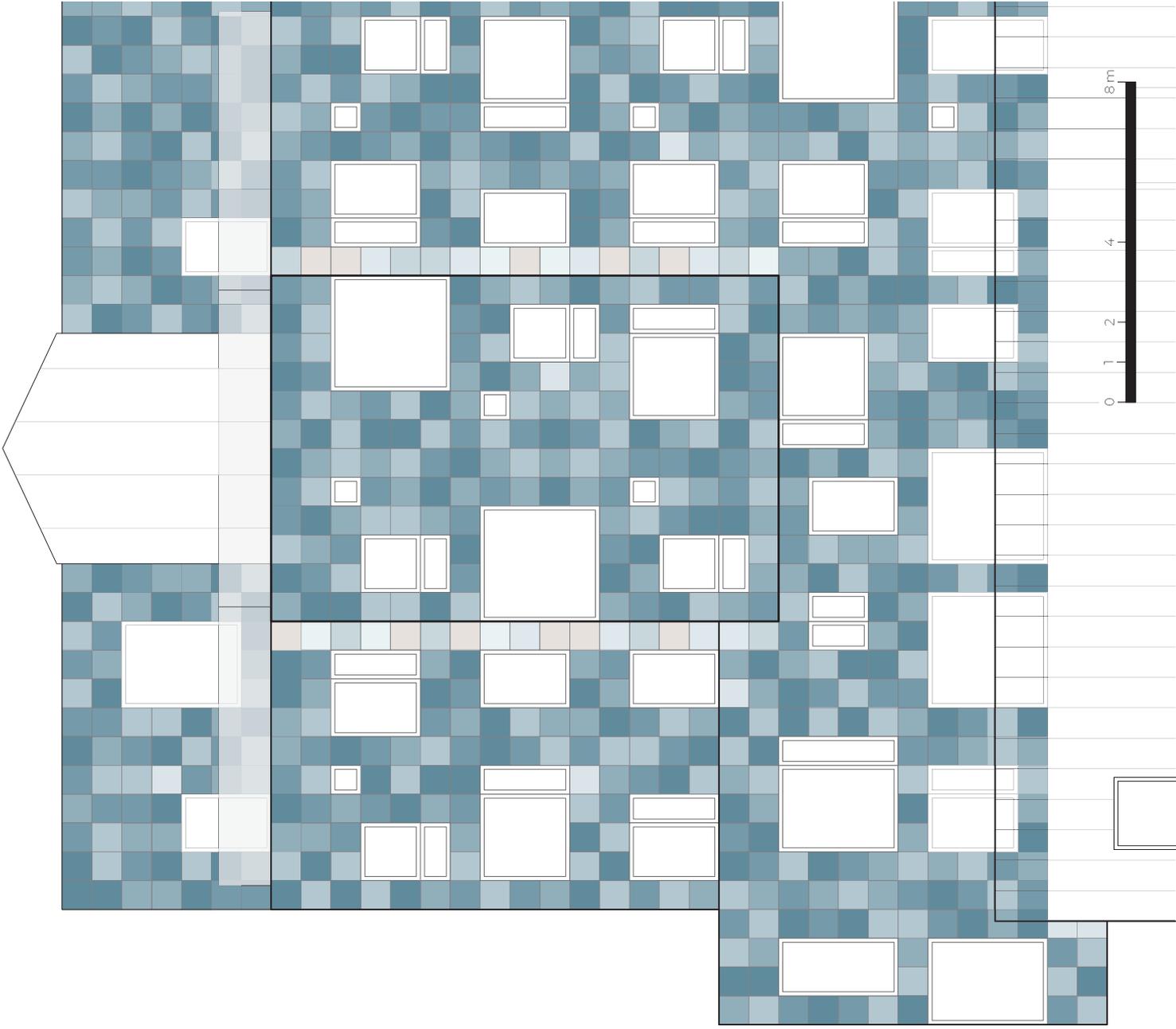
SHD: Muito obrigada pela entrevista, Heiko!

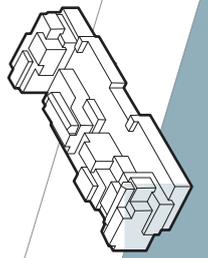
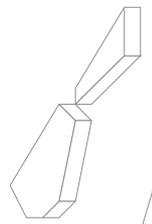
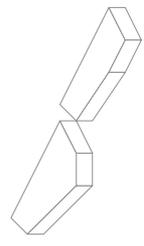
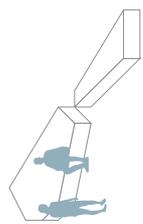
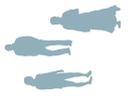
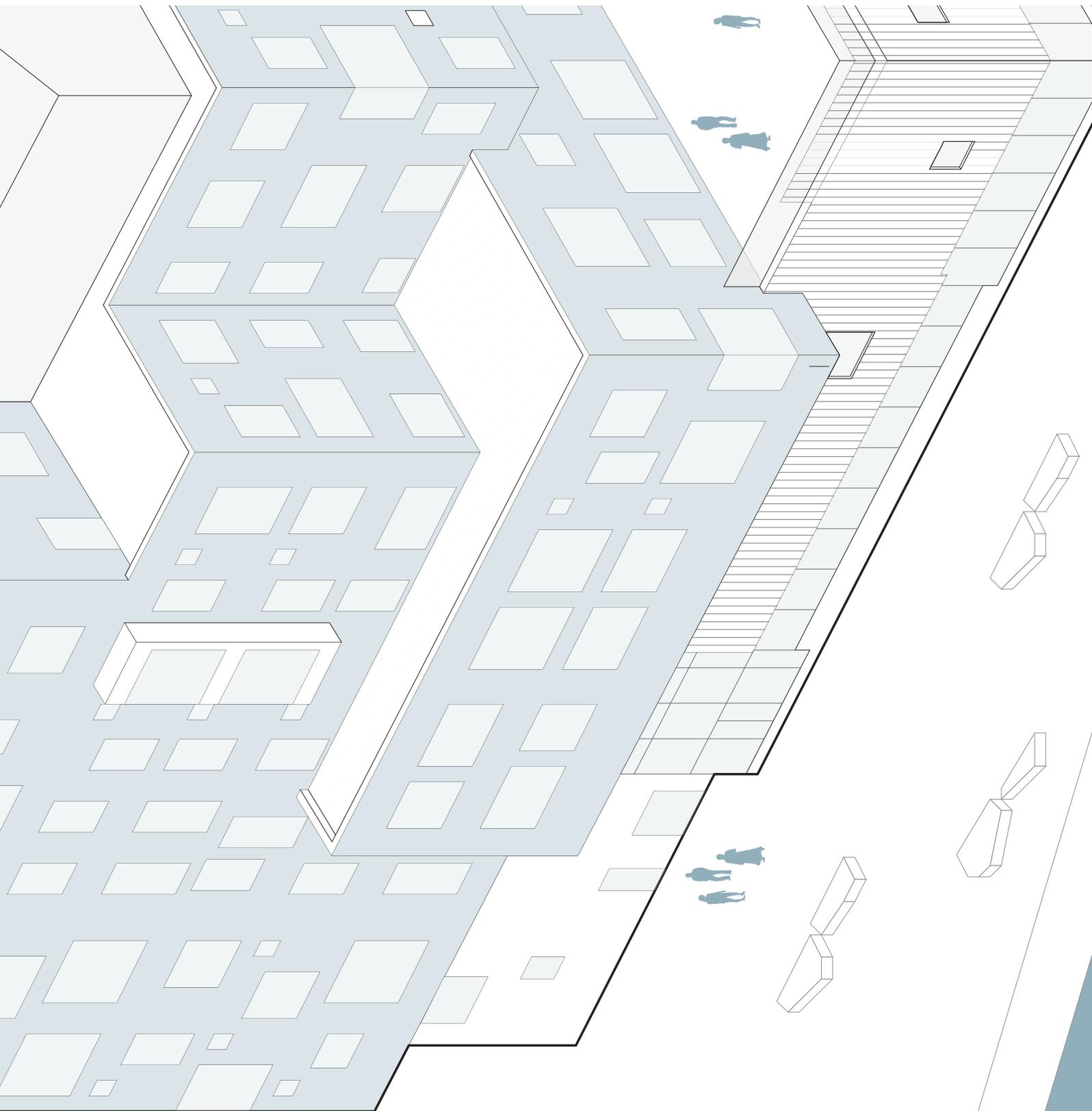
Após a entrevista, em troca de emails no dia 16 de janeiro de 2020, Heiko Weissbach escreveu: “vencemos o maior concurso público de arquitetura para a extensão do Ministério Alemão do Meio Ambiente em Berlim na semana passada, projeto comentado na entrevista. Se tudo der certo, planejaremos uma estrutura de madeira de oito andares e usaremos os mesmos módulos fotovoltaicos da Copenhagen International School nas fachadas de um dos edifícios do complexo!”.

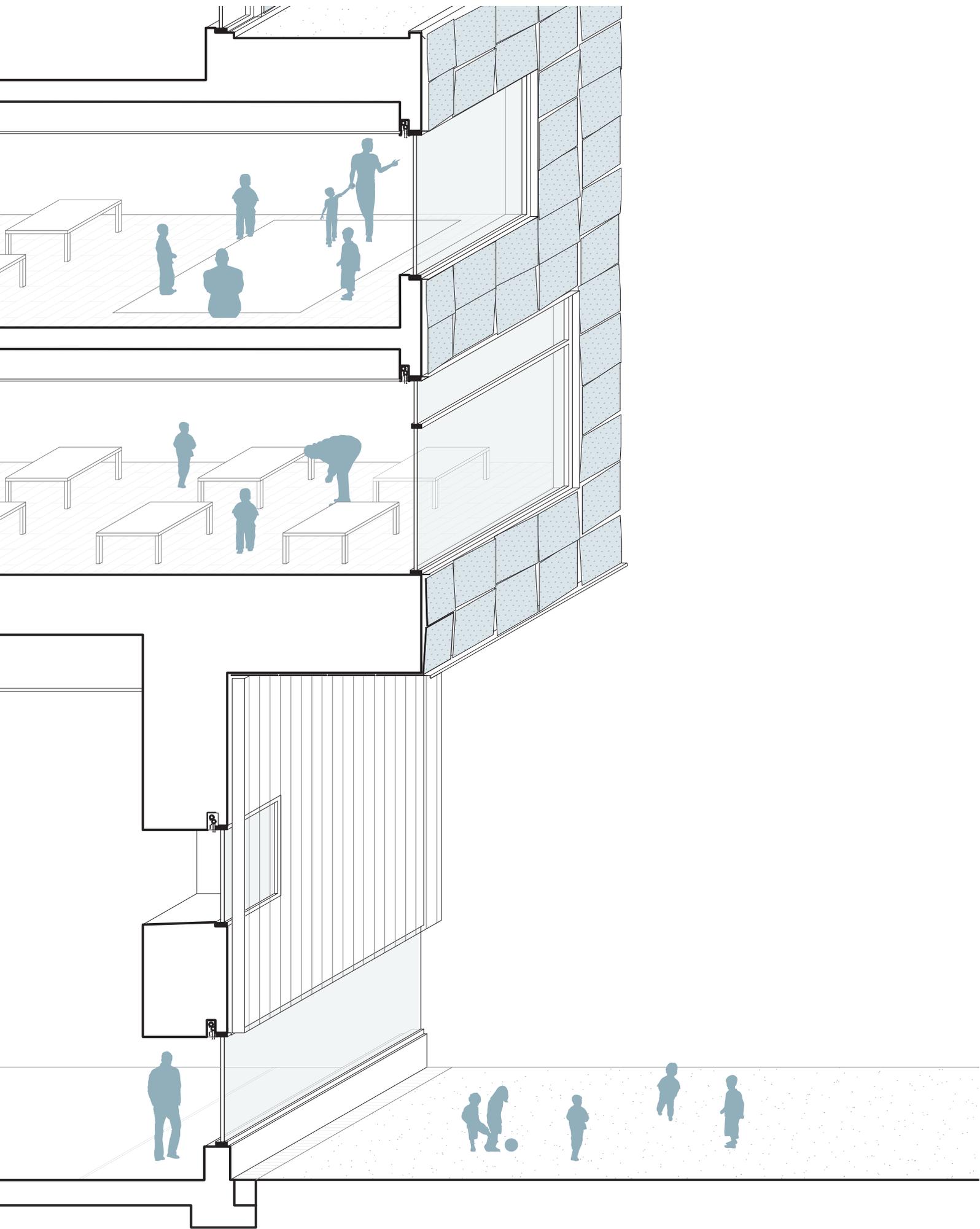
Figura 59 - *The German Ministry for the Environment*



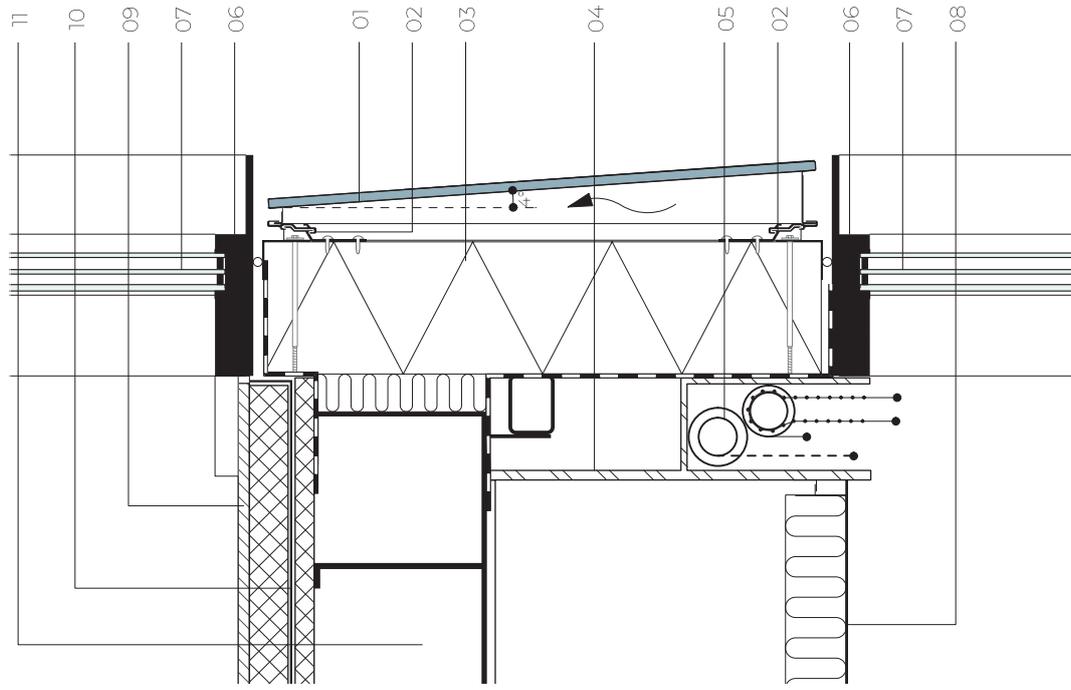
(C.F. MØLLER, 2019)







0 1 2 3m



- 01 - módulo fotovoltaico monocristalino, dimensões 72 cm x 74 cm, acabamento opaco.
- 02 - montante metálico parafusado, para fixação da estrutura em alumínio que sustenta o módulo fotovoltaico.
- 03 - painel termo isolante autoportante eps (poliestireno expandido)
- 04 - placa de gesso
- 05 - cortina tipo rolô com tela solar e blackout
- 06 -esquadria de alumínio
- 07 - Janela com sistema de vidro triplo de baixa emissividade (low-e)
- 08 - forro com isolamento termoacústico
- 09 - piso maciço de carvalho 15mm
- 10 - contrapiso com camada de isolamento termo acústico
- 11 - laje em concreto



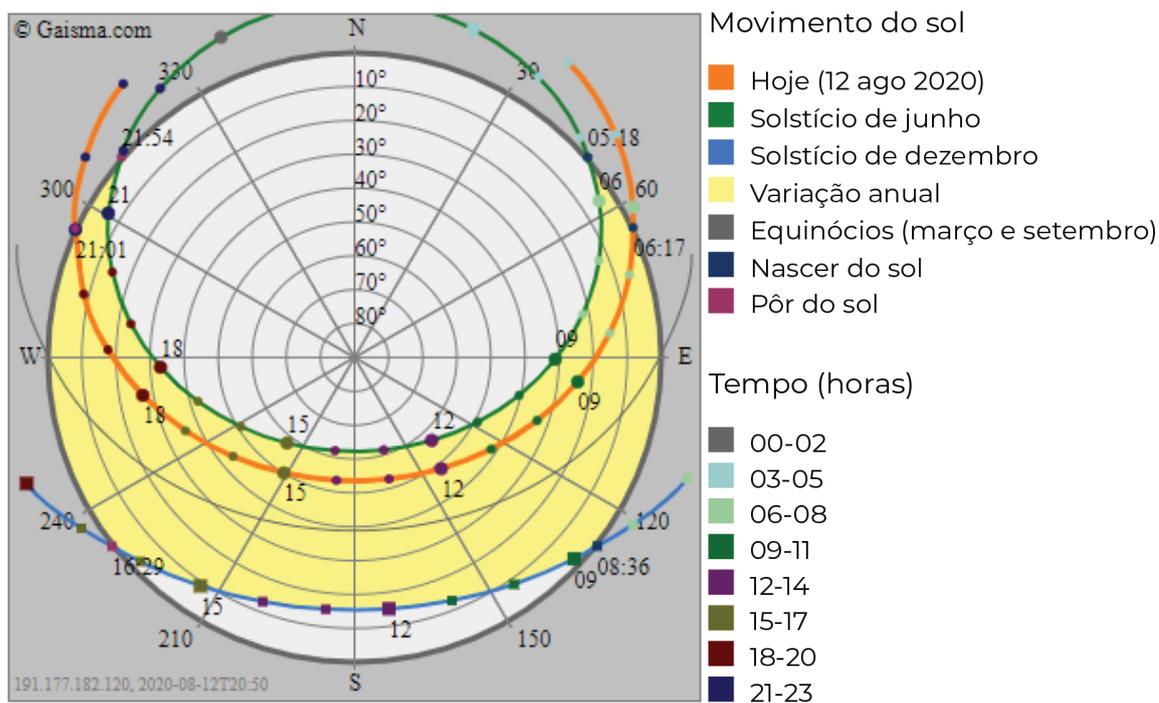
4.3. ESTUDO DE CASO 02: NEW-BLAUHAUS

O edifício New-Blauhaus, estudo de caso 02, foi projetado pelo escritório de arquitetura Kadawittfeldarchitektur e construído em 2015 na cidade Mönchengladbach (51°10'43"N 6°26'31"E), Alemanha. Encontrei os dados nas descrições redigidas pelo Kadawittfeldarchitektur, relatório técnico do escritório de engenharia Ingenieurbüro P. Jung e dados compartilhados por Kilian Kada, sócio do Kadawittfeldarchitektur, após entrevista com a autora Sofia Dias no dia 12 de novembro de 2019, das 11 às 13 horas, em Aachen, Alemanha. Mais ainda, também referencio Udo Carmann e Martin Rösler, que no dia 13 de novembro de 2019, das 12 às 15 horas, guiaram a visita técnica ao edifício New-Blauhaus. O arquiteto e engenheiro fazem parte da empresa NEW-Energie.

A cidade com 264.335 habitantes e densidade de 1.552 hab./km², localiza-se quase na fronteira com a Holanda. A média de temperatura varia de 3 °C em janeiro a 19 °C em julho, com precipitação igual a 800 milímetros/ano, presente em todas as estações (WEATHER SPARK, s.d.). No inverno, período mais crítico e com alta demanda energética em edifícios do hemisfério norte, no solstício de dezembro o sol está elevado a aproximadamente 15°, quase no horizonte. O sol nascerá às 08h56min e o dia terminará às 16h29min (figura 65). Considerando que, quando atingida por massas de ar frio vindas da Rússia a temperatura da cidade pode chegar a -15 °C, as poucas horas de sol são valiosas para aquecer o edifício e gerar energia. Neste sentido, a neve é frequente, mas não em quantidades abundantes, podendo acumular acima do solo durante alguns dias – o que afeta os valores de reflexão da superfície (albedo). Portanto, considerando o entorno imediato do New-Blauhaus, no que se refere ao albedo, o concreto do estacionamento tem albedo igual a 55%, enquanto a grama verde 25%

(MCEVOY, MARKVART, CASTALZER, 2003). No inverno, quando há uma camada de neve depositada sob o solo, este valor pode subir para aproximadamente 95%.

Figura 65 - Diagrama do caminho do sol em Mönchengladbach



(GAISMA, 2020)

Segundo Carmann e Rösler, o sistema fotovoltaico instalado no telhado tem solução que é contumaz na Alemanha: inclinados a leste e oeste, quase como um sistema de *tracking* “fixo” que está posicionado para capturar o movimento do sol durante o dia. Voltando as informações da figura 62, porque os raios solares incidentes tem elevação bastante baixa, a geração de energia a partir de planos verticais ou sistemas fotovoltaicos que considerem, durante o solstício de junho, por exemplo, o amplo movimento solar (nasce às 05h18min e se põe às 21h54min), as orientações leste e oeste fazem sentido. Mas, neste caso específico, os módulos da cobertura estão apenas apoiados na laje de concreto, o que

não configura um exemplar de integração fotovoltaica à estrutura e está fora do escopo da dissertação. A fachada, por sua vez, segundo o *Building Integrated Photovoltaics: Product overview for solar building skins Status Report 2017* (SUPSI-SEAC, 2017), pode ser classificada como uma integração *Rain-screen façade (cold façade)* - fachada “fria”, como no *Copenhagen International School*. Também é compatível com a categoria pré-fabricada, solução inteiramente integrada ao envelope do edifício, como peça construtiva preparada em fábrica, içada no esqueleto estrutural de concreto para então produzir energia elétrica (figura 66).

Figura 66 - Entrada e praça de acesso do Edifício New-Blauhaus

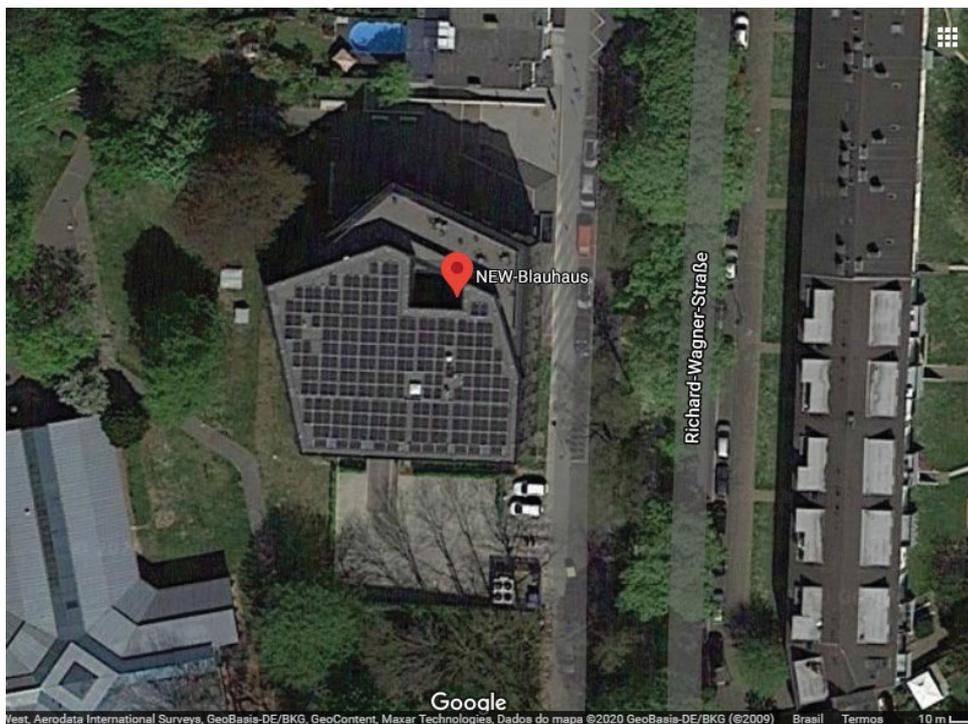


(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Sobre o seu contexto de aplicação (figura 67), Mönchengladbach abriga um dos campi da *Hochschule Niederrhein University of Applied Sciences* e está a apenas 30km de Düsseldorf, o segundo maior centro

financeiro na Alemanha. Portanto, comporta diversas empresas e tem um centro urbano desenvolvido, onde a NEW-Energie é a responsável pelo fornecimento de energia elétrica, gás, aquecimento, medidores, soluções residenciais e empresariais para os serviços de abastecimento de energia e água (NEW-ENERGIE, s.d.). Assim, o New-Blauhaus está implantado dentro do campus da *Hochschule Niederrhein University of Applied Sciences* e é ponto de apoio tanto aos estudantes quanto às funções administrativas da empresa NEW-Energie.

Figura 67 - Contexto de implantação do projeto, orientação norte para cima



(Screenshot Google Maps, 2020)

O edifício foi moldado como um volume solitário e compacto, voltado ao espaço público em todas as direções. Segundo o relatório do Kadawittfeldarchitektur, tal escolha é pragmática: a fachada com acesso principal foi definida pela nova praça projetada pelo escritório, com o intuito de ser também porta de entrada ao campus universitário, enquanto

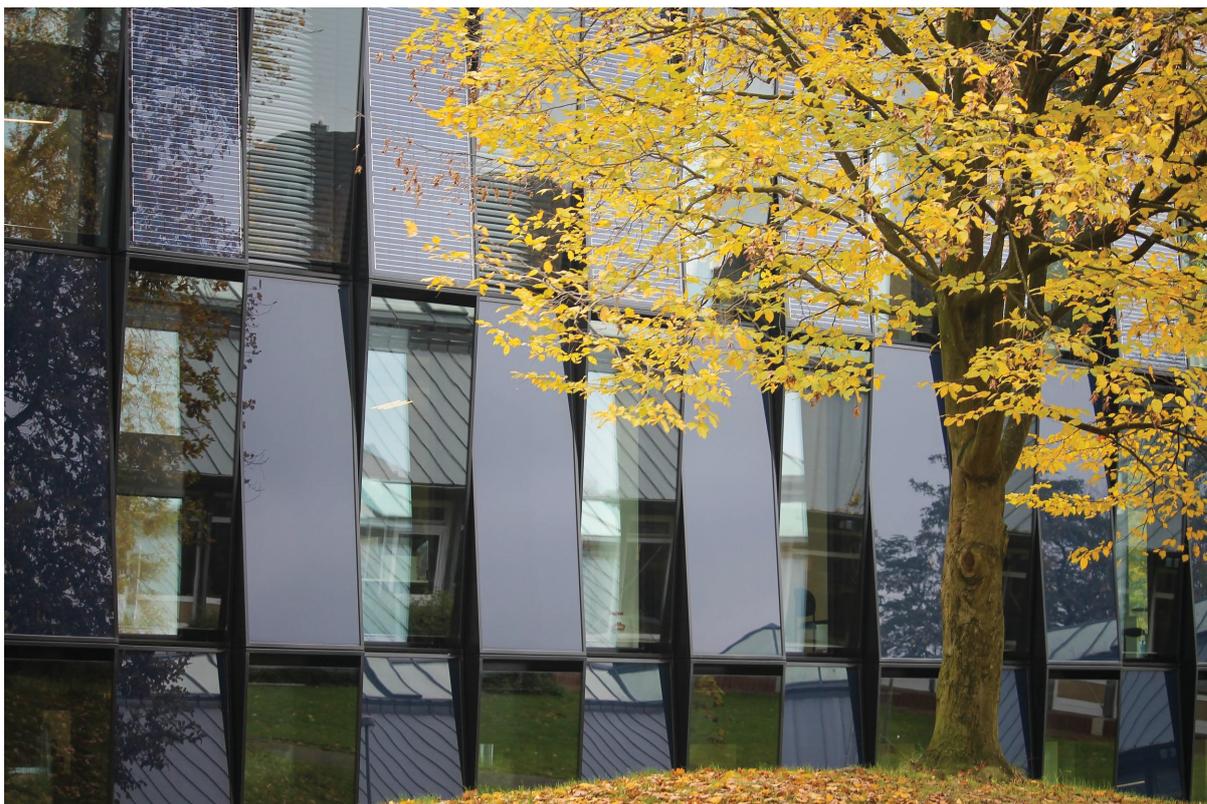
todas as outras faces são determinadas pelos limites e afastamentos a partir dos edifícios existentes no entorno. As variáveis resultam em um pentágono que oportuniza vantagens como a produção de energia fotovoltaica na cobertura e fachadas, mas também permitem que o edifício seja parcialmente devolvido ao uso público, pois um trecho do telhado é acessível como terraço, há um átrio que libera luz zenital e optou-se na fachada por intercalar módulos fotovoltaicos e janelas.

A entrada, totalmente envidraçada e marcada pela protrusão do platô, dá forma ao *foyer* no primeiro pavimento com vistas para a paisagem do campus. Tal espaço é destinado às atividades da empresa NEW-Energie e da universidade, ambas para funções administrativas. Além dos usos citados, nos quatro pavimentos abriga-se um centro de fomento para *startups*, biblioteca aberta aos alunos, incluindo o terraço no último andar, todos organizados por um átrio que perfura o espaço de fora a fora e espalha luz natural. Assim, também fica claro que, além da eficiência energética e integração fotovoltaica, a função didática está fundada no programa arquitetônico estabelecido, totens implantados no *foyer* para apoio às visitas técnicas e nas mais diversas atividades educacionais e programas de incentivo a pesquisa - hoje o New-Blauhaus recebe acadêmicos financiados pela empresa NEW-Energie (KADAWITTFELDARCHITEKTUR, s.d.). Também, em parceria com escolas da região, o edifício é espaço para crianças de 12 anos montarem seu primeiro módulo solar.

Para o Kadawittfeldarchitektur, a fachada é o “principal meio de expressão do projeto”. Os módulos de acabamento brilhante e cor azul, juntamente ao sistema fotovoltaico instalado no telhado, foram projetados para cobrir toda a demanda energética do edifício. O *grid* criado na fachada, a partir da alternância entre módulos e janelas inclinadas, segue

eixos organizadores de 1,35 metros. A inclinação das peças foi determinada para a melhor relação angular entre superfície e incidência solar, resultando em maior conversão elétrica. Tais decisões envolveram, diferentemente do Copenhagen International School, substituir os módulos fotovoltaicos por peças “cegas” na fachada norte, não produtoras de energia, com acabamento em vidro e similar coloração azul. Também, já que o edifício emerge na paisagem do campus com muitas árvores e topografia em elevações variadas, outros módulos que sofreriam com o sombreamento da vegetação são cegos (figura 68). Portanto, o ato de esculpir o edifício e implantá-lo em uma paisagem existente, em alguns momentos coloca energia em detrimento a outras decisões projetuais - são os interstícios socialmente e economicamente importantes, defendidos por MAAS em Porocity. De forma que o inverso também é verdadeiro: a espessa camada de isolamento térmico nas paredes externas, soluções híbridas para eficiência energética no que diz respeito ao aquecimento e resfriamento do edifício, além de subtrações na fachada que permitem à incidência solar e entrada de luz natural, são variáveis que contribuem para a diminuição da demanda por produção elétrica - de forma que a subtração de alguns módulos na fachada não prejudique sua autonomia. Desta maneira, as árvores do campus puderam continuar onde sempre estiveram.

Figura 68 – Relação entre topografia existente e fachada fotovoltaica (face oeste). A partir do solo, as duas primeiras fileiras são feitas de peças cegas não produtoras de energia. Em diante, as outras peças são módulos fotovoltaicos



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

A quantidade de eletricidade gerada atualmente pelo sistema fotovoltaico é 81.529 kWh/ano. Além disso, no subsolo (figura 69), a NEW-Energie instalou um sistema híbrido à produção fotovoltaica: uma bomba de calor reversível para o aquecimento e resfriamento do edifício a partir de um tanque de armazenamento de gelo e um *chiller* - máquina que remove o calor de um líquido via refrigeração por compressão a vapor e resfriamento por absorção. Este líquido pode então circular por meio de um trocador de calor para resfriar o equipamento ou outro fluxo de processo (como ar ou água). A refrigeração cria calor residual que deve ser descartado ou recuperado para fins de aquecimento.

Figura 69 - Subsolo abriga área técnica com equipamentos para otimização de energia, solução híbrida unida à produção fotovoltaica



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Carmann e Rösler resumiram este sistema como uma máquina que suga o ar externo, separa o ar quente para aquecer ambientes internos durante o inverno (ou descarta esta parcela durante o verão) e armazena o frio na forma de gelo. No maquinário, o gelo não é visível, totalmente translúcido por não estar em contato direto com o oxigênio. O frio armazenado servirá para resfriar o edifício no verão, mantendo a temperatura interna média igual a 26°C. Segundo o Ingenieurbüro P. Jung, todo o fornecimento de calor para o New-Blauhaus acontece por meio da bomba de calor altamente eficiente em conjunto com os resíduos do sistema de armazenamento de gelo. Outros fornecedores de calor (BHKW, *Block heating power plant*) estão planejados, os quais podem ser usados alternativamente para fins de demonstração. Ressalto que a estratégia de

reaproveitar os resíduos de calor para aquecer ambientes foi abordada também em outras entrevistas: mencionada por Florian Edler von Hayek⁷, por exemplo, arquiteto do Behnisch Architekten, em 15 de novembro de 2019 na sede do escritório de arquitetura em Munique, Alemanha. Contou que aproveitaram o calor residual gerado por uma grande lavanderia que atende rede hoteleira para abastecer com calor os ambientes da Prefeitura de Bad Aibling, Alemanha. Ao passo que o impacto do calor gerado em ambientes onde se é necessário resfriar, também é um ponto a ressaltar. No New-Blauhaus estes valores foram previstos no que diz respeito aos computadores, já que geram bastante calor.

De volta ao New-Blauhaus, é composto por peças pré-fabricadas, as caixas metálicas inclinadas onde os módulos fotovoltaicos e janelas estão integradas. As 400 peças modulares dão forma ao edifício, em um processo de construção que durou 15 meses - 20 peças içadas por dia e fixadas no esqueleto estrutural de concreto. Segundo relatório do Ingenieurbüro P. Jung, as placas de vidro defletoras, que fazem parte da peça pré-fabricada translúcida referente às janelas em fachada dupla, são ventiladas a partir de aberturas nas extremidades e têm proteção solar. Pelo menos uma janela pode ser aberta por conforto, o controle da abertura e fechamento da proteção solar é automático, mas a intervenção do usuário é possível. Ainda referente às peças pré-fabricadas, a exceção está na fachada sul que confronta o estacionamento, estas não são inclinadas como nas outras faces do polígono: o substrato totalmente vertical implica em menores custos financeiros se comparado às demais.

Faço uma breve digressão para comparar a solução à caixa metálica desenvolvida para a fachada da Copenhagen International School, estudo

⁷ Entrevista aconteceu em Munique no dia 15 de novembro, das 9 às 11 horas, com suporte de Tobias Wagner (Technische Universität München, TUM).

de caso 01, lá com a função mais de fixar a peça e estabilizá-la quando atuam os fortes ventos em um sistema *plug and play*. Enquanto no New-Blauhaus esta função se extrapola em nível de solucionar janelas inteiras e paredes produtoras de energia, contudo com maior dificuldade em substituir os módulos quando necessário. Seguindo na analogia, no que diz respeito ao acabamento do sistema, na Copenhagen International School optou-se por módulos fotovoltaicos opacos, de tonalidade azul em que as células de silício e conexões metálicas são imperceptíveis, tecnologia utilizada com maior frequência em edifícios fotovoltaicos no mercado suíço, enquanto o New-Blauhaus tem acabamento brilhante e vítreo, de maneira inventiva associado à disposição e materialidade das janelas. Na primeira, há perda na conversão elétrica ao manipular o acabamento do substrato de vidro, mas inovação no que diz respeito à materialidade do edifício. Na segunda, ainda que o encapsulamento em filme de EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*) na cor preta seja menos eficiente do que em branco, os módulos fotovoltaicos, que ocupam área compacta e bastante reduzida se comparado ao Copenhagen International School, seguem com eficiência contumaz.

4.3.1. Entrevista Kilian Kada/ Kadawittfeldarchitektur

Realizei entrevista semiestruturada com o arquiteto Kilian Kada no dia 12 de novembro, das 11 às 13 horas, em Aachen, Alemanha, na sede do escritório Kadawittfeldarchitektur. Kada estudou arquitetura na University of Applied Arts Vienna, Viena, Áustria e na Columbia University, New York, EUA. No escritório Kadawittfeldarchitektur, cofundado por seu pai em 1999, tornou-se sócio em 2011 e hoje a empresa contabiliza 150 funcionários para

trabalhar em áreas diversas: arquitetura, interiores, projetos de escala urbana, localizados em sua maioria na Alemanha. O escritório ocupa três andares de um edifício no centro de Aachen e tem muitas obras construídas na região. A cidade milenar, próxima à fronteira da Bélgica e dos Países Baixos, é um importante centro industrial, comercial e turístico. Localiza-se no meio da região mineira de carvão, além de várias indústrias têxteis, metalúrgicas, químicas e eletrotécnicas (motores). Está a cerca de 67 km do centro de Mönchengladbach, onde foi construído o New-Blauhaus. Visitei o edifício em viagem de trem que durou 01h30min a partir da sede do Kadawittfeldarchitektur no centro de Aachen.

Na transcrição da entrevista, os acrônimos indicam os participantes: Sofia Hinckel Dias (SHD), Kilian Kada (KK) e Nicole Richter (NR), relações públicas da empresa. A conversa foi gravada com autorização dos entrevistados e traduzida para o português a fim de facilitar a compreensão.

Figura 70 - Entrevista com Kilian Kada, com suporte de Nicole Richter



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

SHD: Qual foi o contexto de desenvolvimento do New-Blauhaus?

KK: Como um escritório de arquitetura, nós muitas vezes dependemos da postura de nossos clientes e da inclinação em aceitar certas propostas. De um lado, há a nossa identidade e o que acreditamos ser “correto”... Claro que temos que considerar energia e todos os aspectos sustentáveis em um edifício e usualmente nós lidamos com essas questões de maneira direta, que antecede o movimento por parte do cliente. Mas por outro lado, vejo que os usuários precisam também entender o que é importante para si: quais perguntas desejam responder? Algumas vezes precisamos comunicar: “escute, você precisa considerar isto”, mas só funciona se ambos os lados estiverem prontos para discutir o assunto. Também depende de onde está a linha limiar entre a participação do arquiteto neste processo, ou não. Por exemplo, algumas vezes (como no caso do New-Blauhaus), nós precisamos participar de um concurso para conquistar a oportunidade de executar o projeto. Assim, muitos aspectos foram implementados nas diretrizes para participação do concurso: quais variáveis deveriam ser consideradas nas propostas dos escritórios de arquitetura. Então, sabíamos de antemão sobre o investimento disponível, usuários e o contexto de implantação. Reagimos a esta base de dados criada pelo cliente. Em minha opinião, precisamos debater as ideias antes de os clientes decidirem contratar arquitetos. Claro, somos apenas uma pequena peça deste quebra-cabeça que envolve: política, legislação, economia, e assim por diante.

Vejo que a geração antes de nós desejava mudar o mundo e fazer o que bem entendessem para isso. Não havia necessidade em debater nada. Por um lado, isso levou a incríveis resultados, mas por outro os arquitetos

tornaram-se “estranhos” que desconhecem o contexto ambiental. Não aprenderam a promover suas ideias na forma de um diálogo que una essa multiplicidade de forças. E essa atitude é muito importante... Mas ainda assim, precisam vender suas ideias e é necessário aprender a encontrar uma linguagem comum com os possíveis clientes. No Kadawittfeldarchitektur, fazemos o melhor para informar e debater estes parâmetros, incentivar o diálogo resulta em melhores resultados e possibilidades! Até no contexto do concurso, que é o caso do edifício em questão, mesmo obedecendo aos requerimentos e resultados esperados pelo edital, somos também mediadores entre o que é requerido e as chances às vezes nem imaginadas. Mediadores para organizar o processo e o diálogo entre clientes, política, legislação, um espectro amplo de variáveis!

SHD: Neste caso, qual foi a postura do cliente?

NR: Tivemos a oportunidade de ter um cliente aberto às novas ideias. É uma empresa fornecedora de energia e uma universidade. Logo, estão muito interessados em inovações! Isso tornou o processo bem mais fácil para nós. Nossa ideia desde o início foi: “como podemos representar no edifício o que acontece em seu interior?”. Esta foi a grande pergunta, a primeira pergunta de todas... A partir dela, a próxima foi: “como será materializada a pele deste edifício?”. Já que é linguagem e expressão do que abriga...

KK: Exatamente. Neste caso, a empresa NEW-Energie estava muito interessada em cooperar com a universidade. Além disso, havia também um investidor incentivando esta cooperação. Logo, os diferentes atores

estavam em consonância o que convergiu a favor de desenvolver o projeto da melhor maneira possível, com a meta de consolidar um edifício energeticamente eficiente. Enquanto arquitetos, tivemos muita sorte em entrar neste projeto, já que as ideias puderam crescer livremente em um relacionamento saudável.

SHD: Por que construir o edifício dentro do campus universitário?

KK: Este edifício está em Mönchengladbach. É uma cidade relativamente grande, mas comparada a outras cidades na Alemanha não é tão grande assim... Mas é muito conhecida pela produção científica na universidade: grandes avanços na produção têxtil, portanto tradicional nesta área de conhecimento. Então, decidimos construir este edifício em um campus existente, que também tem vários estudos acontecendo em outras áreas. Como podemos ver neste diagrama, estes são os edifícios consolidados no campus... A primeira proposta para o projeto era bastante diferente: uma estrutura em bloco que fechava o espaço vazio existente entre edifícios. Depois de ver o resultado, pensamos não ser uma boa ideia já que tínhamos o desejo de abrir o campus com os seus caminhos e paisagens, não confinar o espaço já que a vegetação é muito bonita (figura 71).

KK: Também, a rua Richard-Wagner-Straße pela qual acontece o acesso principal até o edifício é muito arborizada, quase como uma “orla”. Assim ficou claro que o edifício teria uma frente, fachada orientada à rua de acesso, e também uma fachada voltada ao campus... Nas fotos, parece um edifício grande, mas na verdade é bastante pequeno e compacto (quatro pavimentos e subsolo em um volume de 5.800 m²). Então pensamos: “ok, queremos encarar este edifício como um “solitário” e implantá-lo como os

outros edifícios existentes, um modelo clássico de campus universitário materializado em volumes isolados uns dos outros”. Assim, se você tem um edifício solitário, você precisa pensar nas distâncias a partir das construções existentes. Tivemos que medi-las e, por um lado, os contornos do edifício foram determinados pela legislação... Tentamos pensar quais áreas eram mais relevantes e qual seria a entrada principal. Estas variáveis levaram a um compacto pentágono, que permite diversas conexões! Você pode caminhar em volta do edifício, todas as fachadas são representativas, não existe um “fundo”. Isso levou a ideia de que, para continuarmos com essa proposta, não seria suficiente cobrir apenas o telhado com módulos fotovoltaicos para o edifício ser capaz de produzir sua própria energia, de maneira autossuficiente. Logo pensamos: “ok, seria muito legal trazer os módulos também para a fachada... assim teremos energia suficiente!”. A forma de pentágono está orientada para o sol, assim os módulos de cada fachada têm angulações diferentes para aperfeiçoar a incidência e conversão elétrica. Na fachada norte não foram aplicados módulos fotovoltaicos, porque os valores de conversão energética eram mínimos. Esta foi a ideia!

O edifício representa uma nova entrada para o campus, mas também representa a empresa que o está usando. Já que o programa é parte tanto da universidade quanto do uso da NEW-Energie. Assim, além da forma em pentágono, também desejamos, a partir da subtração de parte da cobertura, criar um terraço. Deste ponto você tem uma ótima vista do centro da cidade, consegue enxergar o parque e todo o campus. Sim... estas foram as ideias iniciais.

Figura 71 - Campus da Hochschule Niederrhein University of Applied Sciences



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

SHD: Então os *stakeholders* envolvidos no processo influenciaram muito o caminho que o projeto tomou... É também, de certa forma, reflexo de uma vontade da cidade?

KK: Sim. A base está em interessantes clientes, a mistura entre empresa, universidade e investidores. Logo, pudemos criar algo novo. Eles se convenceram da proposta e assim pudemos pensar não apenas sobre o edifício, mas também como integrá-lo ao contexto existente. Isso é muito importante... Porque não se trata apenas de desenhar um edifício, mas também integrar a variável energia em um pensamento mais amplo. Então, se a cidade está interessada em desenvolver bons projetos, é necessário também considerar o plano diretor e toda a infraestrutura urbana. Isto também é importante neste projeto... algo talvez próximo à políticas públicas.

SHD: Isso se reflete no programa arquitetônico?

KK: Em termos de programa arquitetônico, trabalhamos com um programa híbrido... o que é muito interessante. Não são apenas escritórios, mas também biblioteca e espaços para *startups*. Acredito ser muito importante: edifícios que não produzem somente a sua própria energia, mas também deveriam representar a nossa sociedade! Incentivar usos mistos e reforçar a integração de diversos usuários. Esta diversidade é essencial.

SHD: Como foi o processo de projeto? A partir de quais ferramentas vocês desenvolveram as primeiras ideias e propostas?

KK: O que conversamos até agora talvez trate mais do âmbito político e variáveis de implantação. Mesmo que gostemos muito desse processo, o diálogo entre cidade, políticas públicas e arquitetura, nós também geramos um diálogo dentro do escritório para a materialização do edifício em si. Portanto, fizemos várias maquetes físicas (figura 72) para discussão e amadurecimento... Inclusive temos uma maquetaria dentro do escritório!

Representa o campus e os diferentes níveis a partir da rua, além da vegetação e parque existente. Portanto, com as maquetes é possível descobrir e decidir o balanço entre edifícios existentes, acesso principal e novo volume. Pensamos de uma maneira que você possa explorar o campus... Porém, tivemos que abrir espaço para criar um estacionamento, que não é coberto, mas está de certa forma escondido pela topografia. E, como você pode ver nesta caixa, começamos o processo testando possibilidades em maquetes com escala 1/2000 (figura 73). Começamos com inúmeros estudos de volumes... Até encontrar uma solução que se encaixe perfeitamente à pergunta. A partir daí, desenvolvemos o edifício

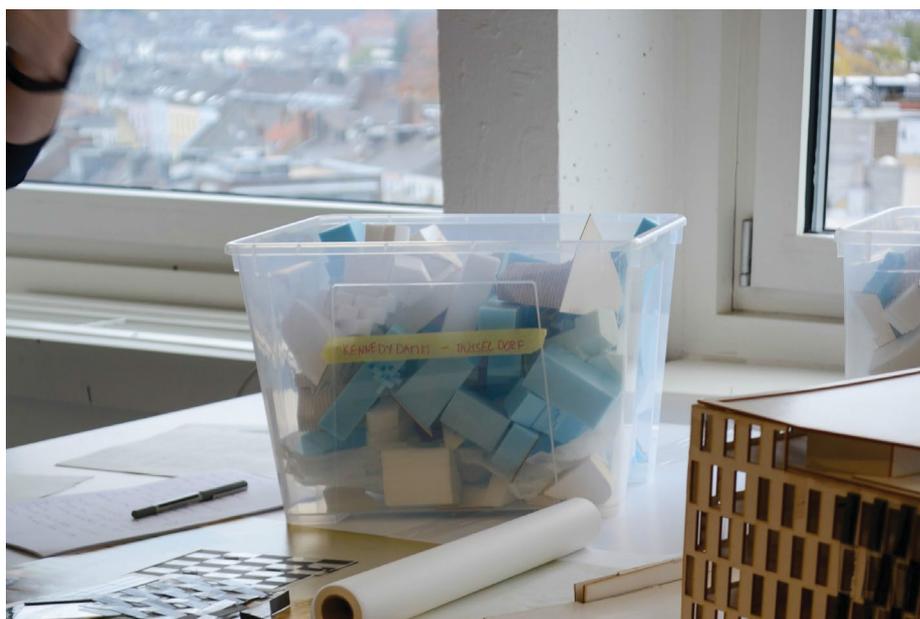
mais detalhadamente, também a partir de maquetes físicas. Claro que o processo é simultaneamente baseado em ferramentas contemporâneas como a modelagem 3D... É sempre um fluxo de ida e volta: modelagem digital, maquete física, modelagem digital, maquete física, e assim por diante.

Figura 72 - Maquete do edifício New-Blauhaus, parte do processo de projeto



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 73 - Maquetes com testes iniciais na escala 1/2000



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

SHD: Esse processo está presente em todos os projetos do Kadawittfeldarchitektur?

KK: Faz parte da cultura do escritório trabalhar com inúmeras maquetes! Por isso decidimos instalar a maquetaria. Está logo ao lado da sala em que estamos, você pode dar uma olhada...

SHD: Até que nível de aprofundamento as maquetes servem como ponto de apoio às decisões projetuais?

KK: Todos os projetos são acompanhados por um processo de criação a partir de maquetes. Fizemos estes experimentos também para as fachadas... Por exemplo, esta é a fotografia de um modelo maior, construído para materializarmos as soluções propostas para o New-Blauhaus (figura 74). Assim, você pode ver os módulos fotovoltaicos em detalhe... Possivelmente esta maquete está na escala 1/50 ou 1/20, algo assim. Também fica claro que o processo é holístico e que a forma pentagonal não foi criada apenas como resposta ao sol ou produção de energia, mas solução em que atuam inúmeras forças! No decorrer do processo vamos depurando pouco a pouco.

KK: A partir das forças que comentamos antes - legislação, paisagem do campus, acesso desde a rua, contexto urbano - e que determinaram a forma pentagonal do edifício, começamos a pensar: "o que este pentágono significa?". O edifício é um solitário, mas o contexto tem diversas elevações: é um platô elevado a partir da rua de acesso, o estacionamento está de certa forma enterrado, a paisagem e topografia natural também tem diversas variações (figura 75)... Portanto, a fachada deveria de alguma

maneira dar forma ao projeto de maneira dinâmica. Diferenciar o caráter do edifício de maneira sensível e ser expressão entre estas variações.

Figura 74 - Maquete para desenvolver soluções para a fachada em detalhe



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 75 - Topografia do terreno, fachada dos fundos (oeste)



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

SHD: Qual o tamanho do sistema fotovoltaico?

KK: Temos 77 módulos fotovoltaicos instalados na fachada e 313 módulos na cobertura. Além disso, o subsolo foi destinado ao depósito dos maquinários que também auxiliam na otimização energética. Há uma janela em que os visitantes podem espiar as instalações tecnológicas do subsolo... Ou agendar uma visita guiada.

A base do pensamento está em como resfriar o edifício durante o verão e aquecê-lo durante o inverno sem gastar grandes quantidades de energia, diminuindo a demanda de consumo.

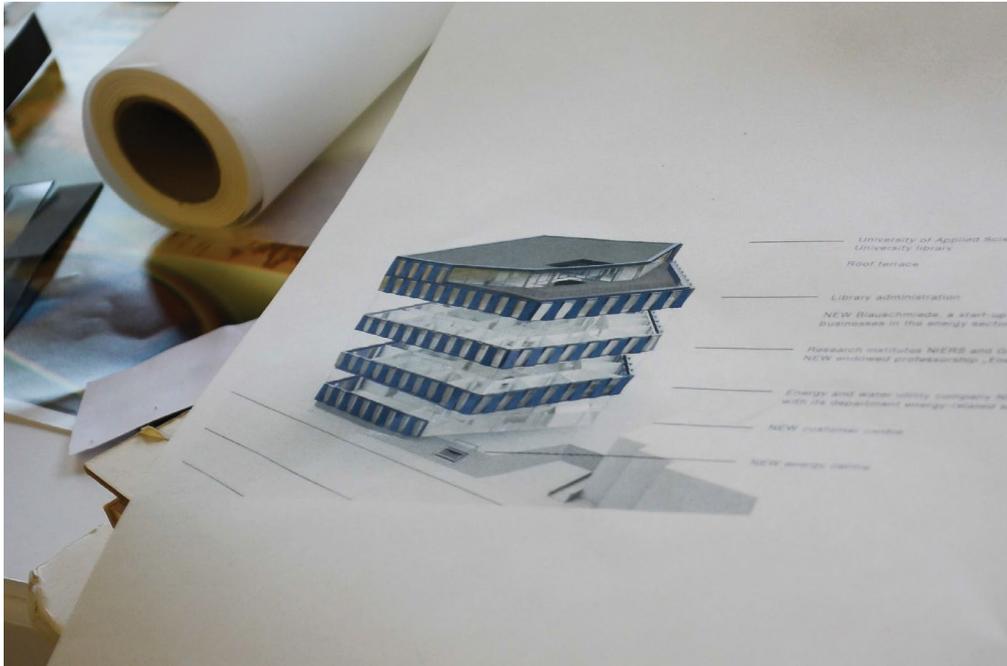
SHD: Qual foi a equipe que desenvolveu estas propostas? Houveram parcerias com outros escritórios?

KK: Temos especialistas de diferentes áreas aqui no escritório, é sempre um processo bem interdisciplinar. No caso deste projeto específico, para a fachada trabalhamos também em parceria com um escritório de engenharia... O Rache Engineering GmbH, também com sede em Aachen. Se você está interessada em sistemas e soluções técnicas de fachadas, eles são um dos pioneiros na Alemanha, dando suporte a muitos escritórios de arquitetura com propostas progressivas. Eles sabem como construir fachadas como estas.

Talvez este diagrama (figura 76) mostre melhor sobre o que conversamos antes. No subsolo estão todos os maquinários (tanque de armazenamento de gelo, etc), no pavimento térreo estão escritórios da empresa NEW-Energie para atendimento ao cliente, também há espaços para funções administrativas da universidade. No segundo pavimento e terceiro pavimento, espaços para pesquisadores, fomento ao

desenvolvimento de *startups* e biblioteca para os alunos, que se estende ao último pavimento com terraço.

Figura 76 - Diagrama explodido



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

KK: Está aberto para uso dos alunos a qualquer momento... Neste contexto, é fácil dizer: “ok, vamos colocar módulos fotovoltaicos na fachada!”. Mas é preciso sempre pensar nos usuários, já que neste caso específico é quase como um edifício de escritórios. Você precisa também pensar nas pessoas que viverão ali, já que se eu cobrir toda a superfície com módulos fotovoltaicos, como elas olharão para fora? Como a luz natural entrará? Por isso, nós tivemos que desenvolver um sistema que pudesse ser adaptado ao uso de escritório, programa arquitetônico que é similar ao proposto. Para esta tipologia de construção, você precisa considerar o *grid*, ou melhor, os eixos verticais criados pelo posicionamento das janelas... Isso porque usualmente na Alemanha a estrutura geométrica estabelecida é obedecer o distanciamento de 1,35 metros entre eixos verticais. Isso

determinará o posicionamento das janelas e também das divisórias internas. É a maneira mais eficiente de projetar escritórios! Por exemplo, em um escritório para uma pessoa, você pode usar duas medidas de 1,35 metros, resultando em um ambiente de 2,70 m de profundidade. Para três pessoas, você pode usar três medidas, ou seja, aproximadamente 4 metros de profundidade. E assim por diante... Assim você tem um *standard* organizado a partir das aberturas da fachada, onde você pode reorganizar as divisórias internas segundo a necessidade e garantir a entrada de luz natural nos ambientes. Talvez em 20 anos outra empresa ocupe o edifício e esta flexibilidade é necessária! O New-Blauhaus segue este pensamento... Mas neste caso, na retícula criada é alternado módulo fotovoltaico (opaco) e janela comum entrada de luz para a desejável salubridade).

SHD: As peças foram produzidas especialmente para o projeto?

KK: Sim. Além disso, a estrutura de fixação em alumínio também foi uma solução para este projeto específico. Funcionam como “caixas”, esquadrias inclinadas. Os módulos fotovoltaicos estão inclinados em direção do sol, enquanto as janelas em vidro assumem a inclinação contrária. Claro que para esta solução você precisa de algum tipo de proteção solar para estas grandes superfícies envidraçadas... O correto é posicionar esta proteção fora das fachadas, por isso optamos em instalá-las entre a janela e a segunda camada da fachada dupla (superfície defletora, inclinada na direção oposta ao módulo fotovoltaico), também em vidro. De maneira pragmática, poderíamos excluir esta segunda camada em vidro, em termos de fachada, mas ela auxilia também na proteção acústica para afastar os ruídos da rua. Além disso, ajuda a resfriar a superfície: tem aberturas que permitem a passagem e convecção do ar quente.

Na fachada fotovoltaica, na porção interna colocamos uma chapa de gesso (daí vem a denominação “superfície opaca”), além de todo o isolamento e estrutura. Isso ajuda a criar uma boa relação entre superfícies opacas e translúcidas... já que se a fachada fosse totalmente envidraçada, o edifício seria excessivamente quente! O balanço entre aberto e fechado é muito importante para manter as condições estáveis, isso de forma natural e sem uso de máquinas.

SHD: Vejo também que o interior do edifício é expressivo e coeso com o restante da proposta... Como foi este processo?

KK: O edifício tem baixo impacto energético, é compacto, resultando também em custos financeiros reduzidos. E, claro, manter o parque existente no terreno antes da construção também foi muito importante. Ademais, mesmo que compacto, conseguimos convencer o nosso cliente a desenvolvermos um pátio interno... Então a luz natural também alcança os ambientes a partir deste átrio articulador. Na realidade, cada pavimento tem características próprias e cores distintas. No nosso escritório, temos um departamento destinado apenas para design de interiores. E foi muito legal trabalhar com eles de forma conjunta neste projeto... Em termos de poder entender o que eles interpretam como “energia” sendo parte do design. A ideia foi que todos os grupos envolvidos no projeto de alguma forma fossem inspirados pelo sol. Então, as cores dos pavimentos refletem este pensamento: cores que variam do nascer ao pôr do sol. A cor da manhã até a cor do entardecer... Claro, algumas ideias que propusemos não foram incorporadas pelo cliente, mas de alguma forma todas estão representadas por certas partes do projeto.

SHD: Neste sentido, qual a importância do pátio interno?

KK: Aqui está o pátio interno... Tem grande importância principalmente no que diz respeito à legibilidade espacial. Por exemplo, a partir do terraço, é possível enxergar todos os andares do edifício por meio deste átrio. Tal transparência é também devida ao deslocamento dos elevadores, escada e banheiros, que estão movidos do átrio, mas também liberam todo o perímetro dos pavimentos para os demais usos. Pensamos em todos os andares terem um espaço compartilhado, para criar uma “vizinhança” que possibilite o encontro. Nestas vizinhanças, em todos os andares estão alocados o átrio, uma cafeteria e um espaço de reuniões central, que em cada pavimento, com usos distintos, tem uma cor específica.

NR: Essas decisões foram muito importantes para criar conexão visual e legibilidade do espaço. Por sua natureza híbrida, é essencial que o usuário entenda o que acontece dentro do edifício para que seja capaz de trabalhar e conviver com a diversidade.

KK: A ideia inicial é que até mesmo os escritórios fossem em vidro... Mas esta ideia não foi para frente, principalmente por questões financeiras. Mas, na biblioteca, você consegue experimentar este espaço aberto. Você consegue ver tudo!

SHD: E esta maquete com amostras de materiais.. o que significa?

KK: Ah, esta é outra interessante questão debatida: “qual será a coloração dos vidros?”. Para isso, fizemos vários estudos (figura 77). Todos os módulos fotovoltaicos monocristalinos têm uma coloração próxima ao preto, já que

foram encapsulados com material desta cor. Então tentamos descobrir qual vidro encaixa-se neste cenário para utilizar o material nas peças “cegas”, não produtoras de energia e presentes principalmente na fachada norte e oeste (figura 78).

Figura 77 - Estudos sobre a coloração das peças em vidro



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 78 - Módulos substituídos por peças em vidro colorido (face norte)



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

SHD: Como foi a aceitação social? Depois do projeto finalizado...

NR: Durante um período relativamente longo, muitos estudantes de outras universidades vieram conhecer o edifício. Durante um ou dois anos houveram muitas visitas técnicas ao edifício! Essa não é uma reação comum, o que mostra a relevância do projeto.

KK: E o engraçado é que graças a toda a parte mecânica e equipamentos do subsolo, levou cerca de um ano para aprendermos a controlar todas as máquinas... Já que a cada novo edifício construído, em um diferente contexto técnico, os engenheiros precisam descobrir como controlar a temperatura correta, como resfriar, aquecer, e assim por diante. Muitas vezes, este período de adaptação leva até mais tempo do que no caso do New-Blauhaus.

No geral, vejo que a ideia é evitar o excesso da técnica⁸, o excesso de máquinas e equipamentos para controlar certo padrão... Neste caso específico, há uma forte correlação entre as técnicas desenvolvidas pela empresa NEW-Energie e também o espírito universitário de experimentação. Portanto, tal postura diz muito sobre o que o edifício viria a ser, o que ao final faz todo o sentido... Mas quando pensamos no ser humano e sua subjetividade, cada indivíduo sentirá o ambiente de maneiras diferentes e também agirá de maneiras diferentes. Será que todas as pessoas estão satisfeitas com 22°C? Talvez alguém preferirá 26°C... Será que está muito escuro? Ou muito claro?

⁸ Este tema é estudado na universidade Technische Universität München, TUM, com apoio da empresa Transsolar. A dissertação de mestrado "*Combating User-Behaviour Variations with Robustness in Building Design*" (GOPAL, 2018) descreve pesquisa sobre a influência do comportamento do usuário no desempenho energético do edifício em sistemas complexos com alto índice de erro no manejo das máquinas por parte dos habitantes.

NR: Às vezes esquecemos que as pessoas querem ter a liberdade de agir sozinhas... Elas querem ter o poder de abrir uma janela, por exemplo. Em situações em que, para alcançar determinado clima dentro do edifício, são necessárias inúmeras máquinas, de alta complexidade e condições rígidas para o seu funcionamento, este poder de certa forma é “castrado”. Ou, as pessoas continuarão abrindo janelas mesmo que o arquiteto ou o engenheiro diga o contrário - resultando em números diferentes dos que haviam sido previstos no início.

KK: Existe uma diferença entre América e Europa... Por exemplo, imagino que em algumas regiões brasileiras faça muito calor. E que, oposto ao contexto que estamos debatendo, as pessoas não queiram abrir as janelas para não deixar escapar o ar frio dos ar-condicionados. Aqui, não queremos deixar escapar o ar quente. Existem soluções técnicas que resolvem estas situações, permitindo que janelas fiquem fechadas todo o tempo e ainda sim o ambiente seja saudável. Mas existe um importantíssimo fator psicológico: as pessoas desejam poder abrir janelas.

No Kadawittfeldarchitektur fazemos muitos projetos de edifícios de escritórios. Neste processo, é interessante perceber que hoje muitos investidores estão olhando de perto as necessidades de seus empregados. Portanto, incentivam soluções para melhorar a qualidade do ambiente de trabalho, como terraços, áreas verdes, por exemplo. Essa mudança é interessante de ser percebida e abre novas possibilidades. No momento, muitas forças estão agindo e somos confrontados com conceitos como: bem estar, sustentabilidade, e assim por diante.

SHD: Quais foram os aprendizados a partir da experiência em construir o New-Blauhaus?

KK: No processo de projeto, ficamos muito felizes em encontrar um caminho interessante... Levando em consideração todas as demandas do concurso, como a produção de energia por exemplo. Também, conseguir levar as ideias adiante foi uma notícia maravilhosa. Este projeto foi um tipo de experimento para nós... Trabalhar em parceria com o Rache Engineering GmbH e ver os nossos estudos materializados, também foi muito bom. Este foi o nosso primeiro projeto com integração fotovoltaica na fachada, todos estavam experimentando e aprendendo. Todo o processo levou dois anos, neste caso um tempo relativamente curto, normalmente leva mais tempo...

Nós desenvolvemos um jornal (figuras 79 e 80) dentro do escritório para informar e deixar todos a par dos projetos desenvolvidos... Então o conhecimento aprendido é de certa forma compartilhado no Kadawittfeldarchitektur – considerando que hoje somos um grande grupo de 150 funcionários. Também, criamos um app que disponibiliza as últimas notícias do escritório, o Kwa News (figura 81). Com informações sobre os projetos arquitetônicos e a localização de todos em um mapa. São maneiras de, mesmo que nossos funcionários trabalhem em áreas diferentes: desenvolvimento de projeto, modelagem 3D, maquetaria, design de interiores, materiais, detalhamento e processo de obra, etc, mantermos o diálogo.

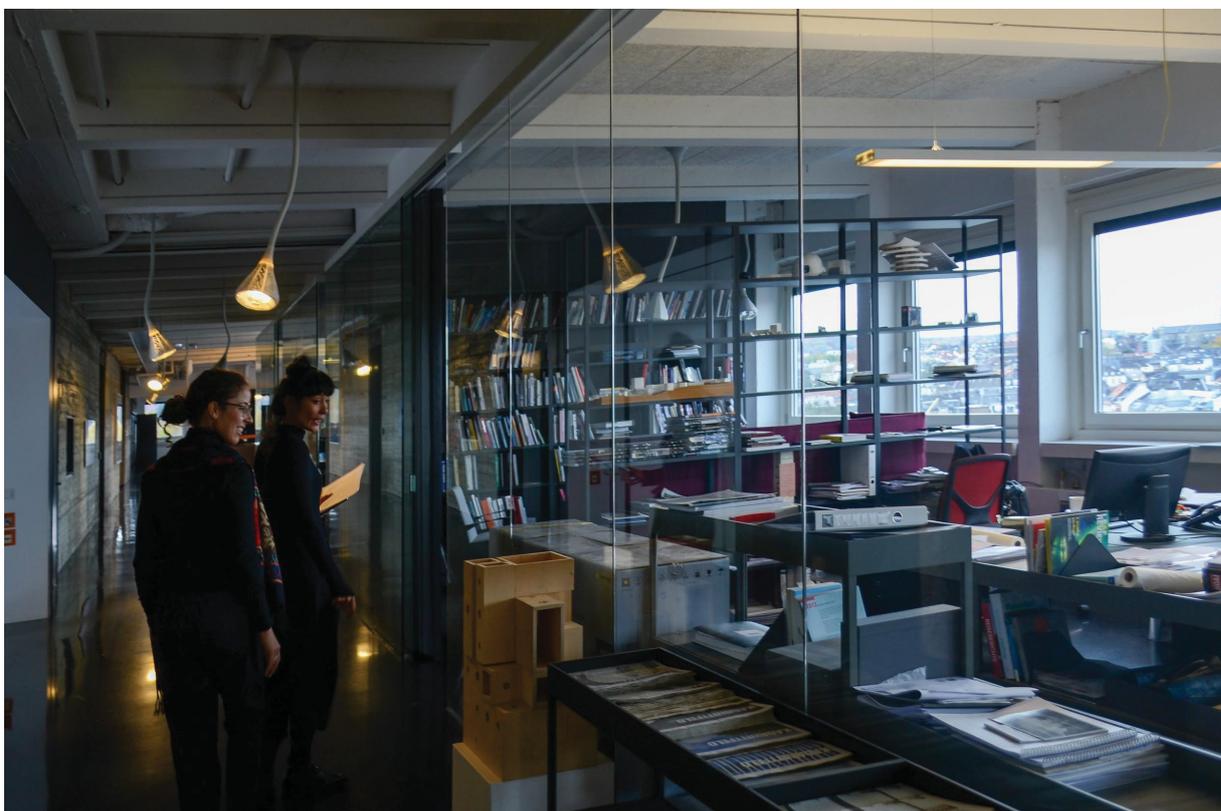
SHD: Muito obrigada pela entrevista, Kilian e Nicole!

Figura 79 - Jornal do Kadawittfeldarchitektur sobre o edifício New-Blauhaus



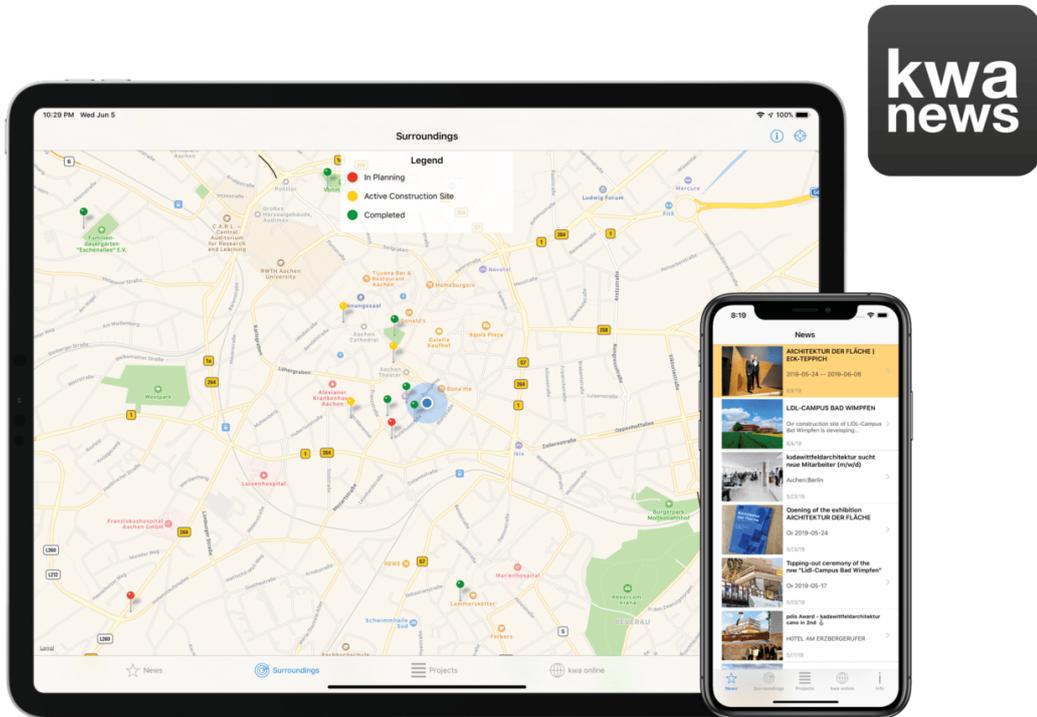
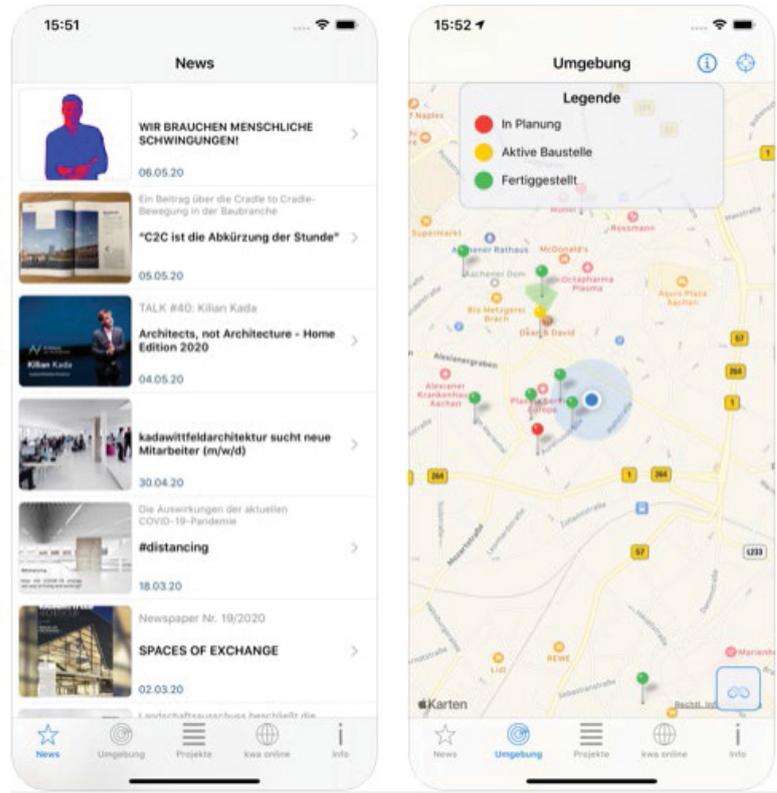
(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 80 - Jornal de livre acesso, compartilhado e exposto no corredor

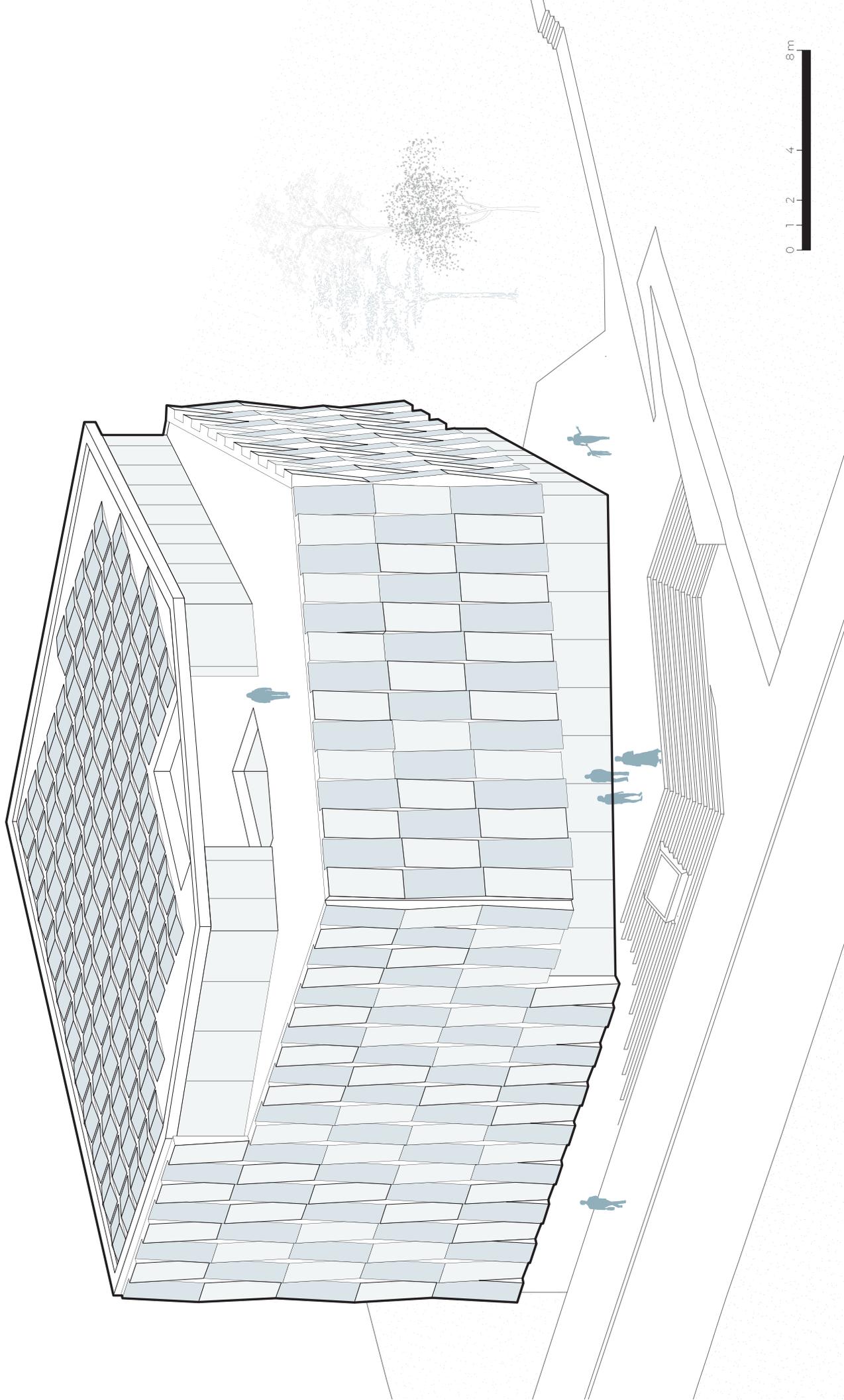


(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

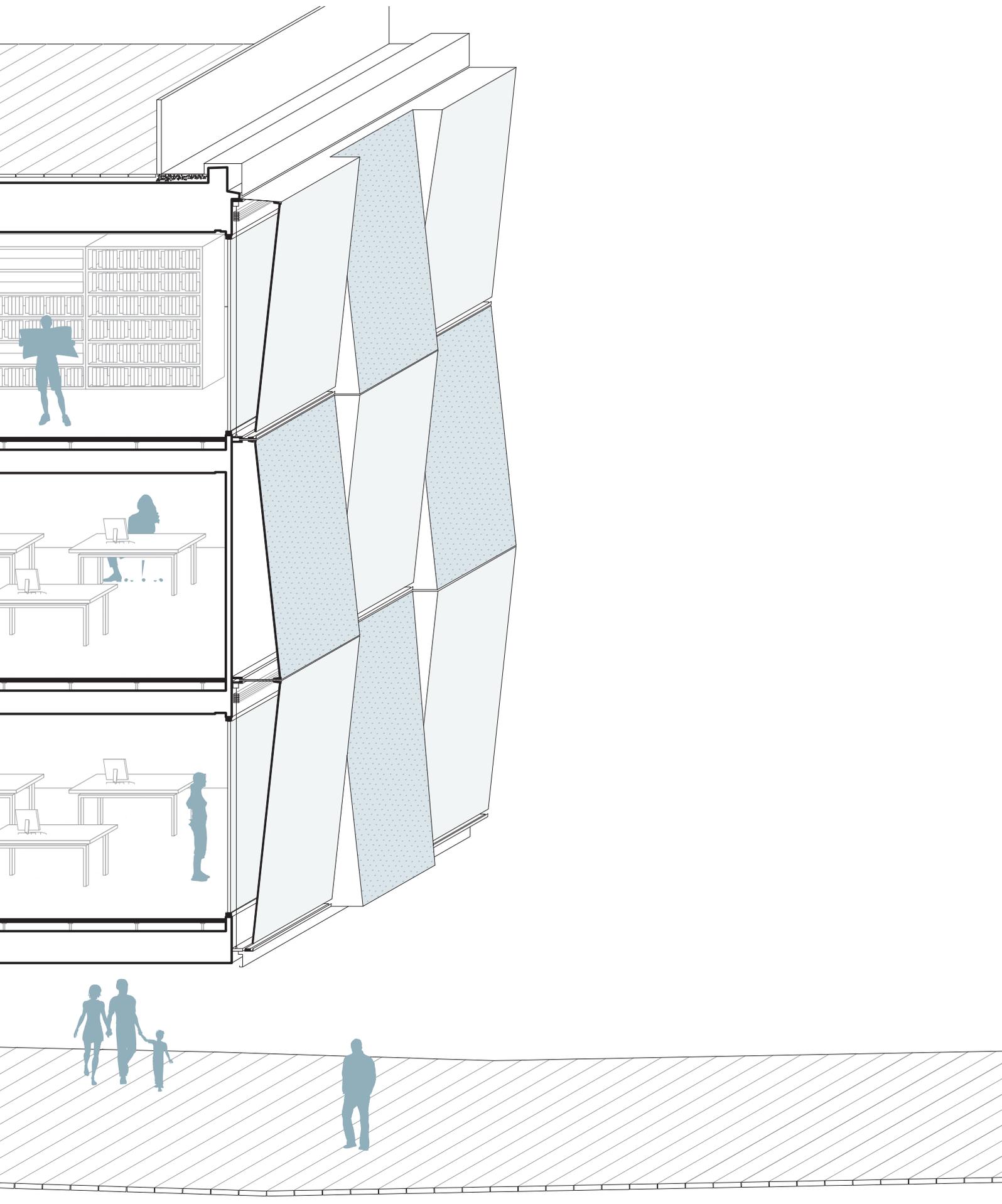
Figura 81 - Aplicativo Kada News



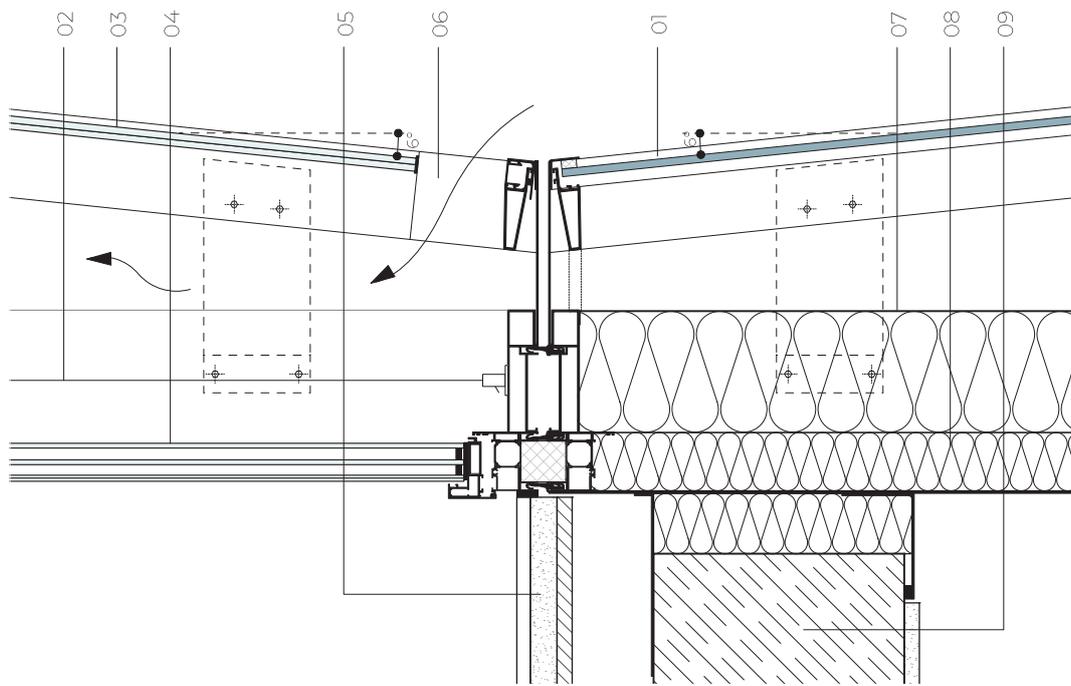
(KADAWITTFELDARCHITEKTUR, s.d.)



8m
4
2
1
0



- 01 - módulo fotovoltaico monocristalino com encapsulamento na cor preta, dimensões 1,50x2,50 m
- 02 - persiana móvel para proteção da incidência solar
- 03 - placa defletora em vidro, inclinação 6°
- 04 - janela de abrir em vidro triplo de baixa emissividade (low-e) e esquadria de alumínio, pintura eletrostática
- 05- piso elevado com superfície em carpet
- 06- fenda de 12cm para ventilação da fachada e convecção térmica
- 07 - fachada com acabamento em placa de alumínio na cor preta
- 08 - camadas de isolamento termo acústico
- 09 - laje em concreto armado



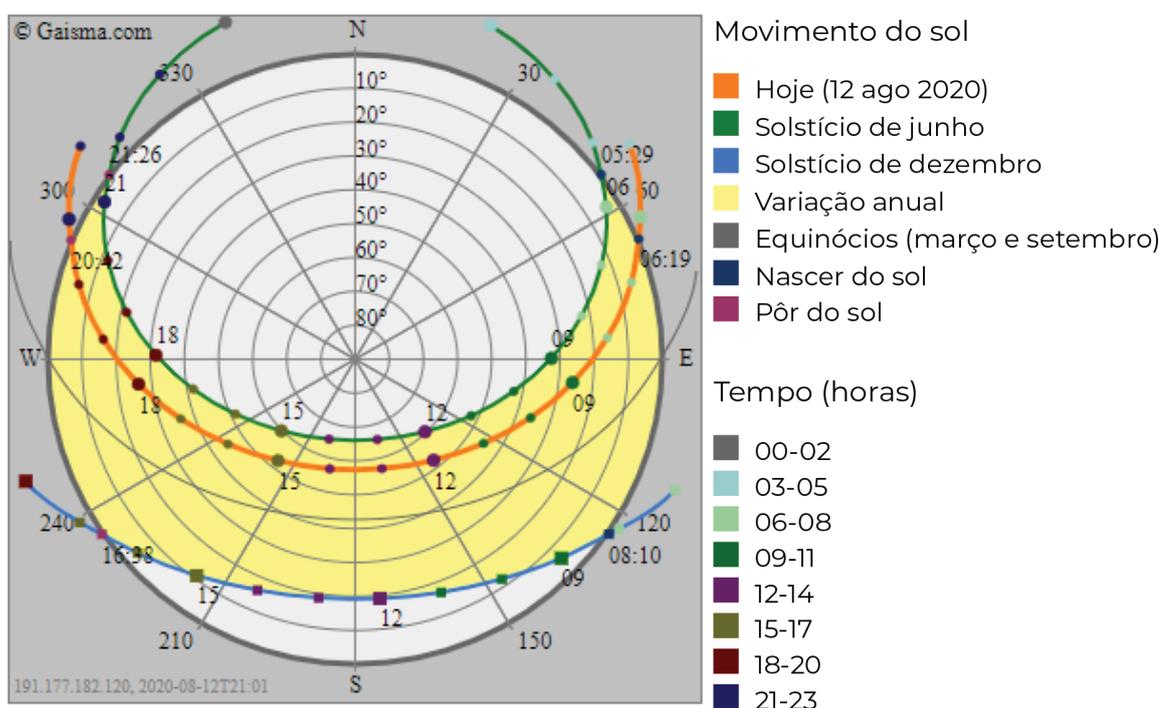
4.4. ESTUDO DE CASO 03: MULTI-FAMILY HOUSE IN BRÜTTEN

A Multi-family house in Brütten, estudo de caso 03, foi projetada pelo escritório de arquitetura René Schmid Architekten e construída em 2016. Está na comuna de Brütten (47°28'N 8°40'E), no cantão Zurique. Encontrei os dados nas descrições redigidas pelo René Schmid Architekten, pesquisa documental e dados compartilhados por René Schmid após entrevista semiestruturada com a autora Sofia Dias no dia 25 de novembro de 2019, das 15 às 16 horas, em Zurique, Suíça. Mais ainda, também referencio minha visita ao edifício Umwelt Arena em Zurique, Suíça.

A comuna Brütten, com 1.888 mil habitantes e densidade igual a 283 hab/km², está a cerca de 20 km do centro da capital Zurique, a cidade mais populosa da Suíça, com história milenar e desenvolvimento a partir do lago Zürichsee. Na comuna, 58,9% da área são usados para fins agrícolas e 30,1% destinados às áreas arborizadas (SWISS FEDERAL STATISTICAL OFFICE, 2020). Portanto, apenas 11% dizem respeito aos assentamentos urbanos. As médias das temperaturas em Brütten variam entre 0,5°C e 19°C (WEATHER SPARK, s.d.). A quantidade anual de precipitação é 1.135 milímetros/ano, com prevalência nos meses de verão. Em média, 85 cm de neve caem anualmente, que permanece na superfície por alguns dias. Também, durante o inverno o céu é bastante cinzento, às vezes com uma ou duas horas de exposição solar. Segundo a figura 82, durante o solstício de dezembro, a elevação do sol será igual a 20°, o dia começará às 08h10min com duração até às 16h38min. Em oposição, no solstício de Junho, o dia começará às 05h29min e terminará por volta das 21 horas. Assim, como mencionado anteriormente, no hemisfério norte e com elevações solares mais baixas durante o inverno, a produção de energia fotovoltaica em fachadas é favorecida, além de telhados fotovoltaicos que variam em

direções que vão além da face sul – considerando os dias longos de verão. Este é o contexto de implantação do edifício habitacional denominado autárquico: ou seja, independente e autossuficiente energeticamente, além de exemplar *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), em português, edifício fotovoltaico.

Figura 82 - Diagrama do caminho do sol em Brütten



(GAISMA, 2020)

A casa multifamiliar foi um desdobramento tecnológico de outro edifício, e vou aqui fazer parênteses para relacioná-lo à reflexão. É o Umwelt Arena (figura 83), espaço de exposições situado na comuna Spreitenbach, também no cantão de Zurique, Suíça. Com 10.032 habitantes, está a cerca de 17 km do centro da capital Zurique, em um contexto urbano de média densidade (figura 84). No entorno, figuram um grande shopping, estacionamento, mercado e uma rodovia de fluxo rápido e relativamente intenso (figuras 85 e 86). Organiza eventos e diversas

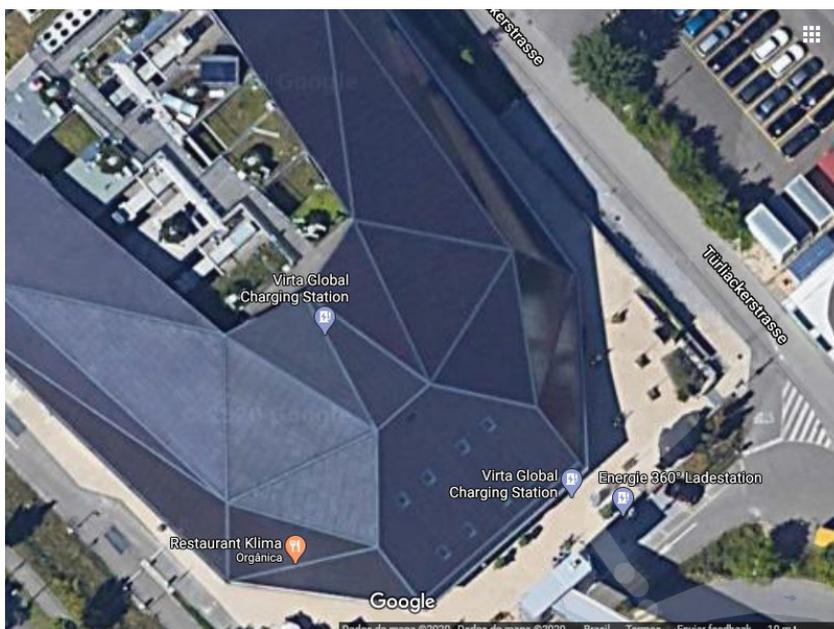
exposições para incentivar escolhas mais sustentáveis na população: desde a alimentação, consumo, gestão financeira, até os resíduos gerados pelas famílias, carros elétricos e produção de energia em edifícios - informações expostas em um exemplar arquitetônico de integração fotovoltaica, projetado pelo René Schmid Architekten e construído em 2011.

Figura 83 - Centro de exposições Umwelt Arena



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 84 - Contexto de implantação do projeto, orientação norte para cima



(Screenshot Google Maps, 2020)

Figura 85 - Estacionamento do shopping e edifícios do entorno imediato



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 86 - Mercado Aligro e Umwelt Arena



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Segundo o *website* <https://solarchitecture.ch/> (SUPSI e parceiros), a cobertura icônica foi construída em elementos sanduíche pré-fabricados de madeira, isolamento térmico e módulos monocristalinos de primeira geração, produzindo uma quantidade relevante de energia, duas vezes a demanda de consumo do edifício. O telhado, com forma octogonal foi materializado em “33 superfícies, diferentemente orientadas (sul, leste, oeste, norte e direções intermediárias), com inclinações que variam entre 6° e 62°” (SOLAR ARCHITECTURE, s.d.). Se analisarmos a forma octogonal da cobertura, esta resposta não é nada instintiva, parece mais complexo de resolver do que realmente é. Completamente coberto por módulos fotovoltaicos, o telhado gera 540.000 kWh/ano em área de 5333 m². Ainda, segundo o *Building Integrated Photovoltaics: Product overview for solar building skins Status Report 2017* (SUPSI-SEAC, 2017), a integração pode ser categorizada como *Full Roof solution (totally integrated)* – solução totalmente integrada à estrutura do telhado, portanto não é inserção em uma forma pré-definida, mas parte da concepção da estrutura desde as primeiras decisões. Também é caracterizado como opaco e telhado “frio”, ou seja, possui cavidade de ventilação. A empresa produtora da solução de integração na cobertura é a 3S Solar Plus AG, como na Multi-family house in Brütten e casa Schneller Bader, apresentada em sequência no estudo de caso 04.

Voltemos à casa multifamiliar em Brütten (figura 87). O edifício é um desdobramento tecnológico do Umwelt Arena por servir de *showroom* às propostas progressistas expostas no centro, portanto é ferramenta para a adoção de medidas por parte da comunidade - como construir um edifício autárquico, ou seja, *off-grid*? Isso no sentido promocional das medidas inovadoras de economia e geração de energia elétrica, fornecedores dos produtos e soluções, além das possibilidades de armazenamento para

manter as residências durante o inverno rigoroso. Comparando os edifícios de forma pragmática, há soluções similares de integração fotovoltaica, como o adotado em ambos os telhados por exemplo, mas em contextos e objetivos bastante distintos. Primeiro, o tamanho da Multi-family house in Brütten é menor, com módulos fotovoltaicos ocupando área igual a 527 m² no telhado e 470 m² nas fachadas, o contexto imediato é basicamente composto por casas unifamiliares e área rural, sem riscos de sombreamento (figura 88). Segundo, sobre o albedo, diferentemente do centro de exposições, aqui há possibilidade de deposição de neve sobre o solo e aumento da refletividade da superfície nos períodos de inverno, o que afeta diretamente na produção elétrica das fachadas. Já o Umwelt Arena, por produzir energia exclusivamente na cobertura e estar circundado por rodovias e estabelecimentos comerciais como o shopping, por exemplo, não haverá alteração da refletividade do entorno. Relativo ao programa arquitetônico, os edifícios têm diferentes padrões de consumo: um como casa, o outro como museu.

Figura 87 - Multi-family house in Brütten



(RENÉ SCHMID ARCHITEKTEN, 2016)

Figura 88 - Contexto de implantação do projeto, orientação norte para cima



(Screenshot Google Maps, 2020)

Em Brütten, o telhado, tecnologia de integração produzida pela empresa suíça 3S Solar Plus AG, é feito de módulos fotovoltaicos monocristalinos de primeira geração, diferentemente orientados (sul, leste, oeste, e norte), produzindo cerca de 65000 kWh/ano em 14 superfícies com inclinação de $29,5^\circ$ (SOLAR ARCHITECTURE, s.d.). Assim, os módulos fotovoltaicos, que estão levemente sobrepostos, são encaixados em suportes metálicos que facilitam a remoção dos módulos em um sistema *plug and play*: se alguma peça apresentar defeito, pode ser substituída por outra nova no lugar. Também, abaixo dos módulos, coloca-se uma membrana impermeável para os dias de chuva com incidência de vento, proteção que está também presente nos telhados “comuns” em que a água pode penetrar e escorrer na face interna das telhas. Portanto, aqui o módulo fotovoltaico, que é a prova d’água, desempenha também o papel de cobertura do edifício, solução promissora quando analisado o mercado e contexto brasileiro.

A fachada do *Multi-family house in Brütten*, outro exemplar de integração *Rain-screen façade (cold façade)* - fachada “fria” (SUPSI-SEAC,

2017), produz 27000 kWh/ano (SOLAR ARCHITECTURE, s.d.). O acabamento translúcido (porém, aparentando ser opaco) das peças produtoras de energia é uma das inovações do projeto: são módulos de filme fino de segunda geração, com substrato de vidro em acabamento fosco. Este resultado é obtido graças ao jateamento de areia na superfície do vidro. Dois perfis metálicos de fixação foram colados (fita adesiva 3M) na face posterior do módulo e encaixados a um trilho metálico (perfil comercial) preso no substrato do edifício, resultado semelhante a uma fachada ventilada – mas que, neste caso, dissipa o calor proveniente da termalização. O trilho de fixação e elementos adesivos fazem com que as subestruturas de montagem tornem-se invisíveis na fachada, com destaque apenas nos módulos fotovoltaicos opacos e sem nenhum grampo ou peça de fixação visível (figura 89). Ressalto também que, a partir de um diferente processo de manipulação do substrato de vidro, aqui se alcança materialidade similar a Copenhagen International School, um efeito reservado para aplicação nas fachadas já que representa perda de conversão elétrica e não faria sentido na cobertura.

Figura 89 - Fixação dos módulos fotovoltaicos opacos na fachada



(RENÉ SCHMID ARCHITEKTEN, 2016)

Ainda sobre os montantes de fixação na fachada, segundo Frontini et al. (2014) no artigo "*Palazzo Positivo: renovation of a residential building in switzerland with BIPV facades*", os testes desenvolvidos no projeto de renovação do edifício Palazzo Positivo, referentes à estabilidade mecânica dos sistemas de fixação dos módulos fotovoltaicos aos substratos da fachada, levaram a conclusões semelhantes às das soluções adotadas em Brütten. Para garantir a estabilidade mecânica e resistência sob as condições de operação do edifício, testes de estresse mecânico foram realizados nos laboratórios SUPSI na fachada fotovoltaica do Palazzo Positivo. Neste caso, os módulos fixados a montantes metálicos com grampos de segurança quebraram devido à deflexão da peça em relação ao substrato. Ao colar perfis metálicos à face posterior do módulo, houve aumento de rigidez e as peças passaram no teste de resistência mecânica (FRONTINI et al., 2014).

Logo, sob as condições de teste, a solução confere rigidez ao sistema, que está sujeito às demandas de produção energética (aquecimento da peça, até 60 °C em condições de operação durante o verão), mas também às demandas construtivas, já que servirá como barreira externa às adversidades climáticas (vento, sol, chuva, variações de temperatura, umidade). Neste contexto, a solução em Brütten é híbrida: nas peças irregulares que vão ao encontro do telhado, de formato triangular, adotaram-se peças "cegas" não produtoras de energia para diminuição dos custos. Tais peças passam pelo mesmo tratamento do substrato de vidro e são imperceptíveis, uma vez que as células de silício e conectores metálicos não são aparentes, escondidos no processo de jateamento e coloração do vidro. Esta medida, de acabamento e resolução da fachada fotovoltaica numa forma distinta da convencional, deixa todos satisfeitos: o edifício não

perde em forma, e não há necessidade de recorrer a módulos fotovoltaicos fora do padrão dimensional - caros e menos previsíveis.

O aluguel dos apartamentos da Multi-family house in Brütten, que segue programa arquitetônico de um edifício de apartamentos tradicional, é igual a 2.500 francos suíços (CHF) ao mês (equivalentes a cerca de R\$ 15 mil, o câmbio a 5,94 R\$ por franco). Este valor, para uma família de quatro pessoas, inclui no preço os custos de aquecimento e energia elétrica, abrigando no total nove famílias no edifício.

Chamo atenção para o fato de que os modelos da casa autárquica estão expostos no centro Umwelt Arena, para conhecimento da comunidade. Na maquete, todo o sistema de armazenamento de energia e inovação nos materiais empregados foi destacado, além das empresas fornecedoras (figura 90). Consistem em fachada e telhado fotovoltaico, mas principalmente, na soma de equipamentos que garantem o caráter autônomo do edifício. São eles: eletrolisador, tanque de hidrogênio, sucção e reaproveitamento do calor do ar externo, bomba de calor, armazenamento térmico de longo prazo, troca de calor geotérmica, estação de aumento de pressão para água fria, estação para água quente, controle da ventilação das residências, controle da ventilação das residências (distribuição nos apartamentos), célula de combustível, sistema de aquecimento integrado à laje, chuveiros com reaproveitamento do calor, elevador com reaproveitamento de energia e *display* de consumo de energia (UMWELT ARENA, 2019). O eletrolisador gera hidrogênio a partir do processo de eletrólise da água, utilizando energia solar fotovoltaica. O hidrogênio, uma substância com grande capacidade de armazenar energia em baixo peso molecular, contém a maior quantidade de energia por unidade de massa que qualquer outro combustível conhecido e, quando no estado líquido, ocupa um espaço equivalente a 1/700 de seu estado

gasoso. Em Brütten, dois tanques de 120.000 litros foram destinados ao armazenamento de hidrogênio. Em dias nublados de inverno, flui dos tanques para as células de combustível, que o converte novamente em eletricidade. Os resíduos desta transformação são água e calor, reaproveitados para o aquecimento do edifício (sai em uma temperatura de 60°C). Na figura 90, observe o grande tanque azul logo na entrada. Por tratar-se de um corte longitudinal, imagine que na realidade os dois tanques de hidrogênio estão lado a lado.

Figura 90 - Modelo didático exposto no Umwelt Arena



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Mais ainda, energia geotérmica também faz parte da matriz energética. Um poço profundo garante trocas de temperatura em condições mais estáveis, resultando em água com temperatura quase constante de 11 °C, usada tanto para aquecimento ou resfriamento. Todas as soluções inserem energia na rede própria do edifício, de forma automatizada e sem gestão por parte do usuário.

4.4.1. Entrevista René Schmid/ René Schmid Architekten

Realizei a entrevista semiestruturada com o arquiteto René Schmid no dia 25 de novembro, das 15 às 16 horas, em Zurique, Suíça, no escritório de arquitetura também intitulado com seu nome. Está localizado em frente à praça pública Oerliker Park, em um bairro comercial e movimentado de Zurique, entre diversos comércios locais. A praça tem movimento contínuo de pessoas e o escritório está aberto, como uma vitrine (figura 91), com imagens e maquetes expostas (figura 92) para o conhecimento da comunidade. Seu trabalho abrange a geração de energia elétrica em edifícios, inclusive obtendo prêmios pela bem sucedida integração fotovoltaica à arquitetura: Innovationsaward für Bauwerkintegrierte Photovoltaik 2020. Portanto, é um tema visto também pela ótica cultural e de certa forma didática, como no edifício Umwelt Arena mencionado anteriormente. Além de ser um escritório com vasta experiência em entender o módulo fotovoltaico como material construtivo e desenvolvê-lo como tal - com inovações importantes no que diz respeito à criação de sistemas de fixação, por exemplo.

Depois da entrevista com Linus Walker na ETHZ ocorrida no período matutino, fui até o escritório de metrô com fácil e rápido acesso, chegando a uma região urbana pulsante (figuras 93 e 94). Na transcrição da entrevista, os acrônimos indicam os participantes: Sofia Hinckel Dias (SHD) e René Schmid (RS). A conversa foi gravada com autorização dos entrevistados e traduzida para o português a fim de facilitar a compreensão.

Figura 91 - Vitrine do escritório de arquitetura René Schmid Architekten



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 92 - Maquetes e imagens disponíveis para conhecimento da comunidade



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 93 - Praça pública Oerliker Park, Zurique



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 94 - Praça pública Oerliker Park, Zurique



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

SHD: Hoje estive na ETHZ e conheci a biblioteca de materiais destinada aos alunos de arquitetura. Alguns materiais solares e referenciais arquitetônicos eram do René Schmid Architekten.

RS: Vocês conhecem também o website da ETHZ? Eles desenvolveram um *website* em que você pode acompanhar todos os novos produtos solares e algumas integrações arquitetônicas realizadas no mercado. Lá também há alguns detalhes técnicos...

SHD: Você fala da plataforma *Solar Architecture*? Desenvolvida em parceria com o SUPSI?

RS: Exatamente. É uma ferramenta para auxiliar na educação e difusão das ideias... principalmente para arquitetos!

Figura 95 - Entrevista com René Schmid



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

SHD: Educar em qual sentido? Existe uma barreira cultural?

RS: É uma maneira de mostrar que gerar energia integrada ao edifício também é responsabilidade do arquiteto, desde os primeiros desenhos e concepção. Isso de maneira positiva, sem associar este material construtivo a algo feio ou impossível de trabalhar em projetos de alta qualidade. Acredito que esta mentalidade está mudando...

Muitos dos arquitetos reconhecidos estão agora começando a pensar no assunto e aplicar a tecnologia em seus projetos. É sinal de que no futuro este posicionamento será usual. Neste sentido, acredito que fizemos um bom trabalho aqui na Suíça... Com edifícios mostrando que é possível usar o módulo fotovoltaico como um material construtivo. Este é ainda o nosso objetivo: demos muitos passos no passado e ainda o faremos no futuro. Por exemplo, nós fomos os primeiros a desenvolver o módulo com acabamento opaco, que não tem aparência de um vidro brilhante, liso e que ofusca.

SHD: Como foi o processo de desenvolvimento deste material construtivo?

RS: Foi um processo longo, de muita pesquisa e investimento para alcançar um material construtivo com este resultado. Então, o próximo passo foi adicionar cor ao material... E o próximo, trabalhar a superfície, ou seja, não ter apenas materiais de textura lisa. Agora, é possível conseguir texturas em linhas (figuras 96 e 97) ou até desenhos orgânicos. O quarto passo, que estamos trabalhando no momento, é aperfeiçoar os custos da fixação à fachada. Provavelmente você conhece o edifício Mehrfamilienhaus Mit

Energiezukunft⁹ (figuras 98 e 99), construído em 2017 e desenvolvido por nosso escritório. Este projeto é um passo para alcançar o objetivo quatro, já que os módulos são sustentados por peças metálicas produzidas de forma econômica, além de fixadas ao edifício de maneira mais eficiente. Mais ainda, pensando no canteiro de obras, como as peças são sobrepostas umas às outras você não precisa medir todos os detalhes e correr o risco de alguma imprecisão. Você pode sobrepor mais ou menos uma peça em relação à outra, dependendo das condições in loco... O que, considerando a complexidade de forças e variáveis que atuam sobre a construção de edifícios, evita um número enorme de erros e perda de material - sem precisar medir tudo de novo, e de novo, e de novo. No passado, você precisava medir todo o edifício depois de construído, redesenhar todos os desenhos técnicos, para depois disso produzir os módulos fotovoltaicos. Isto faz com que o custo financeiro aumente! Além de resultar em problemas como a falta de tempo... Então, com essa solução, você pode salvar tempo, produzir os módulos em simultâneo e já instalá-los durante a construção do edifício.

Esta solução foi desenvolvida e patenteada por nosso escritório, participamos ativamente nas soluções deste material construtivo – integração de módulos fotovoltaicos.

Figura 96 - Módulo fotovoltaico texturizado: substrato de vidro colorido em branco, com acabamento opaco e texturizado, que protege módulos monocristalinos de primeira geração, desenvolvido com o apoio da empresa suíça
SUNAGE

⁹ Edifícios como o Museu de artes de Bregenz, Áustria, projetado por Peter Zumthor em 1997, além do armazém projetado por Herzog & de Meuron em Laufen, Suíça, criado para a marca suíça de pastilhas para tosse e balas: Ricola, em 1987, ambos tem solução similar na solução de fachadas. Contudo, aqui arquitetura e produção de energia elétrica coexistem de forma otimizada.



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 97 - Projeto de renovação (edifício dos anos 70) com fachada fotovoltaica de acabamento texturizado, opaco e colorido



(RENÉ SCHMID ARCHITEKTEN, s.d.)

Figura 98 - Sistema de fixação no edifício Mehrfamilienhaus Mit Energiezukunft



(RENÉ SCHMID ARCHITEKTEN, s.d.)

Figura 99 - Sistema de fixação no edifício Mehrfamilienhaus Mit Energiezukunft



(RENÉ SCHMID ARCHITEKTEN, s.d.)

SHD: O acabamento texturizado na superfície do módulo prejudica sua eficiência?

RS: Não sabemos se causa um efeito positivo ou negativo. Em alguns casos, é muito positivo já que o raio incidente no módulo reflete várias vezes dentro do sistema por causa da superfície curva do vidro texturizado, o que aumenta o aproveitamento para conversão de energia. Mas estes valores são parte das pesquisas que estamos desenvolvendo agora. Para estas peças texturizadas o grande passo foi como produzir o substrato de vidro com valores acessíveis, já que o módulo fotovoltaico em si é o de primeira geração - maior maturidade e menor preço. Para torná-lo factível, ainda precisa ser aplicado em projetos com grande área de superfície, para produzir o vidro em grande escala e alcançar resultados financeiros mais atrativos.

RS: Acredito que esta integração está ficando cada vez mais fácil. Agora você tem opções de cor, de texturas, de acabamento... Soluções bastante sofisticadas! Nós tivemos que lutar por estas condições favoráveis à arquitetura, trabalhamos muito para preparar o mercado... Hoje, trabalhar com estes materiais deveria ser algo normal!

SHD: Qual foi o contexto de desenvolvimento do projeto Umwelt Arena?

RS: Não foi um concurso arquitetônico, como muitos dos projetos deste tipo. Na verdade o meu pai, Walter Schmid, que desenvolveu muitos projetos de energia alternativa na Suíça, como a produção de biogás a partir de resíduos, decidiu construir este centro de exposições. Ele entendeu que a tecnologia está pronta para usar, mas as pessoas não têm

o conhecimento do que é possível e muitas vezes optam por escolhas um tanto ilógicas. Meu pai acredita que é muito mais fácil alcançar resultados mais amigáveis com a natureza quando você sabe como fazê-lo. E a maior parte das pessoas realmente não sabe.

No Umwelt Arena você pode simplesmente caminhar e ir até o tópico que você tem interesse, alimentação, por exemplo, e ter acesso às informações mais recentes, onde comprar o produto, quais hábitos você pode inserir no seu dia a dia, quais alternativas você tem. Você facilmente alcança tais informações, de maneira divertida e que permite que as crianças e adultos brinquem! Então você tem a chance de ficar viciado nisso, ou pelo menos motivado a fazer algo. Talvez o principal objetivo do Umwelt Arena não seja apenas fornecer informação, mas emocionalmente motivar o espectador que entende que estes novos hábitos são economicamente viáveis, muitas vezes incentivados pelo governo e mais baratos se pensarmos em um ciclo de longo prazo. É mais barato ter uma fachada fotovoltaica do que construí-la em concreto ou madeira. Mas você precisa ter acesso aos cálculos e ao conhecimento prévio... Caso contrário, ninguém irá construir desta maneira. Hoje, nós podemos construir edifícios que não consumam energia, mas produzem energia!

SHD: Qual a história do edifício em Brütten?

RS: É um edifício promovido pelo Umwelt Arena para provar que é possível viver apenas a partir da energia solar, incluindo mobilidade, aquecimento, cozinhar, renovação de ar, e assim por diante, tudo a partir do sol (figuras 100 e 101). E vai muito além do que você imagina... É um edifício com emissão zero a partir de decisões sofisticadas. Já que a produção de energia a partir do sol acontece com maior intensidade no verão, com

valores muito mais altos do que no inverno. Mas quando analisamos o consumo dos usuários, este pensamento está ao revés já que usamos mais energia durante o inverno e não no verão - isto no contexto Suíço. Se imaginarmos estas variáveis em um gráfico, as curvas serão opostas (produção de energia *versus* uso). Quando as duas áreas do gráfico são iguais, você está falando sobre edifícios de energia zero. Porém, no inverno, você congelará... Sem energia suficiente para energia elétrica, ainda mais se não houver empresa fornecedora de rede de abastecimento. Logo, é necessário trazer o excedente produzido no verão para o inverno (figura 102). Fizemos este trabalho aumentando a curva para maximizar a produção elétrica e minimizar a necessidade de energia armazenada (já que, quanto maior a energia armazenada, maiores os custos). Produzindo mais energia, ou seja, com um sistema fotovoltaico superestimado, conseguimos reduzir o déficit energético durante o inverno para 11% e desenvolvemos diferentes estratégias para armazenar a energia do verão. Este jogo é um avanço enorme!

Figura 100 - Maquete do edifício em Brütten exposta no Umwelt Arena



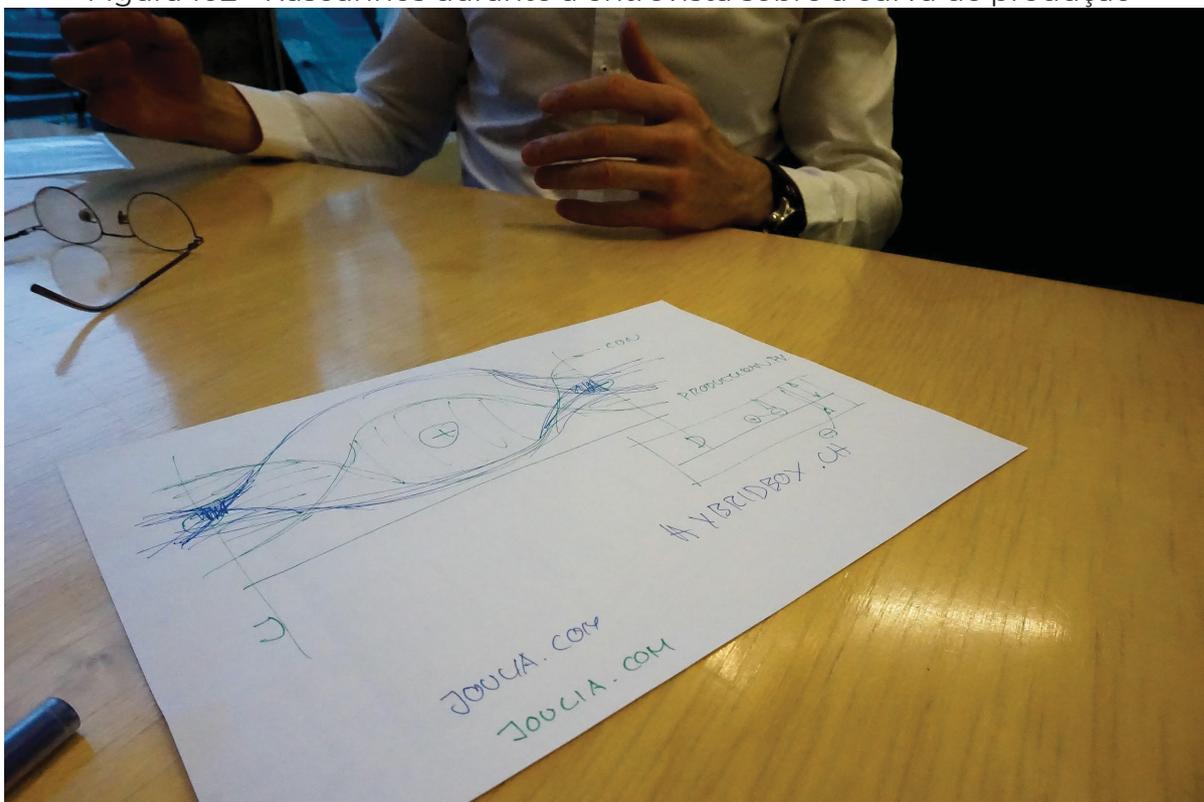
(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 101 - Feira de natal no Umwelt Arena, apresentando alternativas de produtos e soluções conscientes



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 102 - Rascunhos durante a entrevista sobre a curva de produção



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

RS: O jogo para ter zero energia durante o ano em um edifício é fácil. Mas o jogo para ter um edifício capaz de armazenar energia produzida no verão para usá-la no inverno, isso é realmente muito difícil. E foi muito importante mostrar que isso é possível, porque com este projeto nós tivemos o impacto, até nas discussões políticas, de que é factível estar *off-grid* mesmo em localizações que não sejam remotas, mantendo o mesmo conforto para os usuários. E agora estamos desenvolvendo outro projeto, mas desta vez com duas fontes: tanto energia elétrica quanto gás. Este é o projeto que mencionei anteriormente, o edifício Mehrfamilienhaus Mit Energiezukunft. Lá nós produzimos eletricidade durante o verão, o excedente é colocado na rede (*on-grid*). Na área periférica, há uma grande planta de produção de gás e o inserimos na rede de gás comum, para armazenar a energia para o inverno. Durante esta estação, usamos este gás em uma Hybrid Box¹⁰, que é um gerador combinado com uma bomba de calor, e assim é possível estabilizar o sistema elétrico de maneira que gere energia durante o inverno a partir do gás, além de também aquecer o edifício. Logo, este projeto é um sistema descentralizado em outras plantas de geração que são capazes de produzir energia durante o inverno. É possível definir as soluções e atacar o problema tanto no âmbito do edifício, quanto na comunidade - neste caso, por ser uma visão mais ampla, em uma escala maior, é muito mais barato e as decisões são mais aprimoradas. Por exemplo, se você fizer o armazenamento de energia apenas para você em um único edifício, precisará de uma quantidade pelo menos 10% maior por motivos de segurança. Quando você conecta o seu

¹⁰ Máquina que permite atender às demandas de calor para aquecimento e água quente, mesmo com altas temperaturas de fluxo. Também é possível resfriar o edifício e aproveitar o calor residual em um único equipamento conectado à rede. As emissões de CO₂ são reduzidas em até 75%, se comparadas com sistemas de aquecimento a óleo ou gás. Pode ser instalado em qualquer tipo de edifício (HYBRIDBOX, s.d.).

edifício a uma rede maior de geração de energia, este número cai para 7%, já que em alguns momentos você usará um pouco mais de energia e seu vizinho um pouco menos, em outro momento isto será o contrário, e assim por diante. Quando o sistema é “colaborativo” a medida de segurança pode ser menor, é muito mais fácil otimizar o fluxo de energia, além de o sistema tornar-se mais estável às possíveis inconstâncias climáticas - pouco sol, períodos de chuva prolongada, etc. Então o sistema fotovoltaico é construído para que no inverno exista este extra de energia, além de minimizar o delta¹¹ minimizar a perda de energia. Quanto menos energia precisarmos armazenar, melhor! Porque são sistemas muito caros...

Neste sentido, armazenar calor não é tão complicado... O complexo está em armazenar energia durante um grande período de tempo. Você pode armazená-la em baterias, carregá-las durante o verão, mas quando chegar o inverno não haverá mais energia armazenada no sistema. Por quê? Baterias, depois de alguns meses, perdem a sua capacidade de conservar a carga. Logo, é necessário encontrar outras maneiras de reutilizar esta energia depois de um longo período de tempo. Hoje existem poucos sistemas em bateria que você provavelmente poderia alcançar este resultado, mas em baterias comuns, disponíveis no mercado, você não consegue desempenhar tal tarefa durante longos períodos. Para este fim, gás é uma boa solução, assim como hidrogênio. Neste contexto, em Brütten um carro também é abastecido com o excedente de energia das fachadas e telhado, com capacidade de rodar 10.000 km/ano. Também, coletamos o lixo orgânico das residências para produzir biogás... Sistema que abastece outro carro também com capacidade de rodar 10.000 km/ano!

¹¹ Nas matemáticas e ciências aplicadas, delta é utilizado como uma variável para indicar uma diferença no valor dessa variável.

SHD: De todas as variáveis, quais se conectam diretamente à arquitetura?

RS: Claro, o primeiro objetivo é produzir energia a partir da fachada e telhado, que está intrinsecamente conectado ao processo arquitetônico. O passo seguinte é garantir o abastecimento da energia produzida no verão também durante o inverno. Para sermos realmente livres de combustíveis fósseis. Este deveria ser o objetivo principal, em minha opinião.

SHD: E como é o processo de projeto? Nos primeiros rascunhos, vocês sustentam estas ideias apenas dentro do René Schmid Architekten ou é interdisciplinar desde o princípio?

RS: Nós trabalhamos junto com todos os especialistas... Um processo interdisciplinar e que acontece de maneira simultânea. Desenvolvemos o projeto arquitetônico dentro do escritório e nos comunicamos sempre com engenheiros. Neste contexto, ficamos muito felizes em trabalharmos com bons engenheiros, que possuem mentes criativas na busca por novas soluções. Desde que você encontre boas pessoas, todo o processo é muito divertido e resulta em resultados surpreendentes. Estamos muito felizes em trabalhar com engenheiros que buscam novas ideias e que frequentemente, com o apoio da arquitetura, avançam em novos sentidos. Outros pontos de vista são muito importantes, nós arquitetos muitas vezes pensamos apenas em cores, materialidade, contexto cultural e social, e assim por diante. É claro que também sabemos a parte técnica, mas é muito mais fácil e efetivo quando você tem alguém ao seu lado para lembrá-lo do que é importante e apontar novos caminhos. É um processo muito interessante. A partir deste relacionamento, aqui no escritório nós

desenvolvemos estruturas de fixação e módulos fotovoltaicos, que esperamos ser bem sucedidos quando inseridos no mercado para gerar novas oportunidades! Neste sentido, uma pequena parte do escritório faz trabalho de pesquisa... que eu gostaria de expandir ainda mais! Existem tantas oportunidades.

Vejo que no mercado há muitos profissionais que não trabalham com objetivos maiores, sem buscar novas soluções, tampouco avançar em resultados mais sofisticados.

SHD: Estas soluções são patentes do escritório?

RS: Sim. E no final das contas, percebo que todos os investidores pensam na viabilidade financeira. É muito importante ser capaz de alavancar tais soluções da maneira mais econômica possível... Para permitir que o mercado solar evolua ainda mais. Quando é muito caro, percebo que muitas vezes as propostas não são implementadas... É preciso motivação para a escolha destas soluções, caso contrário optarão por outros materiais para o revestimento de edifícios, as escolhas usuais. São poucos os que se importam com eficiência energética e ainda não é fácil propagar novas ideias neste sentido.

SHD: Vejo que no projeto em Brütten múltiplos produtos inovadores foram incorporados...

RS: Sim. Você precisa visitar este website: *Joulia.com*¹². Foi o sistema de chuveiros escolhido para o nosso edifício em Brütten. A água utilizada

¹² Um banho quente é a maior demanda de aquecimento em uma casa. A solução usada no produto Joulia Inline não utiliza componentes eletrônicos ou mecânicos, portanto é uma solução barata e totalmente integrada à estrutura existente. No ano, a economia de

durante o banho, antes de chegar à tubulação de saída, passa por uma “calha inteligente” (figura 103) com água limpa e fria, que é pré-aquecida pela água já utilizada que passará pela calha. Assim, durante o banho você diminui em cerca de 30% a necessidade de aquecimento por causa das trocas de calor que ocorrem dentro da calha. Este é apenas um dos exemplos de todas as escolhas feitas para o projeto em Brütten.

Outro exemplo: aperfeiçoamos também os sistemas de troca de ar, medindo a concentração de dióxido de carbono nos ambientes. Assim, quando o valor é nulo, o edifício entende que não há ninguém em casa e não haverá tantas trocas de ar. O gasto de energia elétrica nesta função também diminui bastante. Além disso, é mais saudável já que durante o inverno, a constante troca de ar seca o ambiente e tira sua umidade. Logo, quando você deixa as trocas de ar mais eficientes, você economiza energia no uso de ventiladores, perde menos ar aquecido e menos umidade. Todas as variáveis fazem com que os resultados sejam muito bons também em um sistema comum de aquecimento.

Aprendemos muito neste processo. Por exemplo, quando você se movimenta, existem sensores que reconhecem se há pessoas no ambiente ou não. Estes sensores usam 1 Wh durante todo o dia (24W/dia). Ou seja, gastará energia durante 24 horas, o que não caracteriza uma boa resposta ao problema. Você precisa cuidadosamente escolher onde faz sentido usar estes sensores e tornar o sistema o mais eficiente possível. Também, às vezes faz mais sentido usar soluções mais simples e que não gastem energia quando não estão em uso. Por exemplo: interruptores com timer, que desligam as lâmpadas depois de certo tempo. Mas, quando as

lâmpadas estão desligadas, o sistema para de usar energia e fica adormecido.

Figura 103 - Sistema de pré-aquecimento da água usada durante o banho por meio de uma calha integrada à estrutura existente



(JOULIA, s.d.)

RS: O sistema de aquecimento do piso é integrado à laje de concreto por meio de uma grande quantidade de tubos, que diferente de um sistema centralizado em poucos tubos, tem a vantagem de a necessidade de aquecimento da água ser menor (cerca de 25°C). A grande vantagem é que o sistema é dinâmico: se o ambiente estiver abaixo de 25°C, o piso aquecerá a temperatura, mas se estiver a 27°C, por exemplo, o piso resfriará o ambiente. Isso porque a laje, neste caso, estará mais fria! Também, a partir da movimentação da água nos tubos, é possível usar estratégias passivas para aquecê-la: aproveitar a incidência solar na face sul e transportar a água aquecida para a porção norte do edifício. Durante o verão, a água circula abaixo do solo, onde acontecem trocas de calor (solo tem uma temperatura mais baixa e estável), e resfria os ambientes internos do edifício. Isso com pouquíssimo uso de energia elétrica! Para este projeto, nós também calculamos as dimensões dos tubos, que são um pouco maiores, para usar menos energia para bombear a água e diminuir perdas

devido ao atrito com a superfície do tubo. O mesmo ocorre para os fios elétricos, também são um pouco maiores, o que garante menores perdas. São inúmeros detalhes (figura 104)! Que holisticamente integrados permitiram que o edifício não utilizasse energia de fora, mas apenas sua própria produção. Envolve muito conhecimento e pesquisa... e tudo está exposto à comunidade no Umwelt Arena! Também, um dos apartamentos foi destinado à visitação (são 10 unidades habitacionais no total, apenas 9 ocupadas por famílias). As visitas guiadas são organizadas pelo Umwelt Arena e o resultado é muito positivo, já que em nenhum momento perde-se o conforto e beleza nos apartamentos, o que causa surpresa.

Figura 104 - Soluções para aperfeiçoar o uso de energia, integradas ao edifício. Os valores produzidos por cada unidade é mostrado em tempo real



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

SHD: Os moradores do edifício também passam por este processo de conscientização?

RS: O objetivo é fazer com que cada vez mais os edifícios sejam projetados considerando energia como variável de design, a partir da difusão das soluções realizadas em Brütten. Assim, provavelmente o próximo passo

será edifícios produtores de energia e não consumidores. Neste cenário, a conscientização dos usuários é muito importante. Em Brütten os moradores do edifício recebem informações sobre o seu consumo de energia, e este conhecimento fez com que o consumo baixasse entre 10 e 15%, porque os usuários agora têm controle e entendem o impacto de suas ações. “Ah, eu uso essa quantidade de energia para tomar banho e gasto essa quantidade de água!”. Os dados do comportamento do usuário geram gráficos que mostram o excesso ou a economia: para aqueles que excederam o uso de energia elétrica, no final do ano pagarão mais por isso, e aqueles que economizaram, serão beneficiados financeiramente. Ao final, é quase como uma competição entre os moradores: todos querem usar o mínimo possível de energia, usar menos energia do que calculamos como o consumo padrão/ mês. Cada morador tem o poder de controlar se usa mais ou menos energia do que o determinado... E isso já causa uma tremenda economia.

Para isto, usamos diversas estratégias: um *app* que informa todos estes dados, acessado de um *tablet* ou *smartphone*. Você também pode programar o seu apartamento para determinado uso, por exemplo, enquanto assiste um filme apagar todas as luzes, tudo para economizar energia e fornecer também ferramentas para a contribuição dos usuários nesta conta. Quando você sai do apartamento, é só apertar no botão “*goodbye*” e tudo desliga automaticamente.

SHD: Quando visitei o Umwelt Arena haviam muitas crianças brincando em carros elétricos e vendo as maquetes dos projetos arquitetônicos que vocês desenvolvem aqui. Você acredita que ajudará em um futuro onde estas soluções sejam mais procuradas?

RS: Acredito que felizmente em nosso contexto muitas coisas já podem ser vistas como “normais”... Soluções que há cinco anos não eram difundidas. É um processo que toma tempo e minha preocupação é exatamente esta. Será que temos este tempo para esperar? As geleiras não param de derreter porque somos lentos, elas não ligam para nós. A minha geração não sentirá nada disso, mas a próxima sim. E as pessoas deveriam se preocupar mais! Como eu mencionei antes, acho que grande parte é devido à falta de conscientização e difusão do conhecimento, o que estamos tentando fazer no Umwelt Arena. Te dá a chance de acessar esta informação e como é fácil comprar no mercado o alimento que consome menos energia, por exemplo. O poder de compra e de escolha de cada pessoa causa um enorme impacto! A mensagem principal é dar o poder para o indivíduo fazer mais, escolher corretamente.

SHD: Sobre o Umwelt Arena, como foi o processo de solução dos montantes de fixação da cobertura fotovoltaica?

RS: É um sistema que você pode comprar de uma empresa suíça... Se analisarmos a forma octogonal da cobertura, esta resposta não é nada instintiva, parece mais complexo de resolver do que realmente é. Não tivemos que desenvolver esta solução, na verdade ela já existe no mercado. Este mesmo sistema também foi utilizado na cobertura do edifício em Brütten e os módulos solares, que estão levemente sobrepostos, são encaixados em peças metálicas. Assim, facilita-se a remoção dos módulos em um sistema *plug and play*: se alguma peça apresentar defeito, pode ser substituída por outra nova no lugar. Também, abaixo dos módulos, coloca-se uma membrana impermeável para garantir impermeabilidade nos dias de chuva com incidência de vento, por exemplo. Proteção

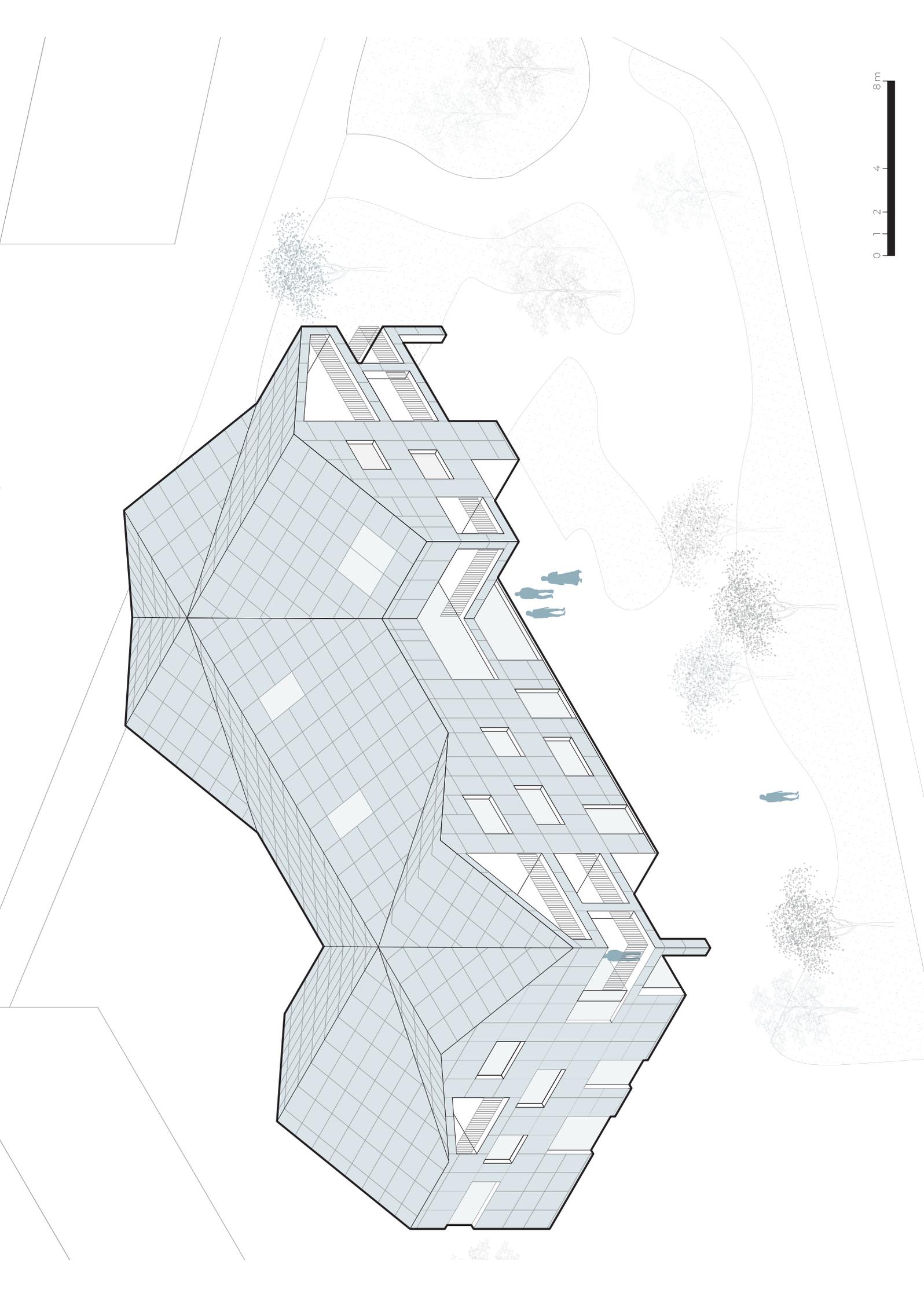
também presente nos telhados “comuns”, em que a água pode penetrar e escorrer na face interna das telhas.

Em coberturas BIPV, o telhado é o módulo fotovoltaico (que é a prova d'água). Portanto esta membrana de proteção serve para proteger a pequena quantidade de água que pode passar entre os módulos no caso de dias chuvosos e com vento.

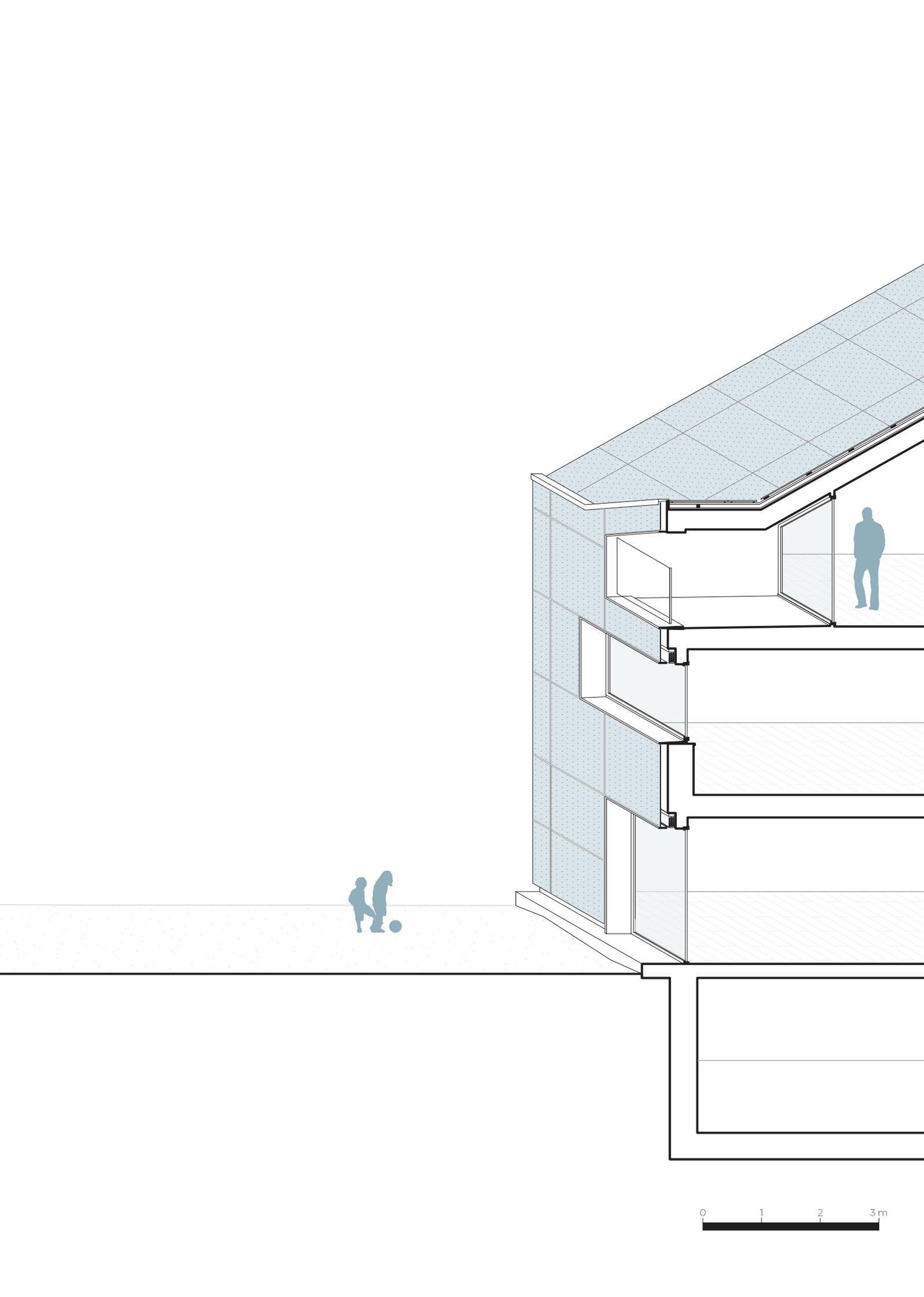
SHD: Em qual projeto vocês desenvolveram a solução de integração fotovoltaica que virou patente?

RS: Em Brütten tentamos patentear a fachada fotovoltaica com acabamento opaco, mas é algo muito difícil de conseguir. Já que vidros opacos já estão presentes no mercado, são produtos conhecidos, mesmo que destinados a um uso diferente. Portanto, a solução que conseguimos criar uma patente foi o sistema de montantes para o edifício Mehrfamilienhaus Mit Energiezukunft, mencionado anteriormente. Definimos o sistema como “*Flexibel Preiswert Einfach*” - em português “flexível barato simples”, em que as peças estão sobrepostas umas às outras. O sistema é composto por quatro camadas: módulo fotovoltaico, montante colado (adesivo da marca 3M) à face posterior do módulo, que é encaixado aos trilhos de fixação, integrados à fachada. Os desenhos desta patente não foram publicados ou divulgados porque ainda está em processo de regularização, que leva vários anos. Agora estamos testando também parafusar os módulos na estrutura do edifício para diminuir e economizar o material utilizado nos montantes... Mas aplicamos esta solução em apenas um edifício e ainda estamos testando.

SHD: Muito obrigada pela entrevista, René!

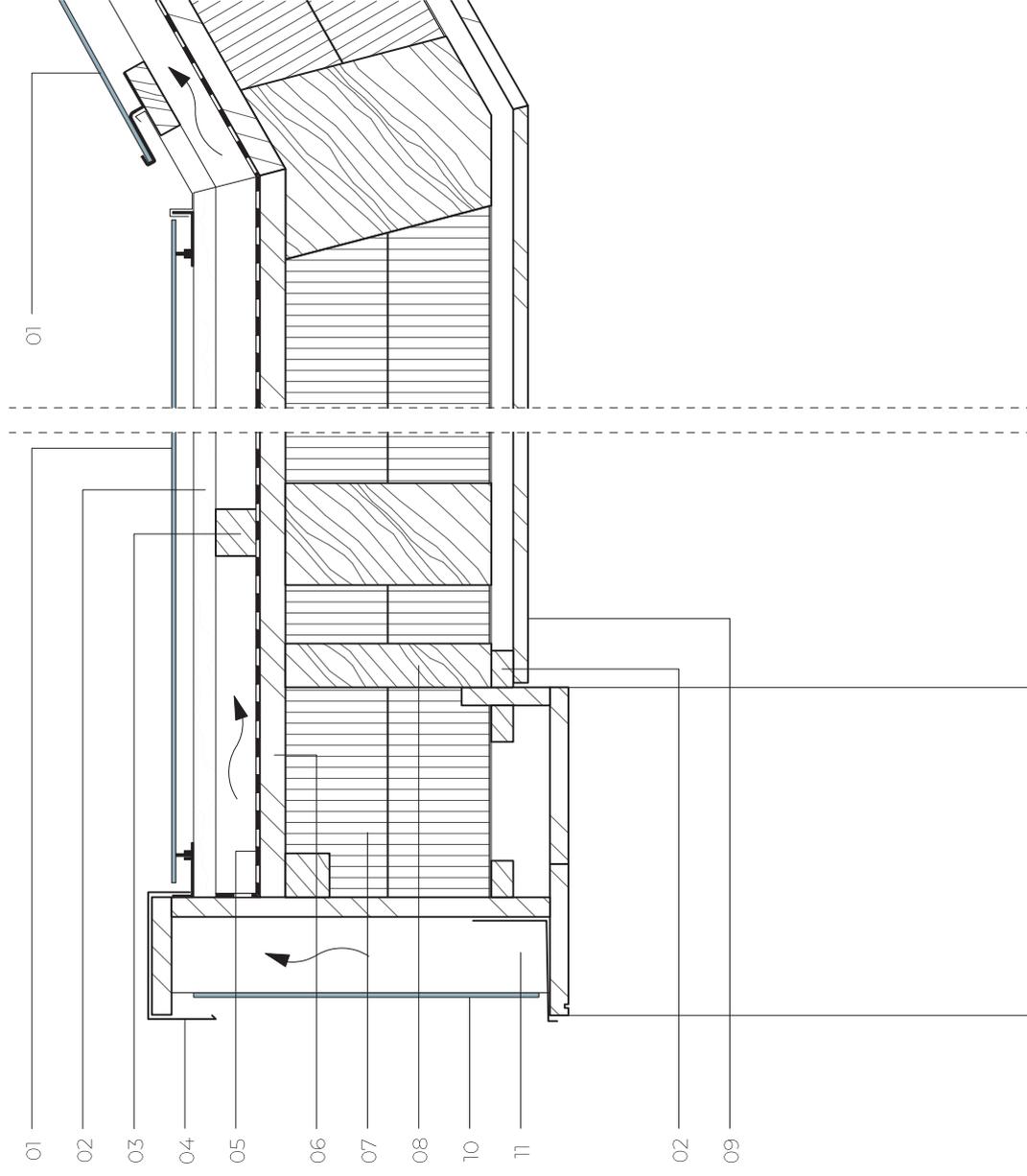


0 1 2 4 8 m



0 1 2 3m

- 01 - Módulo fotovoltaico thin-film, acabamento opaco, 6mm, inclinação 29,5°
- 02 - sarrafo 30 mm
- 03 - caibro 60 mm
- 04 - fufo com pingadeira
- 05 - manta termo acústica
- 06 - placas de madeira intertravadas, tipo "ISOLAIR 45" - 35 mm
- 07 - camada dupla de isolante de lã mineral
- 08 - estrutura em madeira
- 09 - forro de madeira
- 10 - módulo fotovoltaico thin-film, acabamento opaco, 6mm, inclinação 90°
- 11 - camada de ventilação estruturada por sarrafos - 100 mm



0 10 20 40 cm

4.5. ESTUDO DE CASO 04: HOUSE SCHNELLER BADER

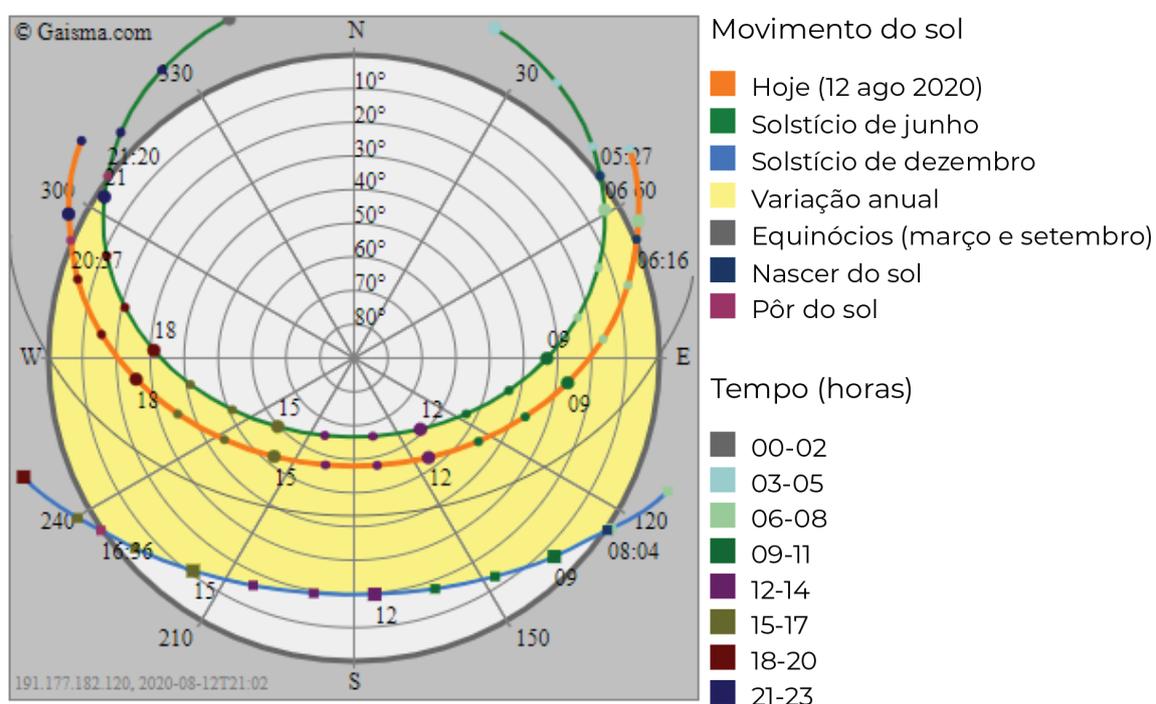
A casa Schneller Bader, estudo de caso 04, foi projetada pelo escritório de arquitetura Bearth-Deplazes Architekten e construída em 2016. Os serviços do escritório foram contratados pelo casal Georgina Schneller e Sascha Bader, para a construção de uma casa destinada à família com dois filhos. Encontrei os dados nas descrições redigidas pelo Bearth-Deplazes Architekten, pesquisa documental e dados compartilhados por Daniel Ladner após entrevista semiestruturada com a autora Sofia Dias no dia 27 de novembro, das 9 ao meio dia, em Tamins, Suíça, simultânea a visita da casa Schneller Bader.

A casa está na cidade de Tamins (46°49'45"N, 9°24'16"E), comuna da Suíça pertencente ao cantão de Grisões, localizada 128 km a sudeste de Zurique. Com 1.217 habitantes e densidade de 29,9 habitantes por km², 1,4% da área da cidade é destinada aos assentamentos urbanos, 16,4% à agricultura, 50,9% é área arborizada e 31,3% são ocupados por atividades não produtivas, principalmente montanhas e rios - que fazem parte da região tectônica de Sardona, patrimônio da humanidade que abrange o cantão de Grisões, São Galo e Glarona (SWISS FEDERAL STATISTICAL OFFICE, 2020). Uma das sedes do escritório de arquitetura Bearth-Deplazes Architekten localiza-se na cidade vizinha Chur, a 10,6 km de Tamins, também nos Alpes suíços.

A temperatura média varia entre -6°C a 23°C e a temperatura raramente é inferior a -11°C (WEATHER SPARK, s.d.). Durante o ano, o céu é parcialmente nublado e a época mais encoberta do ano começa por volta de 13 de setembro e dura cerca de 9 meses, com 1.115 milímetros de chuva por ano. O período de neve acontece entre os meses de setembro e abril, com deposição sobre o solo durante alguns dias. Segundo a figura 105,

durante o solstício de dezembro, o dia começará às 08h04min e terminará às 16h36min, oposição aos longos dias de verão que no solstício de junho começará às 6 horas e terminará às 21 horas. O inverno, além de ter menor quantidade de irradiação disponível, é o período de céu mais encoberto e, também, com maiores demandas por aquecimento em residências do hemisfério norte.

Figura 105 - Diagrama do caminho do sol em Tamins



(GAISMA, 2020)

O peso histórico da cidade milenar incita desafio para a integração fotovoltaica à arquitetura, muito enraizada na cultura alpina das montanhas e em elementos tradicionais (figuras 106 e 107). Mesmo após os grandes incêndios de 1464 (Chur), 1799 (Tamins) e 1905, em que um quarto de Tamins foi destruída (SCHELBERT, 2007), as características mantêm-se presentes: cabanas, chalés, estábulos, lojas de caça, abrigos para pastores (ETH ZURICH, 2011). Neste sentido, segundo Adolph Stiller, no texto

intitulado “*Between autonomy and integration, artefact and nature*” (ETHZ, 2010), a arquitetura alpina ainda é vista como a destilação dos ideais dos habitantes das cidades, visão romântica e idílica da natureza domesticada, mostrada ao público internacional em grandes exposições como a de Paris em 1900, por meio de fotografias intituladas “*Swiss village*” (figura 108). Um movimento que cresceu dedicado a preservar os estilos regionais e vestígios de uma cultura desaparecida para a posteridade. “De repente, os museus ao ar livre foram criados em todos os lugares, apresentando [...] os utensílios necessários para a vida nas montanhas” (ETHZ, 2010, tradução nossa). Um destes museus é o Ballenberg, inaugurado em 1978, onde 100 casas rurais estão expostas. Foram desmontadas e transportadas até os 66 hectares de terras do museu, trazidas de diferentes regiões do país para “fornecer testemunhos arquitetônicos e sócio-históricos da vida cotidiana e da cultura rural do passado” (BALLEMBERG, s.d.). Em 2007, o museu, junto ao Departamento de Preservação de Monumentos e o arquiteto Patrick Thurston, modernizaram a construção de uma casa do século XVI para o estilo de vida contemporâneo, abastecida de mobiliário como a *Eames Lounge Chair* e móveis de Jean Prouvé, fruto da parceria com a empresa Vitra (figura 109). A oposição entre interior e exterior é evidente.

Figura 106 - Casa Schneller Bader



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 107 - Contexto urbano de Tamins



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 108 - Swiss Village, imagem exposta na grande feira de Paris em 1900



(NATIONAL GALLERY OF VICTORIA, 2014)

Figura 109 - Casa do século XVI remodelada para os usos contemporâneos



(BALLENBERG, s.d.)

Eis que, na segunda metade do século XIX e início do século XX, impulsionados por exposições internacionais, embora de um ponto de vista bastante diferente, alguns arquitetos começaram a prestar atenção ao legado da construção nas montanhas, entendido como o substrato de séculos de adaptação (ETHZ, 2010). Com o objetivo de documentá-lo e debatê-lo, a tendência se intensificou e subsiste até hoje. Arquitetos como Bruno Taut (*"Alpine Architektur"*, 1917), Adolf Loos (*"Rules for Those Building in the Mountains"*, 1913) e Le Corbusier (*"Voyage d'Orient"*, 1911) abordaram o tema para incitar o desenvolvimento de novas propostas. Para Taut, na forma de templos erigidos em vidro e metal; para Loos, como crítica ao pitoresco; e Le Corbusier, descrevendo os chalés como alternativa generalizada e econômica da casa burguesa, muito difundida na passagem para o século XX nos centros urbanos europeus, além de opção à ortodoxia dos classicismos acadêmicos. Estes autores defendem a posição de que este "vislumbre do mundo sagrado" (ETHZ, 2010), lançou as "bases para encenação", quando na verdade há argumentos mais sólidos para que as edificações sejam levantadas a partir de paredes, das montanhas e do sol.

É neste contexto de debate arquitetônico, ainda vigente, que a casa Schneller Bader foi construída. A concepção de um edifício novo não foi defendida como simples atitude de contrariar o passado, mas oportunidade de explorar as matizes, desenvolver as possibilidades, incorporar tecnologias e coexistir a partir de uma perspectiva crítica e de respeito ao passado. Esta postura foi defendida por Andrea Deplazes, um dos sócios do Bearth-Deplazes Architekten, em entrevista (ETHZ, 2010). Mais ainda, sua implantação também demonstra tal postura: está localizada aos fundos da antiga casa da família Schneller, em que a mãe de Georgina Schneller hoje reside (figura 110). Logo, atrás da edificação de dois

andares, com estrutura de madeira, telhado, venezianas e janelas tradicionais, está a nova construção autônoma em energia, que abastece um carro elétrico e sustenta linhas modernas - em equilíbrio ao contexto local e à história da família. As figuras 111 e 112 mostram a relação entre as duas construções, além do contexto imediato.

Figura 110 - Casa da família Schneller



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 111 - Relação entre as duas construções



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 112 - Contexto de implantação do projeto, orientação norte para cima



(Screenshot Google Maps, 2020)

Os arquitetos do Bearth-Deplazes Architekten descrevem o projeto como “uma casa, longa e estreita, posicionada entre um pátio e um campo aberto, delimitando a paisagem como um muro de contenção” (BEARTH-DEPLAZES, s.d., tradução nossa). Ademais, este “muro de contenção” delimita também a transição entre níveis, para um platô elevado que permite acesso direto ao segundo andar da casa e à paisagem (figuras 113 e 114). Uma grande sala foi esculpida no andar térreo, localizada defronte ao pátio articulador. Dois quartos destinados aos filhos do casal também estão no térreo, além do acesso ao porão (figura 115). No segundo pavimento, a sala de estar, exposta à paisagem, é ladeada pelo dormitório do casal, banheiro e escada de acesso (figura 116). Os rasgos em vidro na estrutura de concreto, que iluminam e permitem a vista tanto da paisagem quanto do pátio central criado no terreno, são protegidos por painéis deslizantes que filtram a luz através de ripas de madeira.

Figura 113 - Casa é “muro de contenção” entre pátio e campo aberto (face sul)



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

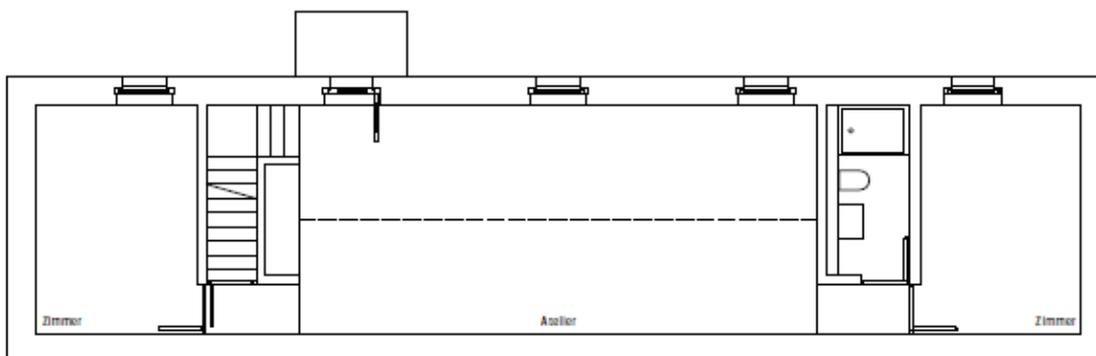
Figura 114 - Casa é “muro de contenção” entre pátio e campo aberto (face norte)



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 115 - Pavimento térreo: espaço de trabalho, dois dormitórios e banheiro.

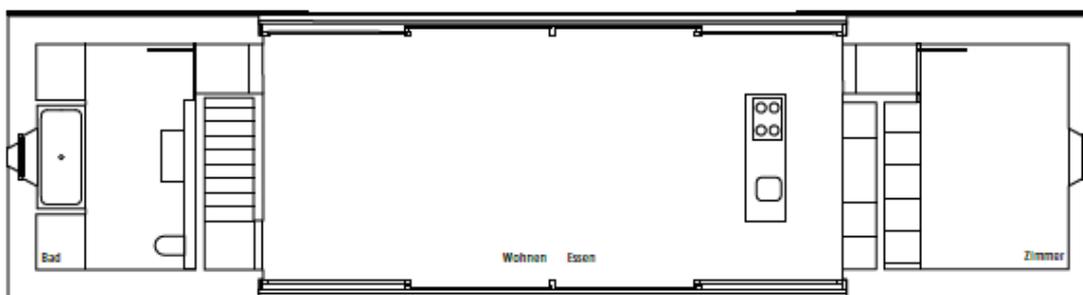
Orientação norte aponta para cima



(BEARTH-DEPLAZES, 2016)

Figura 116 - Segundo pavimento: sala de estar integrada à cozinha, dormitório do casal e banheiro. Orientação norte aponta para cima

Orientação norte aponta para cima

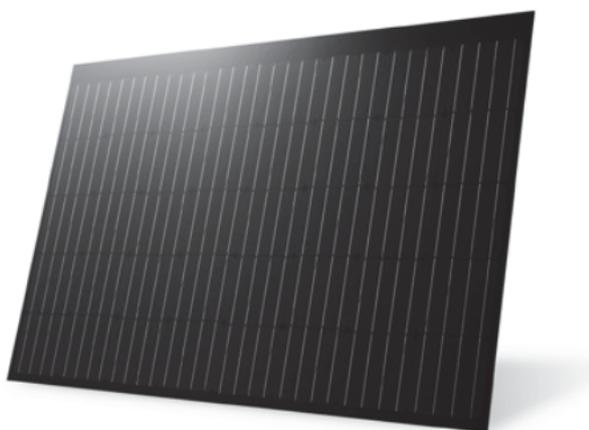


(BEARTH-DEPLAZES, 2016)

Segundo o *website* <https://solarchitecture.ch/> (SUPSI e parceiros), o telhado de duas águas protege a casa e, na face sul, a telha de fibrocimento é substituída por módulos fotovoltaicos monocristalinos de primeira geração, encapsulamento preto e sem moldura de alumínio aparente. Ocupam a área de 108 m², com potência de pico de 17 kWp, produção energética de 22800 kWh/ano, que perfazem 100% do consumo

energético da casa, além de gerar um *surplus*, excedente, de 44%. O módulo, com dimensões 1300 mm x 875 mm x 6,5 mm e espessura do substrato de vidro de 5 mm, é produzido pela empresa suíça 3S Solar Plus AG. O produto MegaSlate® II (figura 117) tem garantia de 10 anos, com performance garantida em 90% do benefício mínimo e 25 anos com performance garantida em 80% do benefício mínimo. Ainda, tem garantia de resistência às intempéries igual a 40 anos. A taxa de reciclagem é antecipada, adicionada à compra do material (3S SOLAR PLUS AG, s.d.). É solução destinada usualmente para a remodelação de coberturas, com instalação e detalhes técnicos muito semelhantes à inserção de telhas tradicionais, levemente sobrepostas e, neste caso, sobre uma estrutura de caibros e ripas de madeira (figura 118).

Figura 117 - Módulo fotovoltaico MegaSlate® II



(3S SOLAR PLUS AG, s.d.)

Figura 118 - Sustentação dos módulos solares em caibros e ripas de madeira



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Em uma cidade pouco densa e, também, por estar implantado em área com a face sul do edifício voltada ao campo aberto, o sistema não tem implicação de sombreamento ou dificuldades encontradas em centros urbanos densos. Mais ainda, mesmo que Tamins seja um vilarejo chuvoso, com média de 122 dias de chuva por ano, o sistema ainda assim produz mais energia do que a família precisa para viver. Segundo o *Building Integrated Photovoltaics: Product overview for solar building skins Status Report 2017* (SUPSI-SEAC, 2017), é possível classificar a integração como *solar tiles* - telhas fotovoltaicas, desenhadas para integrar-se à superfície do telhado de maneira certas vezes quase imperceptível. Resulta em mistura óptica, em que o edifício novo não causa grande contraste com as estruturas tradicionais de seu contexto.

4.5.1. Entrevista Daniel Ladner/ Bearth-Deplazes Architekten

Realizei a entrevista semiestruturada com Daniel Ladner no dia 27 de novembro, das 9 às 12 horas, em Tamins, Suíça, simultaneamente à visita da casa Schneller Bader. Portanto, tem ênfase no entendimento deste projeto. Daniel Ladner é um arquiteto graduado na Abend Technikum HTL Chur que, desde 1995, junto a Valentin Bearth e An-drea De-plazes, é sócio do escritório de arquitetura Bearth-Deplazes Architekten, fundado em 1988. O escritório gera vocabulário arquitetônico principalmente no que diz respeito a paisagens culturais, materiais, luz natural e origens culturais e sociais. A empresa suíça tem base em Chur e Zurich, com experiência em diversos segmentos na arquitetura: instalações culturais, edifícios governamentais, sedes empresariais e residências privadas.

Fui até o ponto de encontro para a entrevista de carro, desde Zurique. A paisagem, paulatinamente, mudou muito no trajeto e quanto mais alto, menores as temperaturas e maiores as mudanças na arquitetura, enraizada na cultura alpina. Na transcrição da entrevista, os acrônimos indicam os participantes: Sofia Hinckel Dias (SHD), Daniel Ladner (DL), Georgina Schneller (GS) e Sascha Bader (SB), proprietários da casa. A conversa foi gravada com autorização dos entrevistados e traduzida para o português a fim de facilitar a compreensão.

SHD: Qual é o contexto em que este projeto foi desenvolvido?

DL: É uma casa projetada para uma família. Eles vieram até mim, para conversar sobre o projeto em 2014 ou 2015 para construir uma casa nesta parte do terreno inclinada. Na verdade, nós no escritório não projetamos mais este tipo de programa arquitetônico, casas para apenas uma família.

Na maioria dos casos, não estamos interessados. Para nós, é importante que ambos os lados estejam engajados no projeto, tanto o cliente quanto o escritório de arquitetura. Portanto, mesmo que atípico, vim conhecer as condições deste caso específico e decidimos desenvolvê-lo, por suas interessantes características. Quando vim até o terreno pela primeira vez, fiquei muito surpreso. É um privilégio poder construir neste lugar.

Figura 119 - Entrevista com o arquiteto Daniel Ladner



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

SHD: Ser um edifício com consumo de energia zero foi uma ideia inicial dos clientes, ou algo que surgiu durante o processo de concepção?

DL: Não foi algo pensado de início pelos clientes, ou mesmo por nós. A geração de energia surgiu como solução natural em paralelo ao desenvolvimento do projeto, mas não como um desejo idealizado a priori.

SHD: Como isso aconteceu?

DL: Pelas condições do terreno de implantação, posso dizer que foi uma resposta natural ao que encontramos aqui. É uma área rural, além de estar no limite permitido para construção de edifícios na cidade. Ou seja, a orientação sul está totalmente livre e protegida, livre para produzir energia sem futuras obstruções já que nada será construído depois desta linha imaginária determinada pela legislação.

SHD: Como funciona a organização do terreno? Vejo que a casa está conectada às outras edificações pela praça em que estamos agora.

DL: O terreno pertence à família Schneller. A casa dos pais de Georgina tem mais de 80 anos e a família ainda trabalha com agricultura. A casa da irmã, localizada na parte leste do terreno, foi construída há mais ou menos 10 anos. As três construções juntas formam uma praça central de convergência e coexistência entre as diferentes fases de crescimento da família: os pais, os filhos e agora também os netos (figuras 120, 121 e 122).

Figura 120 - Fundos da casa da família Schneller, construída há mais de 80 anos



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 121 - Casa da irmã de Georgina Schneller, construída há 10 anos



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

Figura 122 - Acesso principal e praça central do terreno



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

DL: Os clientes estabeleceram a verba disponível para a construção da casa e assim iniciamos os estudos para sua materialização. É um volume longo, com 20 metros de comprimento e 5 metros de profundidade, com dois pavimentos e um pequeno porão. O primeiro pavimento é construído em concreto, enquanto o segundo pavimento tem solução híbrida. No primeiro nível há dois quartos para as crianças e, no segundo, sala de estar integrada a cozinha e dormitório para o casal. No porão estão, principalmente, alguns equipamentos técnicos e depósito.

SHD: Como foi o processo de escolha dos materiais?

DL: A escolha dos materiais está em função da nossa tarefa: madeira, concreto, aqui entendido como “pedra líquida”, em um design muito direto

e simples, além de ciente do contexto. A textura do concreto é similar ao ripado de madeira que protege as aberturas envidraçadas e revela a importância da forte conexão entre a casa e o pátio central criado no terreno. Para manter a família unida. A cobertura de duas águas também é parte desta resposta, com uma das superfícies orientada para o sul. Daqui onde estamos, na praça central, você consegue ver apenas a face do telhado em fibrocimento, orientada para o norte. Agora, podemos subir o platô elevado e ver o outro lado da casa.

SHD: Sim, vamos lá (figura 123).

Figura 123 - Entrevista com o arquiteto Daniel Ladner



(SILVEIRA, F. (fotógrafa), 2019)

DL: Aqui estão os animais, você consegue ver os marrecos logo ali em frente (figura 124). Estamos nos limites da cidade, como te contei antes.

Sabíamos que o volume da casa estaria direcionado para esta orientação e por isso perguntamos: “poderíamos construir um telhado com módulos fotovoltaicos?”. O que significa, basicamente, um telhado em vidro. Uma solução realmente simples! Também demos muita atenção à face interior da superfície do telhado para deixá-la livre, permitindo que fique exposta como no caso das telhas convencionais. Assim, você pode enxergar a face interna dos módulos nos trechos de beiral, como nas casas antigas. No corpo da casa, há uma densa camada de isolamento térmico, creio que na parte da cobertura cerca de 20 cm de espessura somada aos outros substratos. Logo, as peças em que se é possível enxergar as duas faces do módulo fotovoltaico nuas, só estão nos beirais - onde não há necessidade de isolamento. Dentro da casa, a estrutura do telhado está escondida por estes substratos de proteção.

Figura 124 - A relação entre diferentes usos e o platô elevado



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

SHD: Qual o resultado da produção de energia elétrica na casa?

DL: Você precisa de cerca de 15.000 KWh/ano para suprir a demanda energética da casa... e ela produz por volta de 22.000 KWh/ano! A produção de energia excedente incentivou a família a comprar um carro elétrico, o que os torna auto suficientes também no uso do veículo, já que agora eles têm energia sobrando.

Também, a fim de aumentar a temperatura dentro de casa, instalamos uma bomba de calor que, a partir da diferença de temperatura do ar, move energia térmica na direção oposta ao fluxo espontâneo de calor: neste caso, o ambiente interno. Também produz água quente para o aquecimento integrado à laje de concreto¹³. A laje tem 20 cm de espessura e dentro dela há tubos integrados que, no inverno, a água quente corre dentro do sistema e aquece a casa. No verão, a água fria passa pelos tubos e ajuda no resfriamento. Assim você substitui o aquecimento central por radiadores por um sistema muito mais eficiente a partir do aproveitamento da massa térmica do concreto para potencializar o aquecimento ou resfriamento.

SHD: Qual o papel do arquiteto na difusão destas estratégias?

DL: Hoje é possível construir com módulos fotovoltaicos... e você não deveria fazê-lo como os exemplos que vemos na vizinhança: sem nenhum raciocínio de design. Acredito que é responsabilidade dos arquitetos informar estas possibilidades... já que é uma disciplina que está em eterno processo de amadurecimento! Além de ser também reflexa de diferentes comportamentos, diferente disponibilidade de materiais, diferentes

¹³ Neste caso, para aquecer a casa, a água precisaria ser aquecida de 18 a 28 °C, temperatura muito inferior aos 65 °C necessários nos antigos radiadores de aquecimento central. Estes sistemas integrados são denominados *Thermally Active Building* (TAB). Informações disponíveis no manual técnico da empresa finlandesa UPONOR.

situações globais... Hoje precisamos cuidar do nosso planeta, preocupação que não existia há 100 anos, por exemplo.

Como resposta, acredito que a casa é muito rápida de construir e é uma solução que usa o mínimo de material possível. Diria que não é algo muito complexo, isso também no âmbito conceitual. Pensamos e colocamos muito esforço em deixar o projeto realmente simples e direto... o que é completamente diferente de banal ou ordinário, já que são soluções, se analisadas em um espectro mais amplo, pouco difundidas e que alcançam resultados muito satisfatórios.

DL: Agora voltamos na ladeira, rampa inclinada para acessar o pátio. Nesta abertura lateral, o concreto foi cortado em chanfros, angulação que não permite que você enxergue a esquadria da janela quando estiver do lado de fora da construção (figura 125). O resultado é uma forma abstrata adicionada à massa construída. Agora podemos descer novamente, para acessar o primeiro pavimento e conhecer a casa por dentro...

SHD: Vamos... Aproveitando que voltamos à praça central, onde fica o equipamento para carregar o carro elétrico? Mencionado anteriormente...

DL: O carregador veicular está conectado e fixado ao volume da casa, na face lateral (figura 125)...

Figura 125 - Carregador veicular que abastece o carro elétrico da família



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 126 - Acesso principal à casa



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

DL: Nesta ampla sala no primeiro andar o teto foi rebaixado, similar às edificações com teto abobadado tradicional (figura 127). A iluminação está embutida... O espaço de trabalho leva a dois quartos com cerca de 14 m², com teto elevado em 3 metros, mais alto do que o ambiente anterior. Aqui, por tratar-se de um programa arquitetônico de uso mais reservado, sem tanta integração visual ou livre acesso ao platô elevado como no segundo andar, as escavações no concreto para as aberturas e entradas de luz são menores e ritmadas... Já no segundo andar, devido ao grande vão criado, tivemos que inserir colunas metálicas, muito esbeltas e quase imperceptíveis. Ficam atrás das esquadrias de madeira - respeitando o seu desenho. Podemos subir para você conhecer e dar uma olhada (figuras 128 e 129).

SHD: Claro, obrigada!

Figura 127 - Escritório com teto abobadado e dormitórios das crianças



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 128 - Sala de estar no segundo pavimento. Os esbeltos pilares metálicos integram-se ao desenho da esquadria



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

Figura 129 - Painéis deslizantes em madeira



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

DL: Estes painéis deslizantes são importantes tanto para a privacidade, quanto para a proteção solar. Em Tamins, durante o inverno a temperatura chega a - 20 °C. Mas, no verão, alcança números altos, quase como o verão espanhol! A temperatura pode chegar a 35 ou 37 °C. Durante o ano passado o calor atípico se manteve durante 7 meses... Algo muito incomum para a Europa Central.

SB: Vocês aceitam um café?

DL: Sim, seria ótimo!

SB: No meu dia a dia eu trabalho em Zurich, faço viagem de ida ao trabalho e volta para casa em trem, cada trajeto dura mais ou menos 1 hora e meia. Hoje, mesmo que seja quarta-feira, estou em casa porque é meu aniversário (figura 130).

Figura 130 - Entrevista com Georgina Schneller e Sascha Bader



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

SB: Eu e Georgina vivemos na Nova Zelândia durante um ano, em um clima muito frio e com bastante vento, especialmente durante o inverno... ficamos muito impressionados porque lá as construções não têm isolamento!

SHD: Assim como no Brasil...

SB: As janelas também são apenas em vidro simples... Então sentimos muito frio dentro de casa, usávamos várias roupas! Era congelante... Aqui o vidro é duplo ou triplo, vejo como as construções *standard* na Suíça têm alta qualidade. Algumas vezes, quando estávamos na Nova Zelândia, dormíamos dentro de sacos de dormir, mais uma camada isolante contra o frio! Aqui, por causa das temperaturas negativas, que podem ser realmente rígidas, temos que construir estruturas sólidas.

SHD: E como a população do vilarejo reagiu à construção da casa de vocês? Percebo que todas as construções têm um alto nível de isolamento e proteção contra as temperaturas muito baixas, mas não há nenhum outro edifício com tecnologia fotovoltaica integrada...

SB: Acho que este *feedback* tem muito a ver com o conhecimento e informação de cada um. Algumas pessoas gostaram, outras não... Considerando que estamos em uma região alpina, há uma sociedade moderna, no entanto, grande parte é antiga, velha, um tanto conservadora... Construir uma casa com tecnologias bem integradas, em uma área rural onde deveria estar em equilíbrio com a cultura local, muito próxima a terras agrícolas, é diretamente influenciado por estas visões.

Usualmente as pessoas acham que o resultado é muito legal, mas há quem ache estranho.

Acredito que é uma integração apropriada para este contexto. Existem várias situações em que as pessoas tentam construir “novas casas com cara de antigas”... Mas eu pessoalmente acredito que isto não é bom. Por que fazer isso? Eu não sou um arquiteto, mas não acho ser uma boa ideia. Especialmente neste cantão (Grisões), onde estamos, acredito haver sensibilidade neste sentido, interesse em arquitetura... Talvez o maior interesse, se considerado a área alpina, nas montanhas.

Eu não sei se isso tem a ver com o fato de estarmos próximos à Itália... Você pode atravessar a nossa área e chegar em outro lugar! Em outras áreas alpinas você só pode entrar na cidade, mas não pode atravessá-la... estão totalmente isoladas e, de certa forma, auto referenciadas. Então, acredito que aqui temos muita influência de outras regiões, do que acontece em outros lugares... Também influência da arquitetura de Peter Zumthor¹⁴, Bearth and Deplazes, etc etc. Acredito que as pessoas estão cada vez mais interessadas em edifícios bonitos e bem integrados. Esta é apenas a minha pequena opinião sobre o assunto e também como morador desta casa...

GS: Acredito que também há influência da língua... Por exemplo, uma das línguas oficiais na Suíça é o romanche. Uma língua muito antiga, de certa

¹⁴ Arquiteto suíço formado na Schule für Gestaltung, Basel, e no Pratt Institute, Nova Iorque. Laureado com o Prêmio Pritzker em 2009, foi professor de diversas universidades: Technische Universität München, Accademia dell'architettura mendrisio, ETHZ. Sua arquitetura está alicerçada em características singulares dentro do contexto arquitetônico-cultural suíço-alemão da década de 80, período em que inicia o seu próprio atelier, marcado pelas discussões da agenda moderna com ênfase nas teorias de Aldo Rossi e Joseph Beuys. Além da influência de sua formação biográfica no ambiente artesão e experiência profissional voltada ao patrimônio histórico. Ênfase os projetos arquitetônicos: Capela San Benedetto, Termas de Vals e Museu de artes de Bregenz.

forma próxima ao português... Eu consigo em alguns momentos entender, o sotaque também não é difícil de imitar, além de ter alguns verbos em francês.

SB: Nós falamos suíço-alemão e nosso filho aprende com a mãe de Georgina o romanche antigo... Que é uma rica porta de entrada para falar francês e italiano em sequência. Poucas pessoas falam romanche, talvez cerca de 40.000 pessoas, especialmente do cantão de Grisões. O que confere muita facilidade para aprender outras línguas! Georgina, por exemplo, fala quatro línguas.

Eu cresci próximo a área francesa, minha língua materna é o suíço alemão, mas aprendi como segunda língua na escola o francês. Nós não tivemos inglês na escola, apenas francês... Agora as crianças estão aprendendo o inglês na escola, por causa da globalização. Mas acredito que, em um país tão pequeno, coexistir em 4 línguas diferentes é uma diversidade incrível.

GS: As vezes isso causa um pouco de confusão em relação a notícias do governo, livros escolares, descrição de produtos no mercado, etc. Então se usa muita energia, dinheiro também, para a tradução de todos estes dados, para pelo menos três línguas - ninguém traduz nada para o romanche.

SB: Acredito que no futuro será muito importante falar outras línguas mais do que escrever. Ferramentas digitais escreverão por você...

DL: Começou a chover... Gosto muito do efeito que a água causa ao cair no telhado. Decidimos não construir calhas, então causa um efeito de "cortina

de água”. É muito interessante perceber o caminho natural da chuva ao tocar no edifício. Mas isto também causa alguns problemas... teremos que repensar como o edifício vai envelhecer.

SB: Este é um problema técnico, que não afetará agora, mas talvez em 20 anos.

DL: Eu diria que é um problema físico. Para mim é muito importante que o edifício possa envelhecer bem... É muito importante entender a ação do tempo.

SB: Nós debatemos muito sobre os detalhes do projeto, sobre as possibilidades, o que poderia acontecer... Os possíveis resultados e implicações. Acredito que desenvolvemos uma relação muito bem sucedida, sempre com bons diálogos. Algumas vezes não eram fáceis, mas sempre boas conversas.

SHD: E como foi a aceitação da ideia de ter um telhado fotovoltaico na sua casa?

SB: Sendo honesto, não tínhamos a intenção de construir uma casa “tecnológica”. Também, no início, para mim era uma questão financeira: isto é factível? É mais barato do que outras soluções mais tradicionais? Vimos que não é caro como imaginávamos, ainda mais com o incentivo do governo, em que 30% do investimento realizado no sistema fotovoltaico é devolvido ao consumidor. Acredito que a face sul do telhado, incluindo toda a sua estrutura, custou 40.000 francos suíços e tivemos um retorno de 15.000 francos devido ao incentivo governamental.

Meu segundo questionamento foi: se ninguém está fazendo isso, por que deveríamos fazê-lo? Acredito que é uma mensagem muito importante para as próximas gerações e também uma autonomia para nossa família. Mas, para isto, deveríamos integrá-los devidamente e não apenas posicionar módulos em cima do telhado. Claro, sabíamos que com isso havia um risco: um investimento inicial maior e desenvolver a casa além do que imaginávamos no início.

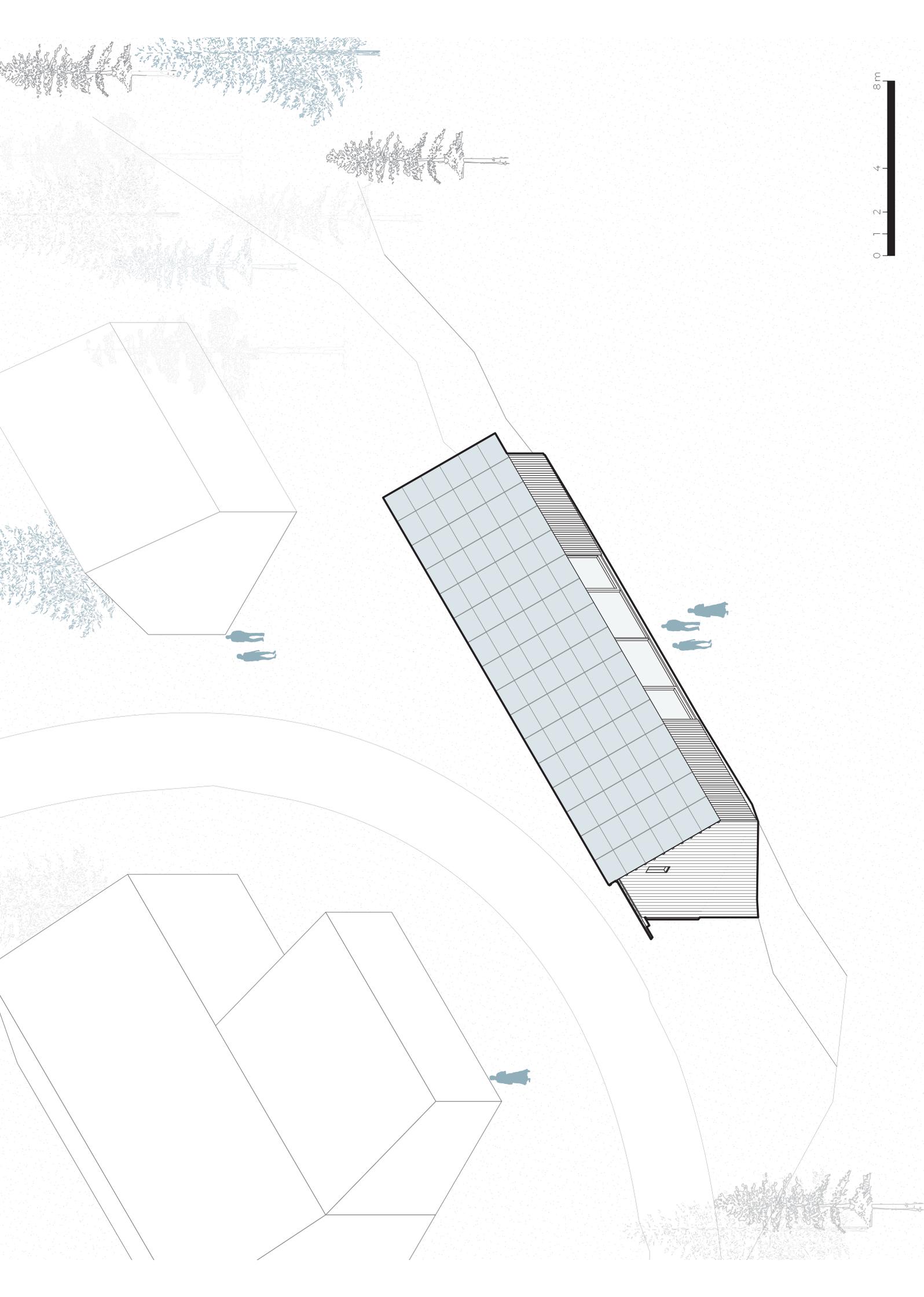
DL: Como introduzi-lo no contexto foi uma preocupação muito importante.

SB: Hoje eu gosto mais deste lado (face sul), do que do outro lado. Tem um resultado elegante. Antes, esta questão foi um problema: parecerá “artificial”? Mais “frio”? Mas hoje eu gosto muito dessa materialidade! Acredito ser uma ótima solução.

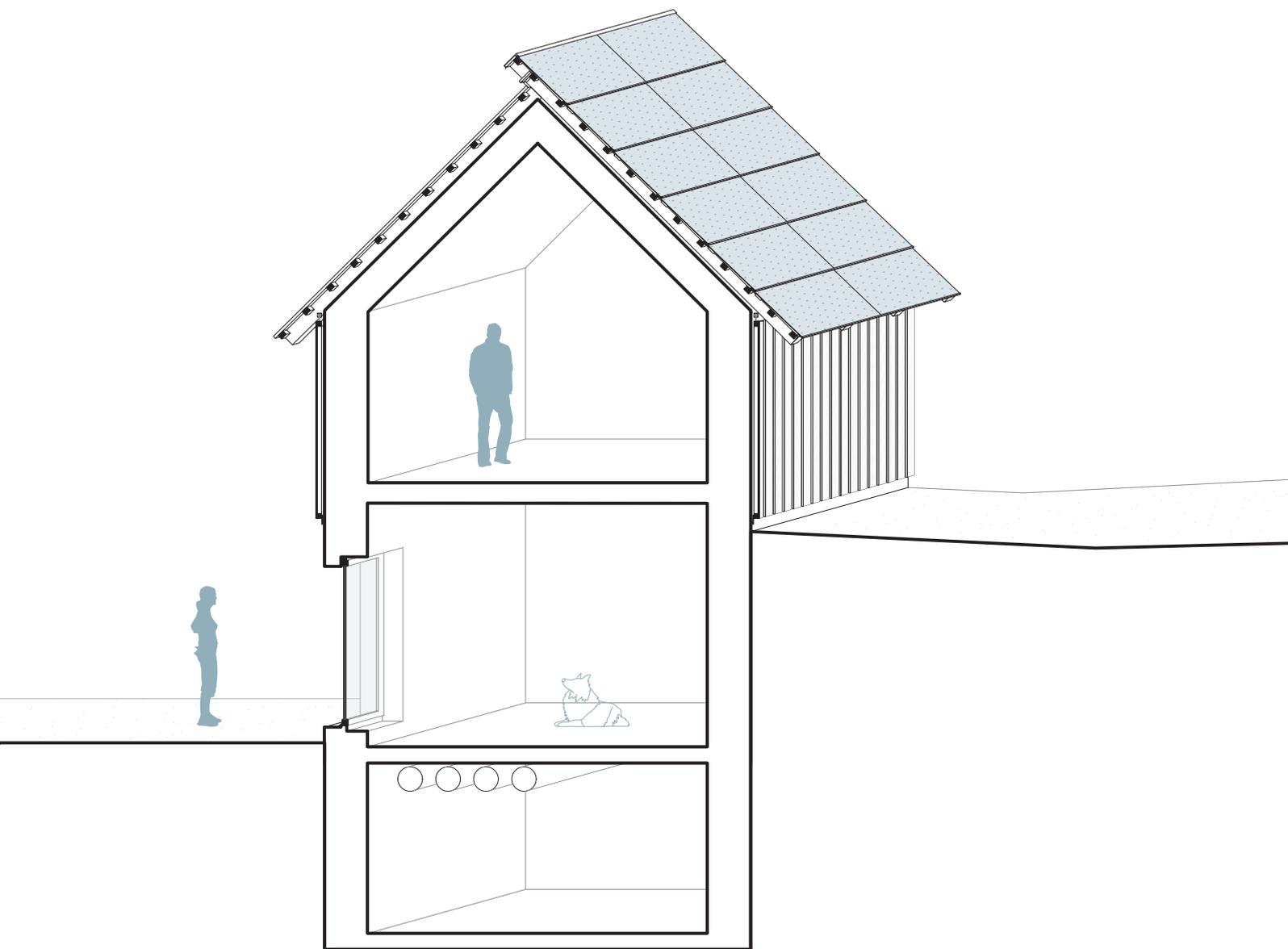
SHD: Muito obrigada pela entrevista, Daniel... e pela hospitalidade, Georgina e Sascha!



(DIAS, S. (Fotógrafa), 2019)

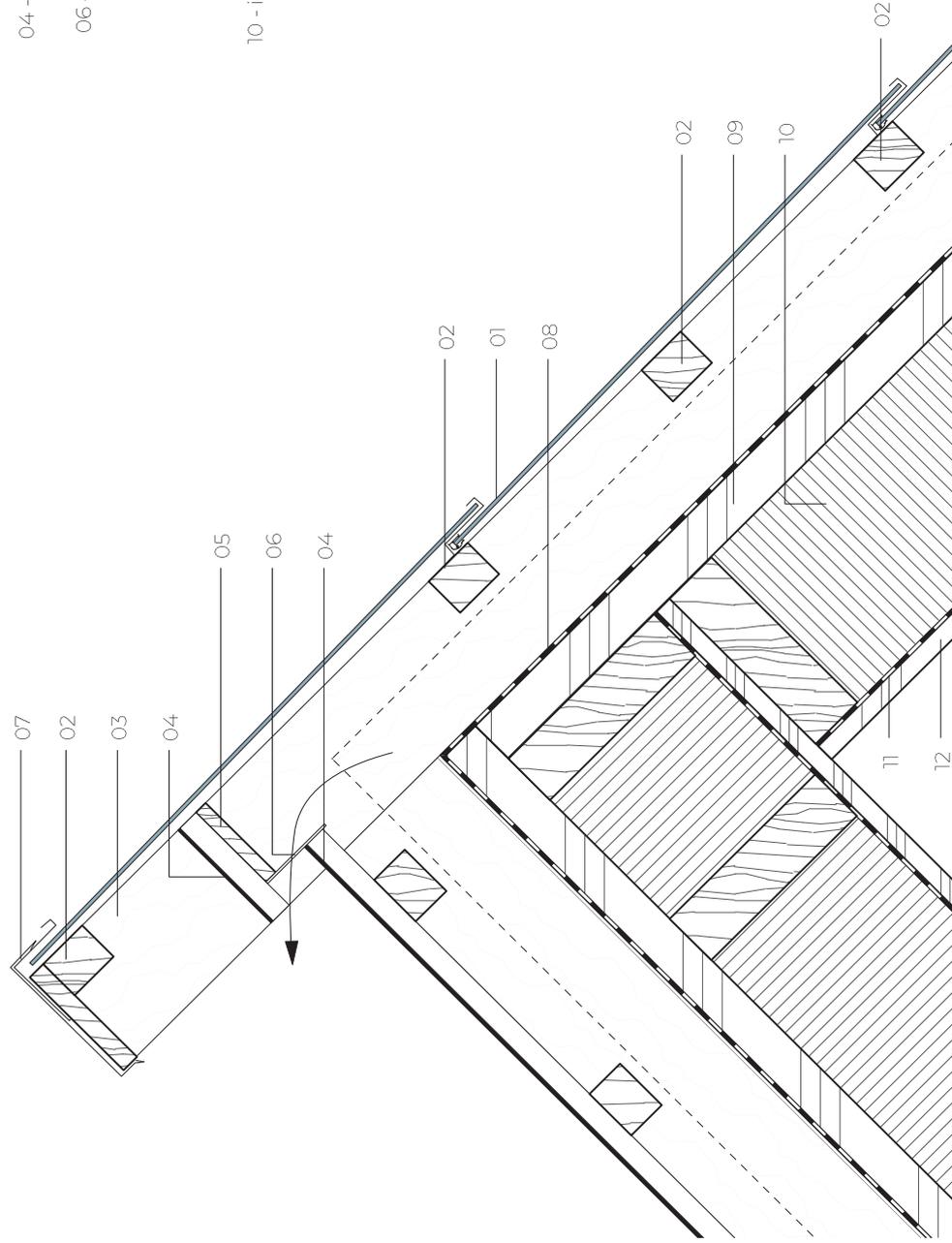


8 m
4
2
1
0



0 1 2 3m

- 01 - painel fotovoltaico
- 02 - sarrafo 60x80 mm
- 03 - caibro 180 mm
- 04 - chapa ondulada de fibrocimento
- 05 - bloco de madeira
- 06 - proteção contra insetos em cobre
- 07 - curneeira em cobre com pingadeira
- 08 - feltro
- 09 - placa de fibra com baixa densidade (LDF)
- 10 - isolamento térmico Isofloc 280mm
- 11 - barreira de vapor
- 12 - compensado de painéis de madeira maciça (three-ply)



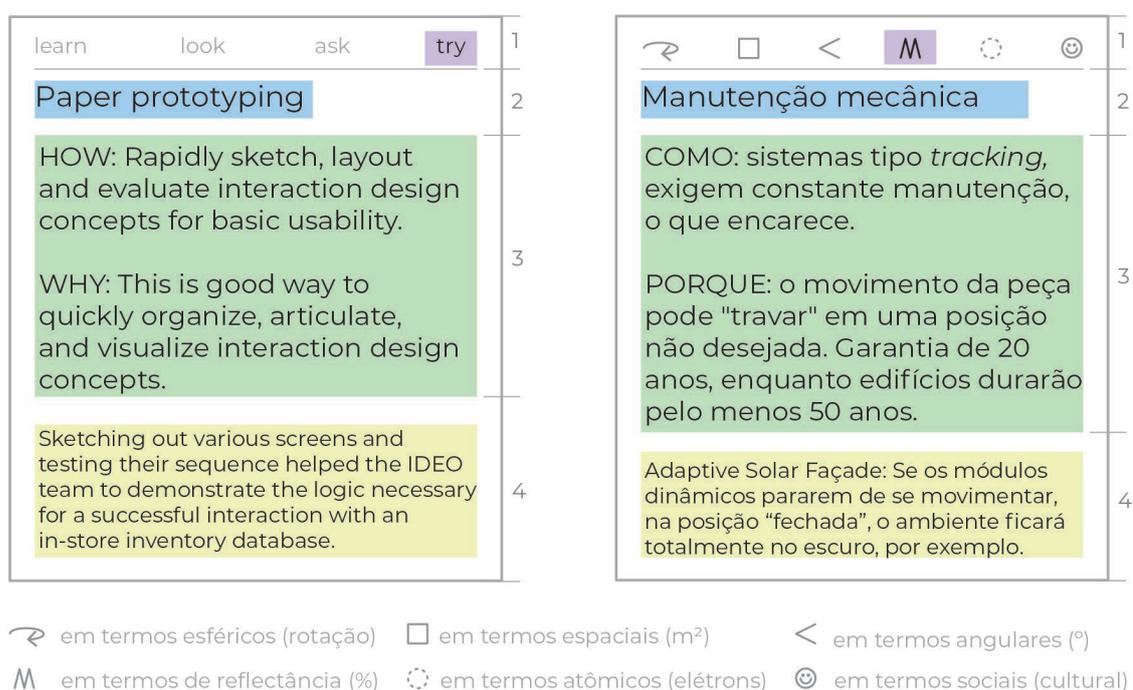
5. RELATÓRIO FINAL: CARTAS MÉTODO

Originalmente, as cartas método fazem parte de um baralho de 51 cartas criado pela empresa IDEO para estimular o crescimento de novas ideias, além de divulgar os métodos utilizados na empresa para soluções centradas no usuário. A IDEO as definiu não como um guia de "como fazer", mas como "uma ferramenta de design destinada a explorar novas abordagens e ajudá-lo a desenvolver a sua" (IDEO, 2003). São ótimas para grupos que estão trabalhando na solução de um determinado "Como chegamos de um ponto a outro? *How do we get from here to there?*" tipo de problema (PELKEY-LANDES, 2009, tradução nossa). Também, o formato de baralho facilita referenciar, buscar, ordenar e compartilhar cartas. Ajuda no planejamento de projetos, além de lembrar as abordagens existentes, sugerindo maneiras de lidar com o problema em várias fases do processo. É possível usá-las para provar um argumento ou desafiar os colegas de equipe a buscar *insights* a partir da premissa discutida na carta.

Para clarificar a sua estrutura de organização, usei o exemplo da carta "prototipagem em papel" (figura 131, representada em inglês, como originalmente desenvolvida pela IDEO). Das quatro categorias de classificação das cartas, aprender, olhar, perguntar e tentar, está na quarta área: tentar. Mais ainda, na carta estão as razões para utilizar tal método em "como" e "porque", além de uma breve descrição no rodapé sobre sua utilização pela IDEO em um projeto real. Na variável "como" este método é descrito: "desenho rápido, *layout* e avaliação da integração dos conceitos de design para básica usabilidade" (IDEO, 2003, tradução nossa). Na variável "porque" o método é justificado: "esta é uma maneira rápida de organizar, articular e visualizar a interação de conceitos do design" (IDEO, 2003, tradução nossa). No rodapé, a experiência dentro da empresa:

“desenhar em vários quadros e testar a sequência de atividades ajudou o time da IDEO a demonstrar a lógica necessária para uma interação de sucesso na base de dados do inventário de uma loja” (IDEO, 2003, tradução nossa).

Figura 131 - Comparativo entre a estrutura da carta método criada pela empresa IDEO *versus* carta método adaptada neste trabalho



(Autora, 2021)

Portanto, a carta está organizada em quatro zonas, seguindo a numeração explicitada na figura 131, 1) categoria, 2) título, 3) razões para usar o método e 4) aplicação no mundo real. Por conseguinte, em comparativo, apresento a adaptação feita para esta dissertação: 1) categoria, no que diz respeito à escala de aplicação do fundamento, 2) título, 3) razões para usar o fundamento de projeto para edifícios fotovoltaicos e 4) aplicação no mundo real, neste caso, um dos estudos de caso. Isso para gerar relatório final sobre as conclusões obtidas da pergunta

de pesquisa: “na concepção de edifícios fotovoltaicos, quais fundamentos suportam uma integração holística à arquitetura?”.

Esta estrutura é interessante por tratar de diferentes camadas de complexidade dentro do design, diretamente relacionado à técnica em determinado tipo de problema. O formato de cartas também permite que você misture todas as categorias ou analise uma estratégia em particular, além de incorporar novas cartas em atualizações realizadas pelo próprio usuário. Este é um raciocínio que está em equilíbrio com o defendido no decorrer da dissertação, entender a tecnologia fotovoltaica como um material construtivo multiescalar e diverso que coexiste com a arquitetura.

Tal escolha foi parte de um processo de amadurecimento e refinamento durante a pesquisa. No artigo *Building integrated photovoltaics (BIPV): system application guidelines and albedo aspects* (DIAS, SILVEIRA e SCHMID, 2019), esboçamos uma primeira tentativa neste sentido. As variáveis foram tabuladas em três colunas: princípios, diretrizes e implementação. Assim, os princípios para a utilização de sistemas fotovoltaicos foram relacionados às diretrizes de projeto arquitetônico e variáveis de implementação. Analisando de forma pragmática, é uma abordagem em que há precedentes na literatura e que falha ao comunicar como arquitetura e energia elétrica coexistem. Isso porque o formato de leitura em um *check list* dá ênfase à sensação instrumental que é em parte responsável pelo esmorecimento da prática dentro da disciplina. Ou seja, se a lista de itens for cumprida, se alcançará a característica “edifício fotovoltaico”, como um apetrecho plugado ao edifício e totalmente alheio. Dessa experiência, concluí que era necessário revisar com cuidado as diferentes escalas de complexidade de sistemas fotovoltaicos e da escala solar à atômica, inferir significado também ao pensamento arquitetônico.

Do contrário, uma lista é apenas um amontoado de termos técnicos sem evidência semântica, ou seja, que não tem clareza.

Com isso estabelecido, desenvolvi 30 cartas a partir dos cinco estudos de caso e das seis escalas abordadas na primeira parte da dissertação. Assim, de cada estudo de caso, extraí um fundamento específico a cada escala, mostrando sua relação direta com a arquitetura. Nos apêndices deste trabalho (apêndice 2), estão as cartas e instruções de uso, podendo destacá-las para jogar com seus colegas de trabalho ou universidade. Também é possível imprimir o *template* para criar novas cartas e adicioná-las ao seu baralho (apêndice 3).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral dessa pesquisa foi identificar fundamentos nos projetos arquitetônicos de edifícios fotovoltaicos, com foco nas fases iniciais de projeto - em inglês *early design phase*, definido por Nault et al. (2015) como parâmetros específicos aplicados durante as primeiras escolhas, onde muitas decisões devem ser tomadas. E, como objetivos específicos, a pesquisa propôs: caracterizar os dados coletados em entrevistas semiestruturadas e pesquisa documental sobre múltiplos estudos de caso (edifícios fotovoltaicos); sintetizá-los por meio de representação gráfica de síntese e produzir um relatório final que sirva como ferramenta de apoio ao processo de projeto arquitetônico, por meio de cartas método: ou seja, um baralho de cartas para promover *insights* nas primeiras decisões de projeto. Tais objetivos estão pautados em três pressupostos: que a produção de energia elétrica integrada à arquitetura é essencial para a difusão da tecnologia e para o melhor desempenho em edifícios, que

arquitetos desconhecem as possibilidades de integração e que energia é também variável do projeto arquitetônico.

Sobre os dois primeiros, os comprovei por meio de fundamentação teórica, além de entrevistas semiestruturadas e pesquisa documental, portanto, pressupostos verdadeiros. Vale ressaltar que ambos foram mencionados por todos os entrevistados e que cumprem parte dos objetivos específicos estabelecidos: “os arquitetos deveriam ser mais abertos para a adoção de diferentes tecnologias. Tal pensamento deveria se perpetuar em todas as etapas do design e não apenas aplicado posteriormente ao edifício finalizado. Mas, infelizmente, ainda não é muito difundido” (WALKER, 2019). Relativo ao terceiro pressuposto, intimamente relacionado à determinação do problema de pesquisa “*na concepção de edifícios fotovoltaicos, quais fundamentos suportam uma integração holística à arquitetura?*”, busquei dissecá-lo no decorrer de todo trabalho, principalmente por meio dos múltiplos estudos de caso, contemplando entrevistas-semi estruturadas, pesquisa documental e, também, representação gráfica de síntese. Deste pressuposto, provado verdadeiro, outras conclusões vêm à tona. Primeiro, concluo que sistemas fotovoltaicos como um resultado apenas da densidade de potência (kWp/m^2) é um parâmetro que causa dissonância entre produção de energia e qualidade arquitetônica. O que implica, conseqüentemente, na não adoção das medidas.

Segundo, a prova de seu sucesso, ou seja, integração fotovoltaica de valor agregado, está na moderação. Na moderação está a capacidade dinâmica de incorporar conteúdos aparentemente antagônicos, promovendo um horizonte de possibilidades. O que não deixa de ser um paradigma. Um exemplo desta relação é, em programas arquitetônicos em que a luz natural é essencial, uma área relevante da fachada será destinada

às subtrações das janelas, deixando-as livres de módulos fotovoltaicos no caso de integração em nível de fachada - ou seja, em detrimento a densidade de potência. Concluo que nesta coexistência entre superfície produtora de energia e janelas, por exemplo, está a integração holística à arquitetura e deste raciocínio surgem os fundamentos apontados nas cartas método: sem limitação geográfica, superfícies envidraçadas, amplitude de 90°, manutenção mecânica, módulos leves filme fino, biblioteca de materiais, zona portuária, escola, ângulo 4°, montantes reforçados, acabamento opaco e colorido, dados para fins didáticos, topografia e vegetação, edifício de escritórios, janelas inclinadas, substituição de peças, cavidade de ventilação, usos sincrônicos, contexto rural, edifício de apartamentos, fachada e telhado, montantes colados, autossuficiência, centro de exposições, zonas limítrofes, casa unifamiliar, ângulo 45°, plug and play, módulos monocristalinos e cultura alpina.

Também, a prova de sucesso está na aparente ausência de esforço. Em outras palavras, quando o módulo fotovoltaico é interpretado como material construtivo, como meio de expressão do edifício, suas causas tornam-se quase invisíveis: o fato de produzir energia não será a justificativa de sua existência, mas a construção como um todo. Tal reação é demonstrada nos comentários dos entrevistados: “o edifício provoca curiosidade e estímulo. Muitas pessoas desejam tocar no material, já que é algo desconhecido, não acreditam ser um módulo fotovoltaico” (WEISSBACH, 2019). Ou também: “hoje eu gosto mais deste lado do telhado, do que do outro lado. Tem um resultado elegante” (BADER, 2019) e “o resultado é muito positivo, já que em nenhum momento perde-se o conforto e beleza nos apartamentos, o que causa surpresa” (SCHMID, 2019). A curiosidade, elegância e conforto são frutos da manipulação arquitetônica e também um meio de coexistência. Logo, concluo que a

integração fotovoltaica é um caminho bastante abrangente para alcançar bons resultados: inclusive considerando energia em todas as formas e escalas de abordagem - o que não torna as construções datadas pela tecnologia.

Desses resultados, desenvolvi o último objetivo específico da dissertação: produzir um relatório final que sirva como ferramenta de apoio ao processo de projeto arquitetônico, por meio de cartas método. Isso para encorajar a experimentação e o debate. Concluo que as 30 cartas geradas têm fundamentos que não precisam ser limitados a este número. São estruturas passíveis de replicação e multiplicação de resultados, já que, se analisados apenas os cinco estudos de caso, surgirão variada gama de possibilidades. Portanto, mais do que exauri-las, concluo que o relatório na verdade é apoio ao desenvolvimento.

Faço um último comentário. Sobre a possibilidade de aplicação dos fundamentos no contexto brasileiro, existem algumas ressalvas. Se comparados os mercados alemão e suíço, localização geográfica dos estudos de caso ou empresas fabricantes, as construções apresentam soluções distintas principalmente no que diz respeito ao acabamento: na Alemanha comumente encontramos materialidade vítrea e de acabamento brilhante, enquanto na Suíça a variedade de cores, acabamento opaco e texturas estão mais inseridos. Também, no mercado suíço, a legislação determina que os módulos devam ser vendidos sem moldura metálica, apenas como uma peça totalmente em vidro - a exemplo da solução de telhado desenvolvida pela empresa 3S Solar Plus. Em contrapartida, no mercado alemão, tais características não estão presentes. Portanto, concluo que diferenças sempre existirão e que a legislação será um fator importante no tipo de integração. Mais ainda, assim como na arquitetura, as condições climáticas, materiais disponíveis,

além de condições políticas e sociais, influenciam diretamente naquilo que será construído - abolindo assim a busca por um “estilo internacional”. Se entre Suíça e Alemanha, países fronteiriços, existem diferenças substanciais, não há dúvida que o mercado brasileiro se desenvolverá à sua maneira.

6.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como último comentário, enxergo duas importantes lacunas de pesquisa. O entendimento de que, para evoluir neste sentido, as decisões na arquitetura precisam estar também pautadas em dados. Informações que forneçam comparativos, como mencionado por Walker, para permitir decisões mais eficientes e criativas. A segunda lacuna encontrada é que, no contexto brasileiro, entender o módulo fotovoltaico como um material construtivo, relacionado a um pensamento energético mais abrangente, ainda está bastante distante. Por exemplo, na Europa estão em desenvolvimento normas técnicas e laboratórios para testar as demandas, muitas vezes conflitantes, de uma peça que simultaneamente produz energia e separa o ambiente externo e interno de um edifício. As mudanças de temperatura, solicitações mecânicas, manutenção, fixação, entre outros, precisam ser testados e comprovados dentro de um espectro de parâmetros, também da construção civil. Mais ainda, como mencionado, a legislação da Alemanha exige certo desempenho energético de edifícios, normativa também inexistente em território nacional.

Recomendo também a experimentação das cartas método, efetivamente aplicadas em uma turma de alunos. Tal ferramenta precisa

ser, além de testada, aprofundada em um número maior de cartas em estudos futuros. Além de experimentações no que diz respeito à legibilidade da carta, *layout*, formato e material.

REFERÊNCIAS (ABNT)

A

ARCHITECTURE & BUILDING SYSTEMS. Soft robotics building envelope.

Disponível em: <https://vimeo.com/315951104>. Acesso em 30 jul 2020.

ACHIMMENGES. HygroScope: Meteorosensitive Morphology. Disponível em: <http://www.achimmenges.net/?p=5083>. Acesso em: 06 jul 2020.

ARCHDAILY, Copenhagen International School Nordhavn / C.F. Møller-
Disponível em: <https://www.archdaily.com/879152/copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller>. Acesso em: 16 jul 2020.

ARCHDAILY. New-Blauhaus / kadawittfeldarchitektur. Disponível em: <https://www.archdaily.com/779991/new-blauhaus-kadawittfeldarchitektur>. Acesso em: 10 ago 2020.

B

BALLENBERG. Architectural And Socio-historical Testimony. Disponível em: <https://www.ballenberg.ch/en/themes/house-styles>. Acesso em: 05 ago 2020.

BAUTISTA, S. A sustainable scenario for Venezuelan power generation sector in 2050 and its costs. *Energy Policy*, 44, p. 331–340, 2012.

BADER, Sascha. Edifício Schneller Bader. Tamins, 27 nov 2019. Informação verbal.

BEARTH-DEPLAZES. House Schneller Bader Tamins. Disponível em: <https://bearth-deplazes.ch/en/projects/house-schneller-bader-tamins/>. Acesso em: 30 jul 2020.

BIENNALE CHANNEL. Biennale Architettura 2016 - Alejandro Aravena explains 'Reporting From the Front'. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=aHpS8uFTleE&list=PL2J3c5AtY5K_lySr924xDz7SWm5kmj7K_&index=1. Acesso em: 17 mai 2020.

BLOCK RESEARCH GROUP. NEST HiLo Roof Prototype Zurich. Disponível em: <https://vimeo.com/234883130>. Acesso em: 03 jun 2020.

BLOCK RESEARCH GROUP. KnitCandela: A flexibly formed, thin concrete shell at MUAC, Mexico City. Disponível em: <https://vimeo.com/297258002>. Acesso em: 03 jun 2020.

BOOKWALTER, G. The next Money crop for farmers: Solar panels. *The Washington Post*, Washington, 22 fev 2019. Disponível em: https://www.washingtonpost.com/business/economy/the-next-money-crop-for-farmers-solar-panels/2019/02/22/2cf99e8c-3601-11e9-854a-7a14d7fec96a_story.html. Acesso em: 20 mar 2020.

BRANCO, Fernando; PAULO, Pedro; GARRIDO, Mário. Vida Útil na Construção Civil. Mérida: ALCONPAT Brasil - Associação Brasileira de Patologia das Construções. Vida útil na construção civil, 2013.

BRASIL. Resolução normativa ANEEL. nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 fev 2020.

BRASIL. Resolução normativa ANEEL. nº 687, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em 9 dez 2020.

BUONASSISI, Tonio. 2.627 Fundamentals of Photovoltaics. Fall 2013. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare, <https://ocw.mit.edu>. License: Creative Commons BY-NC-SA.

C

CASEY, N. Venezuela Was Crumbling. A Blackout Tipped Parts of It Into Anarchy. The New York Times, New York, 15 mar 2019. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2019/03/15/world/americas/venezuela-blackout-maracaibo.html>. Acesso em: 10 mar 2020.

CERÓN, I.; CAAMAÑO-MARTÍN, E.; NEILA, F. 'State-of-the-art' of building integrated photovoltaic products. Renewable Energy, 58, p. 127-133, 2013.

CITIZENS FOR RESPONSIBLE SOLAR. From our members. Disponível em: <https://citizensforresponsiblesolar.org/>. Acesso em: 15 jan 2020.

C.F. MØLLER ARCHITECTS. Copenhagen International School - Nordhavn. Disponível em: <https://www.cfmoller.com/p/Copenhagen-International-School-Nordhavn-i2956.html>. Acesso em: 16 jul 2020.

C.F. MØLLER ARCHITECTS. Bellerivestrasse 36 Zürich. Disponível em: <https://www.cfmoller.com/p/Bellerivestrasse-36-Zurich-i3572.html>. Acesso em: 29 jul 2020.

C.F. MØLLER ARCHITECTS. Kajstaden Tall Timber Building. Disponível em: <https://www.cfmoller.com/p/Kajstaden-Tall-Timber-Building-i3592.html>. Acesso em: 29 jul 2020.

C.F. MØLLER ARCHITECTS. The German Ministry for the Environment - BMU. Disponível em: <https://www.cfmoller.com/p/The-German-Ministry-for-the-Environment-BMU-i3585.html>. Acesso em: 29 jul 2020.

COLLETI, M.; MASSIN, P. Meeting nature halfway: architecture interfaced between technology and environment. Trentino: Innsbruck University Press, 2018.

COTTER, J. E. RaySim 6.0 - A free geometrical ray tracing program for silicon solar cells. In: Proceedings of the Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference; p. 1165-1168, 2005.

COSTA, Melina. Alemanha: o país em que a energia solar vingou até demais. O Estado de S. Paulo, São Paulo, 29 set 2014. Disponível em: <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,alemanha-o-pais-em-que-a-energia-solar-vingou-ate-demais-imp-,1567777>. Acesso em: 10 fev 2020.

COPEL. Geração distribuída para constituição de microrredes. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcweb/microrredes/>. Acesso em: 27 jan 2021.

COBE ARCHITECTS. Orientkaj and Nordhavn Metro Stations. Disponível em: <https://www.cobe.dk/place/nordhavn-metro>. Acesso em: 16 jul 2020.

D

DIAS, Sofia; SILVEIRA, Flávia; SCHMID, Aloísio. Building integrated photovoltaics (BIPV): system application guidelines and albedo aspects. In: Proceedings of the Lens World Distributed Conference, 2019, Curitiba. Milano: Edizioni Poli. Design, 2019. v. 1. p. 1084-1088, 2019.

DHERE, N. G., CRUZ, L.R., LOBO, P.C., BRANDO, J.R.T., RUTHER, R., LIMA, J.H.G., ZANESCO, I. History of solar energy research in Brazil. In: Proceedings of the ISES 2005 solar world congress, Orlando, p. 1-4, 2005.

E

EAMES OFFICE. Powers Of Ten And The Relative Size Of Things In The Universe. Disponível em: <https://www.eamesoffice.com/the-work/powers-of-ten/>. Acesso em: 02 ago 2020.

EAMES OFFICE. Powers of Ten™ (1977). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0fKBhvDjuy0&t=69s>. Acesso em: 02 ago 2020.

EINSTEIN, A. Heuristic point of view concerning the production and transformation of light. Physik, 17, p. 132-148, 1905. Disponível em:

<https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/100>. Acesso em: 10 jan 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2020: Relatório Síntese/Ano Base 2019. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2020.

ETHZ. 3for2 Beyond Efficiency. Disponível em:

<https://systems.arch.ethz.ch/research/synergistic-buildings/3for2-beyond-efficiency.html>. Acesso em: 15 jul 2020.

ETHZ. NEW Monte Rosa HUT SAC: Self-sufficient building in the high Alps. Zurique: ETH Zurich (ed.), 2010.

F

FERREIRA, A.; KUNH, S; FAGNANI, K; SOUZA, T; TONEZER, C.; SANTOS, G.; COIMBRA-ARAÚJO, C. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, p. 181-191, 2018.

FERREIRA, Frederico R. A ameaça do terrorismo tecnológico. *Le Monde Diplomatique Brasil*, São Paulo, 25 mar 2019. Disponível em: <https://diplomatie.org.br/a-ameaca-do-terrorismo-tecnologico/>. Acesso em 10 fev 2020.

FILMPLUSDK. CIS - Copenhagen International School - history of our new campus in Nordhavn. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DaHwaOAKtzk>. Acesso em: 16 jul 2020.

FRONTINI, F., FRIESEN, T., VON BALLMOOS, C., DI GREGORIO, S. Palazzo Positivo: renovation of a residential building in Switzerland with BIPV facades. In: 29th European PVSEC, Amsterdam, 2014.

G

GAISMA. Mönchengladbach. Disponível em:

<https://www.gaisma.com/en/location/monchengladbach.html>. Acesso em: 12 ago 2020.

GAISMA. Zurich. Disponível em:

<https://www.gaisma.com/en/location/zurich.html>. Acesso em: 12 ago 2020.

GAISMA. Curitiba. Disponível em:

<https://www.gaisma.com/en/location/curitiba.html>. Acesso em 5 jun 2020.

GAISMA. Copenhagen. Disponível em:

<https://www.gaisma.com/en/location/kobenhavn.html>. Acesso em: 01 ago 2020.

GAISMA. Chur. Disponível em:

<https://www.gaisma.com/en/location/chur.html>. Acesso em: 12 ago 2020.

GLOBAL SOLAR ATLAS. Curitiba. Disponível em:

<https://globalsolaratlas.info/detail?c=-25.429633,-49.270935,11&s=-25.4296,-49.2712&m=site&pv=small,0,25,1>. Acesso em: 14 jul 2020.

GMP. Berlin central station. Disponível em:

<https://www.gmp.de/en/projekte/463/berlin-central-station>. Acesso em: 10 mai 2020.

GOOGLE EARTH-MAPAS. Copenhagen International School. Disponível em:

<https://earth.google.com/web/search/copenhagen+international+school/@55.7122968,12.5974456,22.10620352a,564.04464375d,35y,0h,45t,0r/data=CooBGmASWgolMHg0NjUyNGQ5M2JkYzEzZTgzOjB4OGJjZmViMDg2ZWlzMdU1NhnRhaKkLNtLQCE3R8Jj5DEpQCoFY29wZW5oYWdlbiBpbnRlcm5hdGlvbmFsIHNaG9vbBgCIAEiJgokCULMQNAbQzrAEb0ssgyMRTrAGbYlcFmopEjAIU-SFsvAp0jAKAI>. Acesso em: 14 jul 2020.

GOOGLE EARTH-MAPAS. New-Blauhaus. Disponível em:

<https://earth.google.com/web/search/NEW-Blauhaus,+Richard-Wagner-Stra%c3%9fe,+M%c3%b6nchengladbach,+Alemanha/@51.1785655,6.4418008,63.69519882a,632.71555625d,35y,0h,45t,0r/data=CqwBGoEBEnsKJTB4NDdiOGFjYjBjZTU5M2Q0OToweDE1OWRkMTJlOTFmOTZmNWMZ0Vj7O9uWSUAh9GLNbWfEGUAqQE5FVy1CbGFlaGF1cywgUmljaGFyZC1XYWduZXItU3RyYcOfZSwgTcO2bmNoZW5nbGFkYmFjaCwgQWxlbnRlbnRlcm5hdGlvbmFsIHNaG9vbBgCIAEiJgokCULMQNAbQzrAEb0ssgyMRTrAGbYlcFmopEjAIU-SFsvAp0jAKAI>. Acesso em: 14 jul 2020.

GOOGLE EARTH-MAPAS. Multi-family house in brutton. Disponível em:

<https://earth.google.com/web/search/Br%c3%bctten,+Su%c3%ad%c3%a7a/@47.47490766,8.68139862,618.60526815a,237.88535384d,35y,60.56397777h,44.52787073t,0r/data=CnwaUhJMCiUweDQ3OWE5OTJhMmY2MzY5N2Q6MHg3YmlwZGU5YTc2N2FjNjQxGfg8NU2OvEdAIZspYzILWYFAKhFCcsO8dH>

[RlbiwgU3XDrcOnYRgBIAEiJgokCUHDCIHel0IAERS5e0VrIkIAGd7jNFmmyhlAlayJf4vIthIA](https://www.google.com/maps/@47.424439,8.3665811,401.31930753a,687.09944264d,35y,0h,45t,0r/data=CncaTRJHCiUweDQ3OTAwZDdjMjUxMjQ0MGQ6MHg5YTIwZWlzMjE1NmZDEzGc8SZARUtkdAldWpl4SwuyBAKgx1bXdlbHQgYXJlbnEYAiABliYKJAIDsB--O75HQBH_tcwn3LtHQBkn8YyDn2YhQCGZBYk8UlohQCgC). Acesso em: 14 jul 2020.

GOOGLE EARTH-MAPAS. Umwelt Arena. Disponível em:

https://earth.google.com/web/search/umwelt+arena/@47.424439,8.3665811,401.31930753a,687.09944264d,35y,0h,45t,0r/data=CncaTRJHCiUweDQ3OTAwZDdjMjUxMjQ0MGQ6MHg5YTIwZWlzMjE1NmZDEzGc8SZARUtkdAldWpl4SwuyBAKgx1bXdlbHQgYXJlbnEYAiABliYKJAIDsB--O75HQBH_tcwn3LtHQBkn8YyDn2YhQCGZBYk8UlohQCgC. Acesso em 14 jul 2020.

GOOGLE EARTH-MAPAS. Tamins. Disponível em:

<https://earth.google.com/web/search/tamins/@46.82894394,9.40462485,65.9.7269995a,129.97921235d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCfR1pzwmuEdAEU-JAig4tUdAGUR5XTv8xSBAIShHvA5ZuiBA>. Acesso em: 14 jul 2020.

GROENEWOLT, Abel; BAKKER, Jack; HOFER, Johannes; NAGY, Zoltan; SCHLUTER, Arno. Methods for modelling and analysis of bendable photovoltaic. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 7, p. 261-271, 2016.

H

HENRY, C.H. Limiting efficiencies of ideal single and multiple energy gap terrestrial solar cells. *Journal of Applied Physics*, 51, p. 4494–4500, 1980.

HOLGATE, Alan. *The Art of Structural Engineering: The Work of Jörg Schlaich and His Team*. Stuttgart: Axel Menges, 1997.

HOFER, Johannes; NAGY, Zoltan; SCHLUETER, Arno. Electrical design and layout optimization of flexible thin-film photovoltaic modules. In: Proceedings of the 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; p. 2481-2485, 2016.

HYBRID BOX. Vom Wärmeezeuger zu innovativen Energiezentrale. Disponível em: <https://www.hybridbox.com/>. Acesso em: 07 ago 2020.

I

IBERDROLA. Núñez de Balboa, nosso primeiro macroprojeto fotovoltaico na Espanha. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/linhas-negocio/projetos-emblematicos/usina-fotovoltaica-nunez-de-balboa>. Acesso em: 05 fev 2020.

IDEO. Method cards. Disponível em: <https://www.ideo.com/post/method-cards>. Acesso em: 14 ago 2020.

J

JAYATHISSA, P. Design and Assessment of Adaptive Photovoltaic Envelopes. 2017. Tese (Doutorado em Ciências) – Setor de Arquitetura e Sistemas em Edifícios, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zurique, Suíça, 2017.

JOULIA. Joulia-Inline - EN. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8K3hvYLQVT0>. Acesso em: 09 ago 2020.

K

KADAWITTFELDARCHITEKTUR. Solar Flex Plus - What you get is what you see! Disponível em: <https://www.kadawittfeldarchitektur.de/projekt/new-blauhaus/>. Acesso em: 10 ago 2020.

KADA, Kilian. Edifício New-Blauhaus. Aachen, 12 nov 2019. Informação verbal.

L

LADNER, Daniel. Edifício Schneller Bader. Tamins, 27 nov 2019. Informação verbal.

LE CORBUSIER. A viagem do oriente, 1910-1911. São Paulo: Cosac & Naify, 2007.

LEGISLATING ARCHITECTURE. Direção: Christopher Roth, Arno Brandlhuber. Venice Biennale: 2016. Vimeo. Disponível em: <https://vimeo.com/ondemand/legislatingarchitecture>. Acesso em: 04 jun 2020.

LOOS, Adolf. Regeln für den, der in den Bergen baut. In Opel A (ed.), Adolf Loos: Über Architektur. Ausgewählte Schriften. Die Originaltexte. Georg Prachner Verlag, p. 121–122, 1995.

LYDON, G.P.; HOFER, J.; SVETOZAREVIC, B.; NAGY, Z.; SCHLUETER, A. Coupling energy systems with lightweight structures for a net plus energy building. Applied Energy, 189, p. 310–326, 2017.

M

MADRAZO, Félix; RIVERO, Manuel; ZOLKWER, Max. LA COLLECTIVE, Latin America parallel history as occident's laboratory backlash. Volume: The Block, v. 21, 2010. Disponível em:

https://www.academia.edu/21297429/L.A._Collective._Latin_America_parallel_history_as_occident_s_laboratory_backlash._Supplement_to_VOLUME_21_The_Block. Acesso em: 10 jan. 2020.

MAAS, Winy; RAVON, Adrien. Porocity: Opening up Solidity. Delft: Nai010 Publishers, 2019.

MCEVOY, Augustin; MARKVART, Tom; CASTAŁŻER, Luis. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. Academic Press, 2011.

MIT OPEN COURSE WARE. Fundamentals of photovoltaics. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LOVZE9WalRE&list=PL-3GtLSvWx247jMnnp9XWN3dImpXPqO5P>. Acesso em: 09 jan 2020.

MOBY DICK. Direção de John Huston. Moulin Productions, 1956. 1 DVD (116 min).

MOUSSAVI, Farshid; KUBO, Michael. The function of ornament. ACTAR, Harvard Graduate School of Design, 2008.

N

NATIONAL GALLERY OF VICTORIA. Universal Exposition, Paris. The sweet girls of Switzerland, merry times in the Swiss village, stereograph.

Disponível em: <https://www.ngv.vic.gov.au/explore/collection/work/105334/>.

Acesso em: 01 ago 2020.

NASA EARTH OBSERVATORY. The Largest Solar Power Plant in Europe (For Now). Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146374/the-largest-solar-power-plant-in-europe-for-now>. Acesso em: 05 jan 2020.

NASA EARTH OBSERVATORY. Earth's energy budget. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page4.php>.

Acesso em: 10 jan 2020.

NAULT, Emilie; PERONATO, Giuseppe; REY, Emmanuel; ANDERSEN, Marilyne. Review and critical analysis of early-design phase evaluation metrics for the solar potential of neighborhood designs. *Building and Environment*, 92, p. 679-691, 2015.

NEW-ENERGIE. Serviços. Disponível em: <https://www.new-energie.de/>.

Acesso em: 09 ago 2020.

NEST UMAR, Jules Wabbes Door Levers. Disponível em: <http://nest-umar.net/portfolio/jules-wabbes-door-leaver/>. Acesso em 08 jul 2020.

NIR, Sarah M. He Set Up a Big Solar Farm. His Neighbors Hated It. *The New York Times*, New York, 18 mar 2020. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2020/03/18/nyregion/solar-energy-farms-ny.html>.

Acesso em: 10 fev 2020.

O

OFFICE FOR METROPOLITAN ARCHITECTURE (OMA, AMO). Ceiling cavity. Veneza: Bienal de Arquitetura de Veneza, 2014.

OSSEWEIJER, Floor; HURK, Linda; TEUNISSEN, Erik. A comparative review of building integrated photovoltaics ecosystems in selected European countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90(3), p. 1027–1040, 2018.

OSCAR, Naiana. O sol torrou todo o meu patrimônio. *O Estado de S. Paulo*, São Paulo, 29 set 2014. Disponível em:

<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,o-sol-torrou-todo-o-meu-patrimonio-imp-,1567778>. Acesso em: 10 fev 2020.

P

PELKEY-LANDES, C. Learn, look, ask, try: IDEO method cards turn 7.

Disponível em: <https://www.fastcompany.com/1300369/learn-look-ask-try-ideo-method-cards-turn-7>. Acesso em: 14 ago 2020.

PIETROSEMOLI, L.; RODRÍGUEZ-MONROY, C. The Venezuelan energy crisis: Renewable energies in the transition towards sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, p. 415–426, 2019.

PFANNER, Norbert. Pesquisas sobre integração fotovoltaica na arquitetura, feitas pelo instituto Fraunhofer. Freiburg, 21 nov 2019. Informação verbal.

PRECHT. The farmhouse. Disponível em: <https://www.precht.at/the-farmhouse/>. Acesso em: 10 ago 2020.

PV CYCLE. About PV cycle. Disponível em:

<http://www.pvcycle.org/organisation/about/>. Acesso em: 29 jun 2020.

PVEDUCATION. Disponível em: <https://www.pveducation.org/>. Acesso em: 01 jan 2020.

R

RAMOS, R. J. G. Ler a viagem como passagem para o projeto: a lição da casa Turca em Le Corbusier. Porto: FAUP, 2012. E-book. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/53846>. Acesso em: 01 ago 2020.

RAUGEI, Raugei; FRANKL, Paolo. Life cycle impacts and costs of photovoltaic systems: Current state of the art and future outlooks. Energy, 34, p. 392-399, 2009.

RENZO PIANO BUILDING WORKSHOP. Potsdamer Platz. Disponível em: <http://www.rpbw.com/project/potsdamer-platz>. Acesso em: 28 jul 2020.

RENÉ SCHMID ARCHITEKTEN. Mehrfamilienhaus Mit Energiezukunft, Zwirnerstrasse, Zürich, 2017. Disponível em: <https://reneschmid.ch/projekte/mehrfamilienhaeuser/detail/mehrfamilienhaus-mit-energiezukunft>. Acesso em: 07 ago 2020.

RICHTER, Nicole. Edifício New-Blauhaus. Aachen, 12 nov 2019. Informação verbal.

ROJAS, Esteban. Apagão aumenta dolarização da economia venezuelana. Folha de São Paulo, São Paulo, 13 mar 2019.

ROMAN, Lucimara S. Matriz CSD, certezas, suposições e dúvidas sobre a integração fotovoltaica na arquitetura. Curitiba, 30 set 2019. Informação verbal.

S

SANTOS, A. Seleção do método de pesquisa: guia para pós-graduandos em design e áreas afins. Curitiba: Insight, 2018.

SANTOS, Ísis Portolan. Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 278p., 2013.

SCOGNAMIGLIO, Alessandra; RØSTVIK, Harald. Photovoltaics and zero energy buildings: a new opportunity and challenge for design. European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition - 27th EU PVSEC, 27, 2012, Frankfurt.

SCOGNAMIGLIO, Alessandra. 'Photovoltaic landscapes': Design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 55, p. 629–661, 2016.

SCOGNAMIGLIO, A; PRIVATO; C. Starting points for a new cultural vision of BIPV. In: Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference; p. 3222–33, 2008.

SCHELBERT, Leo. Historical Dictionary of Switzerland. Toronto: The Scarecrow Press, 2007.

SCHLUETER, A; RYSANEK, A.; MILLER, C.; PANTELIC, J.; MEGGERS, F.; MAST, M.; BRUELISAUER, M; WEE, C. 3for2: Realizing Spatial, Material, and Energy Savings through Integrated Design. CTBUH Research Paper, v.2, p. 40-45, 2016.

SCHMID, Aloísio. A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SCHMID, Aloísio L. Matriz CSD, certezas, suposições e dúvidas sobre a integração fotovoltaica na arquitetura. Curitiba, 03 out 2019. Informação verbal.

SCHMID, René. Edifício Multi-family house in Brütten. Zurique, 25 nov 2019. Informação verbal.

SCHNELLER, Georgina. Edifício Schneller Bader. Tamins, 27 nov 2019. Informação verbal.

SCHUYTEN, Peter J. Despite problems, solar cell advances. The New York Times, New York, 11 dec 1979.

SILVA, José M. Matriz CSD, certezas, suposições e dúvidas sobre a integração fotovoltaica na arquitetura. Curitiba, 22 out 2019. Informação verbal.

SLAOUI, A. Inorganic materials for photovoltaics: Status and futures challenges. In: Proceedings EPJ Web of Conferences 148; p. 1-18, 2017.

SOBEK, Werner; HEINLEIN, Frank. Recyclable. Stuttgart: Avedition, 2019.

SOLAR ARCHITECTURE. Schneller Bader House. Disponível em: <https://solarchitecture.ch/house-schneller-bader/>. Acesso em 30 jul 2020.

SOLAR ARCHITECTURE. Umwelt Arena. Disponível em: <https://solarchitecture.ch/timeline/umwelt-arena/>. Acesso em: 07 ago 2020.

SOLAR ARCHITECTURE. Multi-family house in brutten. Disponível em: <https://solarchitecture.ch/timeline/multi-family-house-in-brutten/>. Acesso em: 07 ago 2020.

STULL, Roland B. Meteorology for Scientists and Engineers. 2nd. edition, Brooks/Cole, 2000

SWISSINSO. COPENHAGEN INTERNATIONAL SCHOOL. Disponível em: <https://www.swissinso.com/cis>. Acesso em: 21 jul 2020.

SWISSINSO. Kromatix. Disponível em: <https://www.swissinso.com/technology>. Acesso em: 22 jul 2020.

SWISS FEDERAL STATISTICAL OFFICE. Regional portraits and key figures: Portraits of the communes. Disponível em: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home/statistics/regional->

statistics/regional-portraits-key-figures/communes/portraits-communes.html. Acesso em: 30 jul 2020.

SWI SWISSINFO.CH - ENGLISH. The house that provides its own energy. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BXVMTycVDM0>. Acesso em: 13 ago 2020.

SUNEW. Sobre a Sunew. Disponível em: <https://sunew.com.br/sunew-empresa-de-energia-solar/>. Acesso em: 25 jun 2020.

T

TAUT, Bruno. Alpine Architecture (junto com Paul Scheerbart, Glass Architecture), ed. Dennis Sharp, trans. Shirley Palmer, Praeger Publishers, New York, 1972.

TABAKOVIC, Momir; FECHNER, Hubert; SARK, Wilfried; LOUWEN, Atse; GEORGHIOU, George; MAKRIDES, George; LOUCAIDOU, Eliza; IOANNIDOU, Monica; WEISS, Ingrid; ARANCON, Sofia; BETZ, Stephanie. Status and outlook for building integrated photovoltaics (BIPV) in relation to educational needs in the BIPV sector. Energy Procedia, 111(9), p. 993–999, 2017.

TAVARES, Luís. Peter Zumthor: poiesis. 2019. 344 f. Dissertação (Mestrado em projeto de Arquitetura: Teoria e Métodos) - Setor de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2019. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16138/tde-17102019-151205/publico/MELUISFERNANDOZANGARITAVARES_rev.pdf. Acesso em: 12 jan 2021.

THE WHY FACTORY. PoroCity. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?time_continue=29&v=X-6d6L09yik&feature=emb_logo. Acesso em: 13 ago 2020.

TROLDBORG, M; HESLOP, S; HOUGH, RL. Assessing the sustainability of renewable energy technologies using multi-criteria analysis: Suitability of approach for national-scale assessments and associated uncertainties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 39, p. 1173–1184, 2014.

TURRIN, M., VON BUELOW, P., KILIAN, A. e STOUFFS, R. Performative skins for passive climatic comfort: A parametric design process. *Automation in Construction* 22, 36, 2012.

TV CULTURA. A vida de um pioneiro em energia solar no Brasil. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=EhnjNgyeK-o>. Acesso em: 5 jun 2020.

U

UPONOR. Ceiling heating and cooling: Thermally Active Building Systems (TABS). Disponível em: <https://www.uponor.co.uk/products/ceiling-heating-and-cooling/tabs>. Acesso em: 05 ago 2020.

W

WALKER, L.; CHEVRIER, A.; HISCHIER, I.; SCHLUETER, A. A novel design framework for solar thermal/electrical activation of building envelopes. *Journal of Physics: Conference Series*, 1343, 2019.

WALKER, L.; HOFER, J.; SCHLUETER, A. High-resolution, parametric BIPV and electrical systems modeling and design. Applied energy, 238, p. 164-179, 2019.

WALKER, Linus. Photovoltaics on Buildings – Ugly and Expensive or an Opportunity for Creative Design?. Disponível em: <https://igsmag.com/features/opinion/photovoltaics-on-buildings-ugly-and-expensive-or-an-opportunity-for-creative-design-energy-blog/>. Acesso em: 22 jul 2020.

WALKER, Linus. Adaptive Solar Façade (ASF). Zurique, 25 nov 2019. Informação verbal.

WEATHER SPARK. Condições meteorológicas médias de Curitiba. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29910/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Curitiba-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 14 ago 2020.

WEATHER SPARK. Condições meteorológicas médias em Tamins. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/63421/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Tamins-Su%C3%AD%C3%A7a-durante-o-ano>. Acesso em: 14 ago 2020.

WEATHER SPARK. Condições meteorológicas médias em Copenhagen. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/74001/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Copenhaga-Dinamarca-durante-o-ano>. Acesso em: 14 ago 2020.

WEATHER SPARK. Condições meteorológicas médias em Zurique.

Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/60160/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Zurique-Su%C3%AD%C3%A7a-durante-o-ano>.

Acesso em: 14 ago 2020.

WEATHER SPARK. Condições meteorológicas médias em

Mönchengladbach. Disponível em:

<https://pt.weatherspark.com/y/54720/Clima-caracter%C3%ADstico-em-M%C3%B6nchengladbach-Alemanha-durante-o-ano>. Acesso em: 14 ago

2020.

WEISSBACH, Heiko. Edifício Copenhagen International School. Berlim, 11 nov 2019. Informação verbal.

WOOD, D.; VAILATI, C.; MENGES, A.; RÜGGERBERG, M. Hygroscopically actuated wood elements for weather responsive and self-forming building parts – Facilitating upscaling and complex shape changes. *Construction and Building Materials*, 165, p. 782–791, 2018.

Z

ZANETTI, I.; BONOMO, P.; FRONTINI, F.; SARETTA, E.; DONKER, M. van den; VOSSSEN, F.; FOLKERTS, W (2017). BIPV- Product overview for solar building skins - Status Report. SUPSI-SEAC, 76.

ZAERA-POLO, Alejandro. *Arquitetura em Diálogo*. São Paulo. Ubu, 2016.

ZOMER, Clarissa; NOBRE, André; CASSATELLA, Pablo; REINDL, Thomas; RÜTHER, Ricardo. The balance between aesthetics and performance in

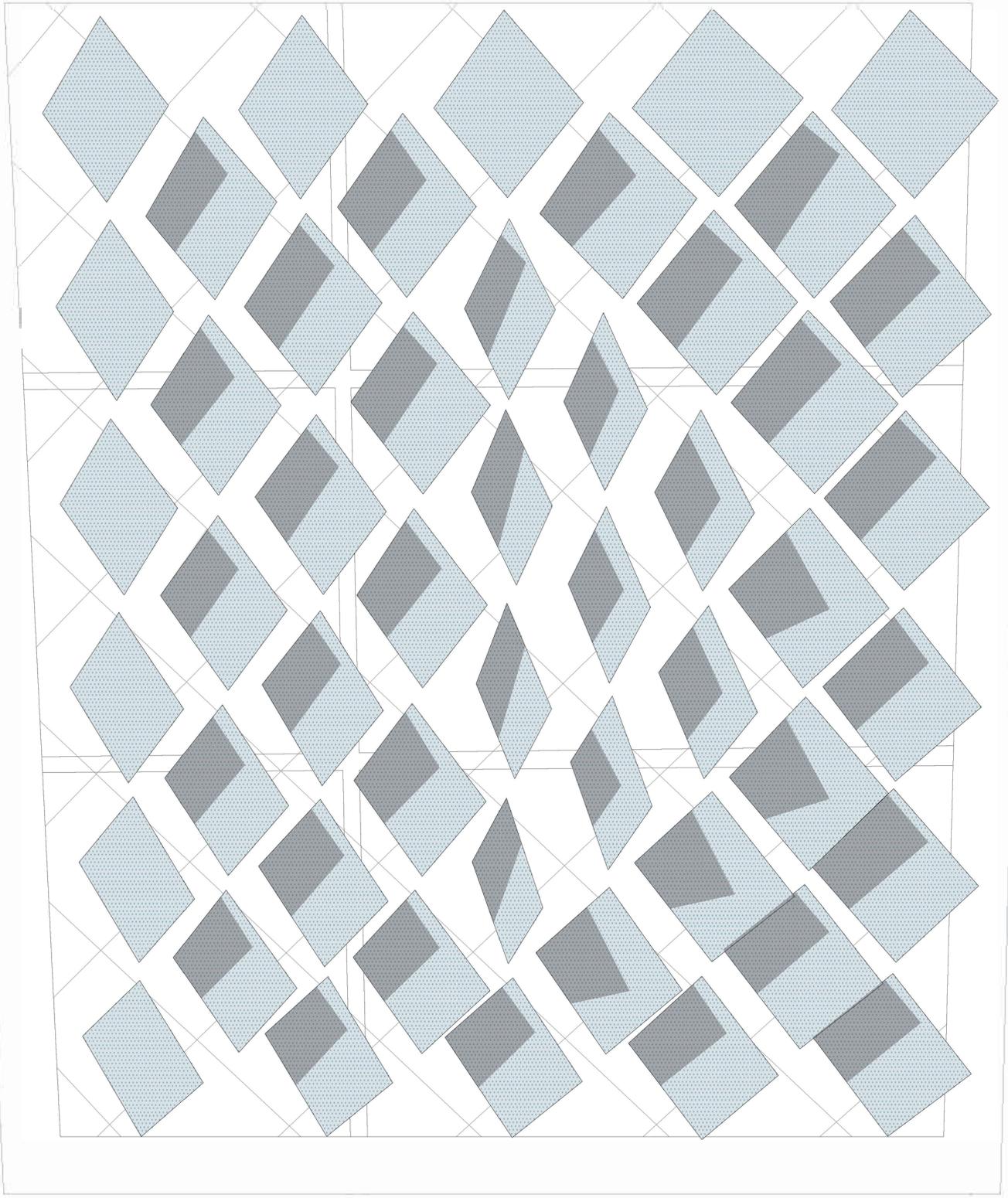
building-integrated photovoltaics in the tropics. European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition - 28th EU PVSEC, 28, 2013, Paris.

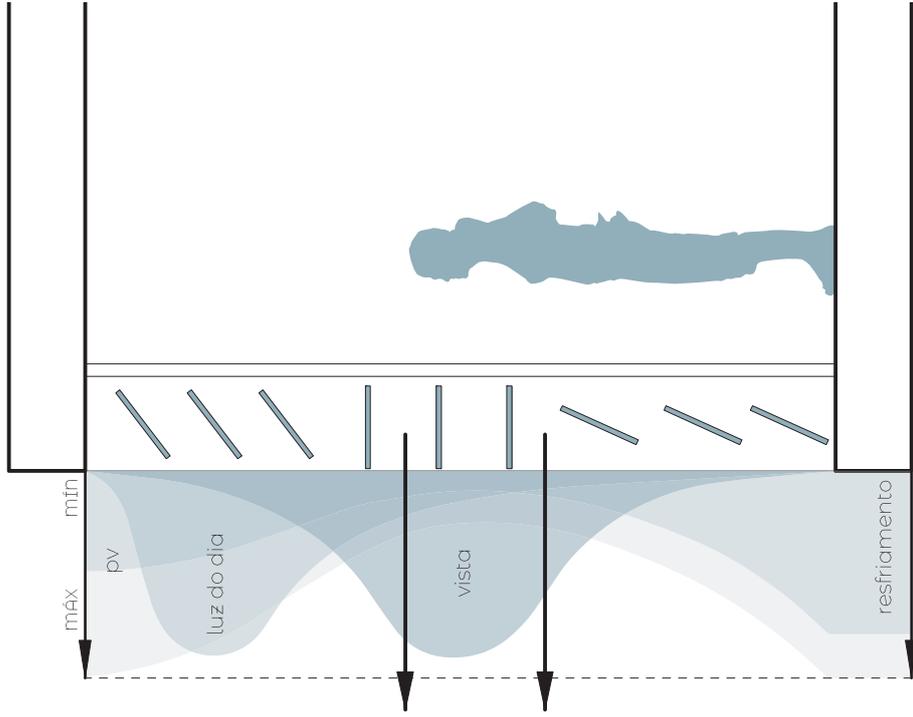
3S SOLAR PLUS AG. MegaSlate CREA. Disponível em: <https://3s-solarplus.ch/produkte/megaslate-crea/>. Acesso em: 30 jul 2020.

APÊNDICE 1 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE SÍNTESE

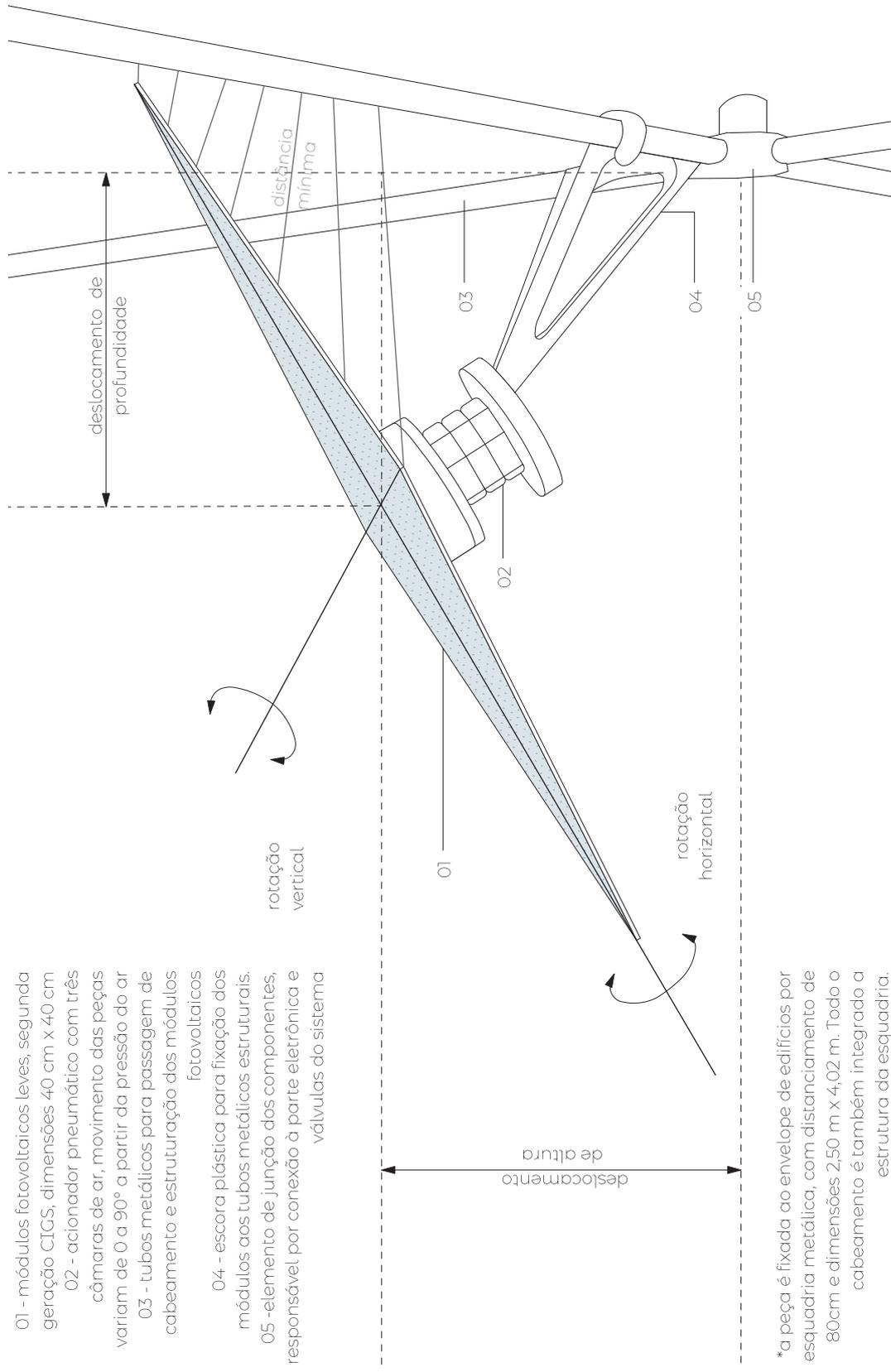
APÊNDICE 2 – CARTAS MÉTODO

APÊNDICE 3 – CARTAS MÉTODO TEMPLATE

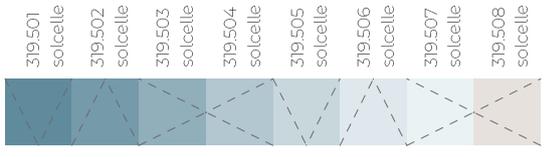
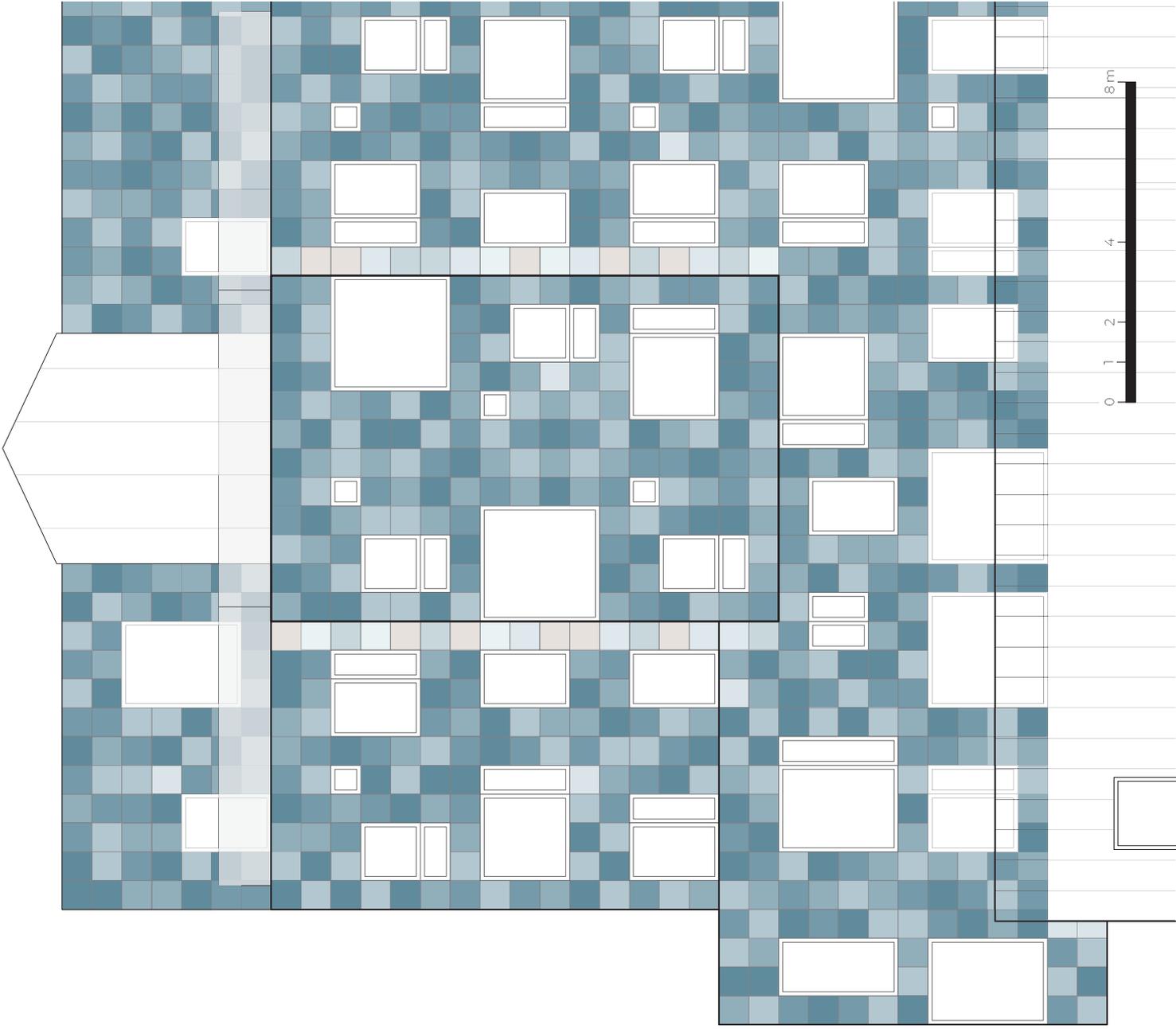


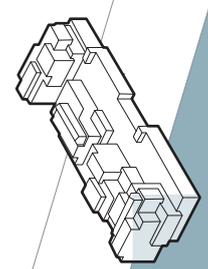
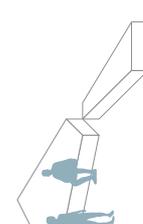
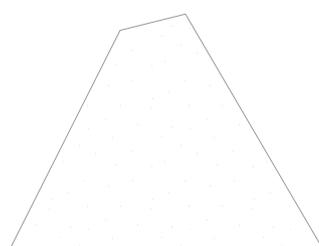
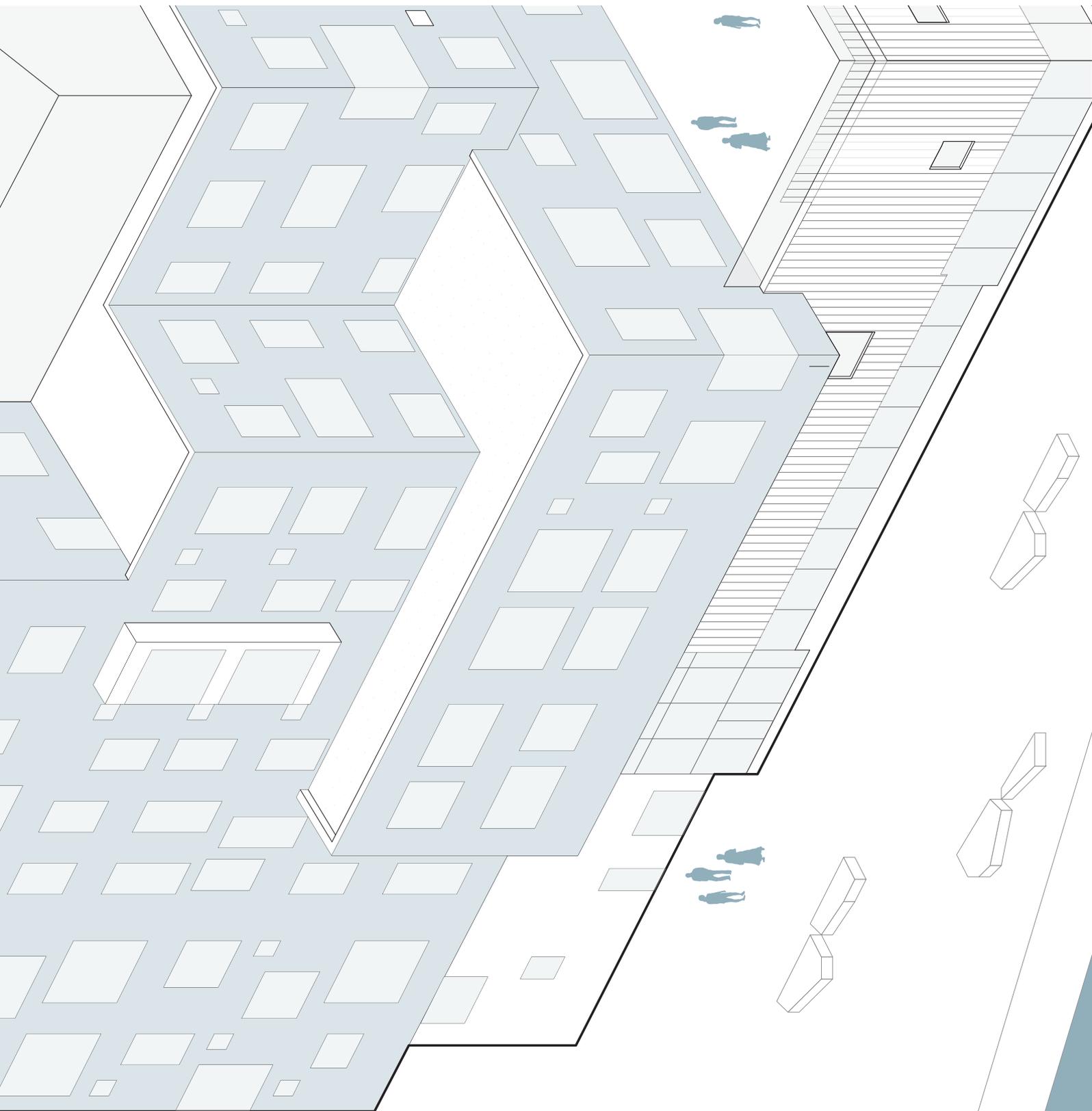


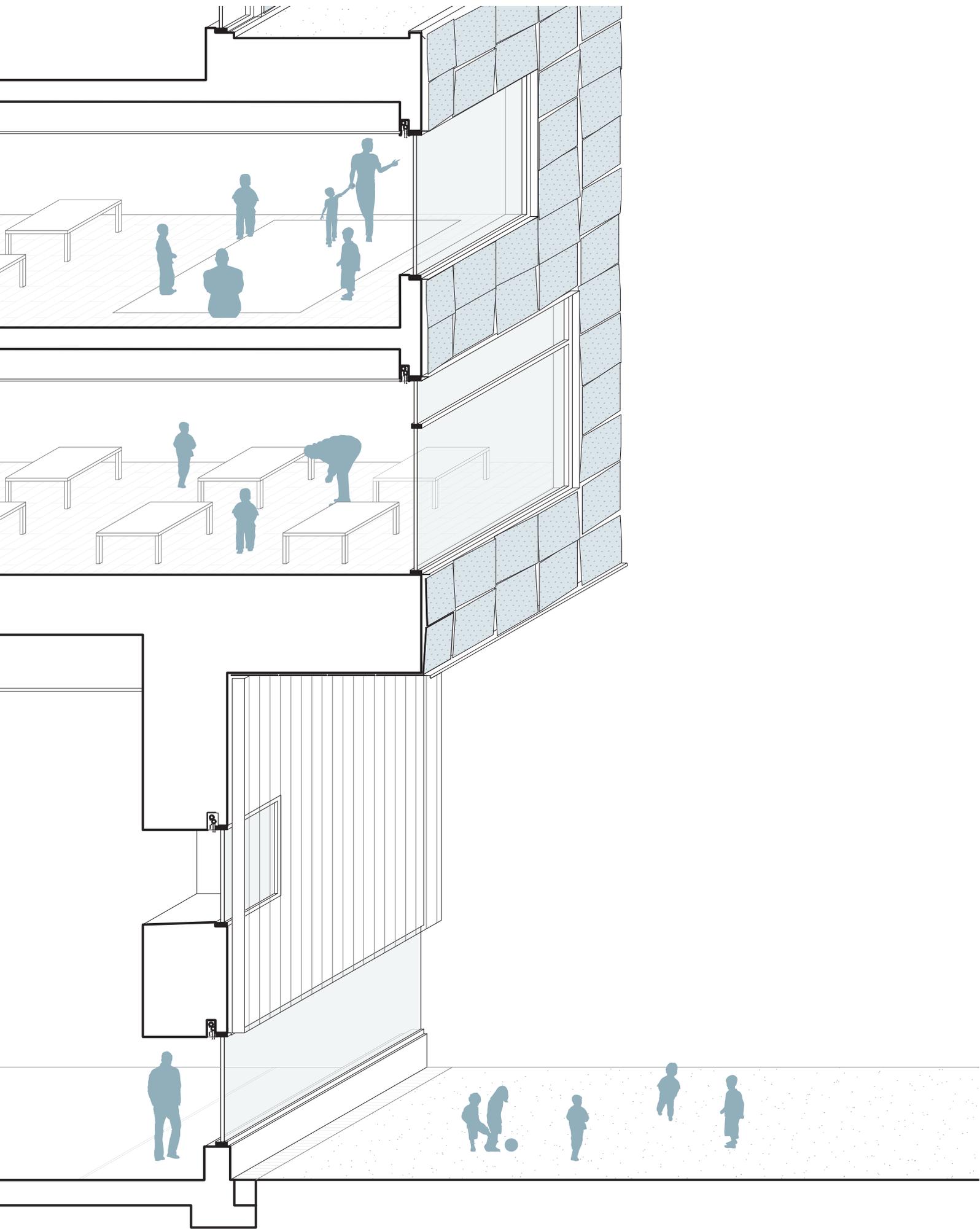
- 01 - módulos fotovoltaicos leves, segunda geração CIGS, dimensões 40 cm x 40 cm
- 02 - acionador pneumático com três câmaras de ar, movimento das peças variam de 0 a 90° a partir da pressão do ar
- 03 - tubos metálicos para passagem de cabeamento e estruturação dos módulos fotovoltaicos
- 04 - escora plástica para fixação dos módulos aos tubos metálicos estruturais.
- 05 - elemento de junção dos componentes, responsável por conexão à parte eletrônica e válvulas do sistema



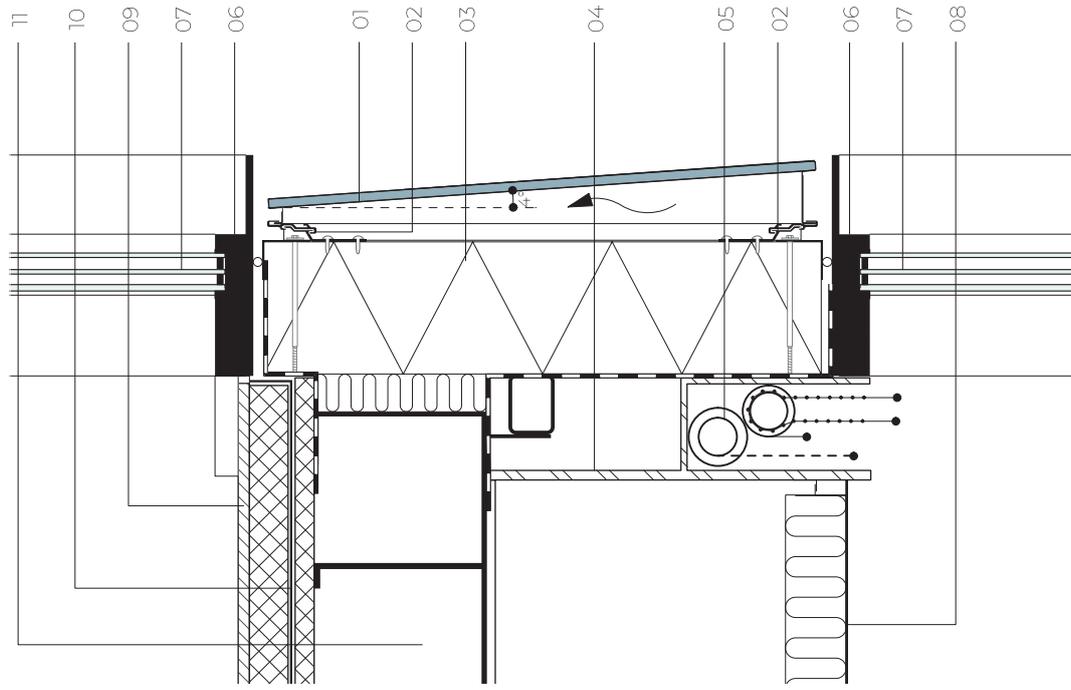
*a peça é fixada ao envelope de edifícios por esquadria metálica, com distanciamento de 80cm e dimensões 2,50 m x 4,02 m. Todo o cabeamento é também integrado a estrutura da esquadria.





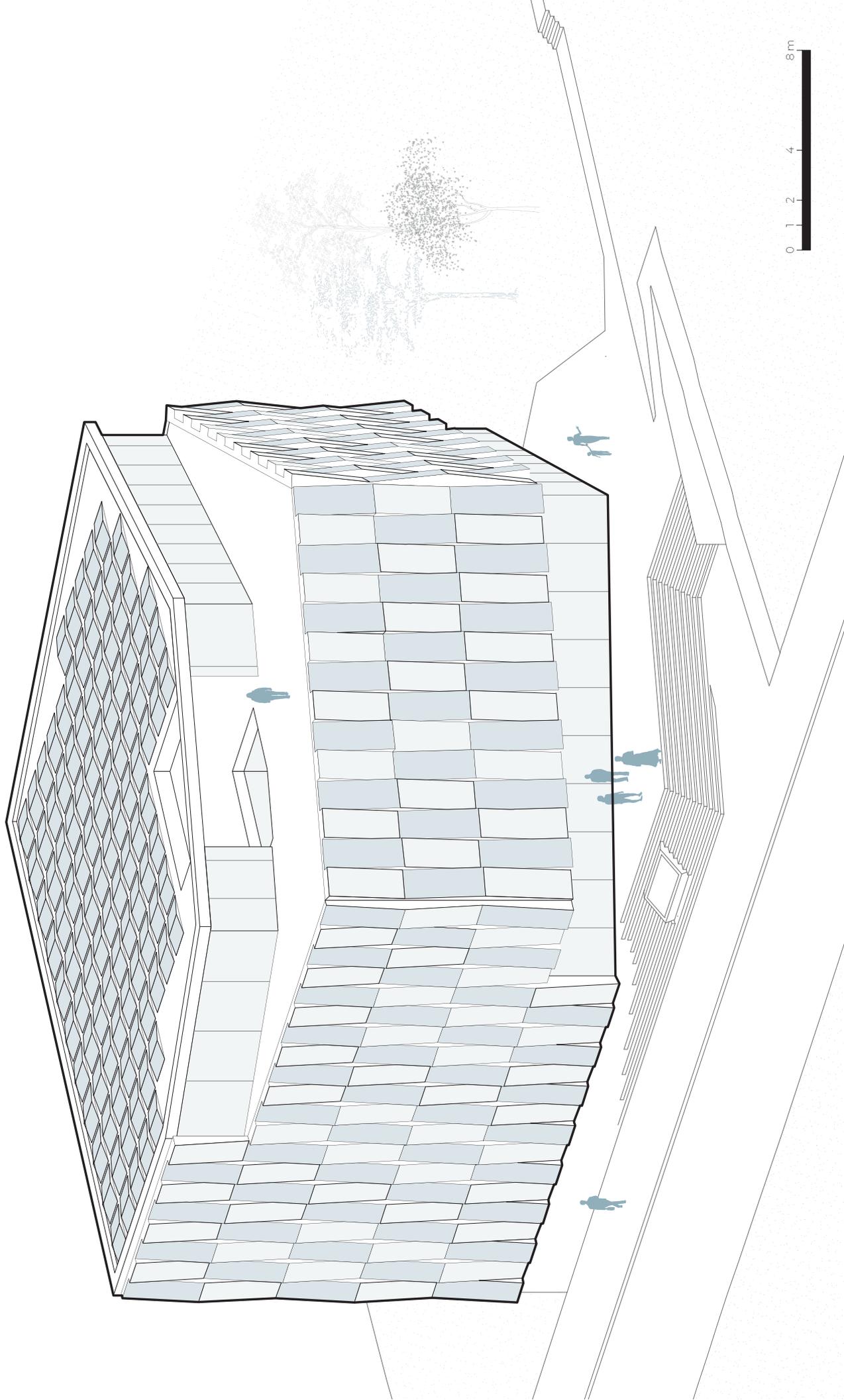


0 1 2 3m

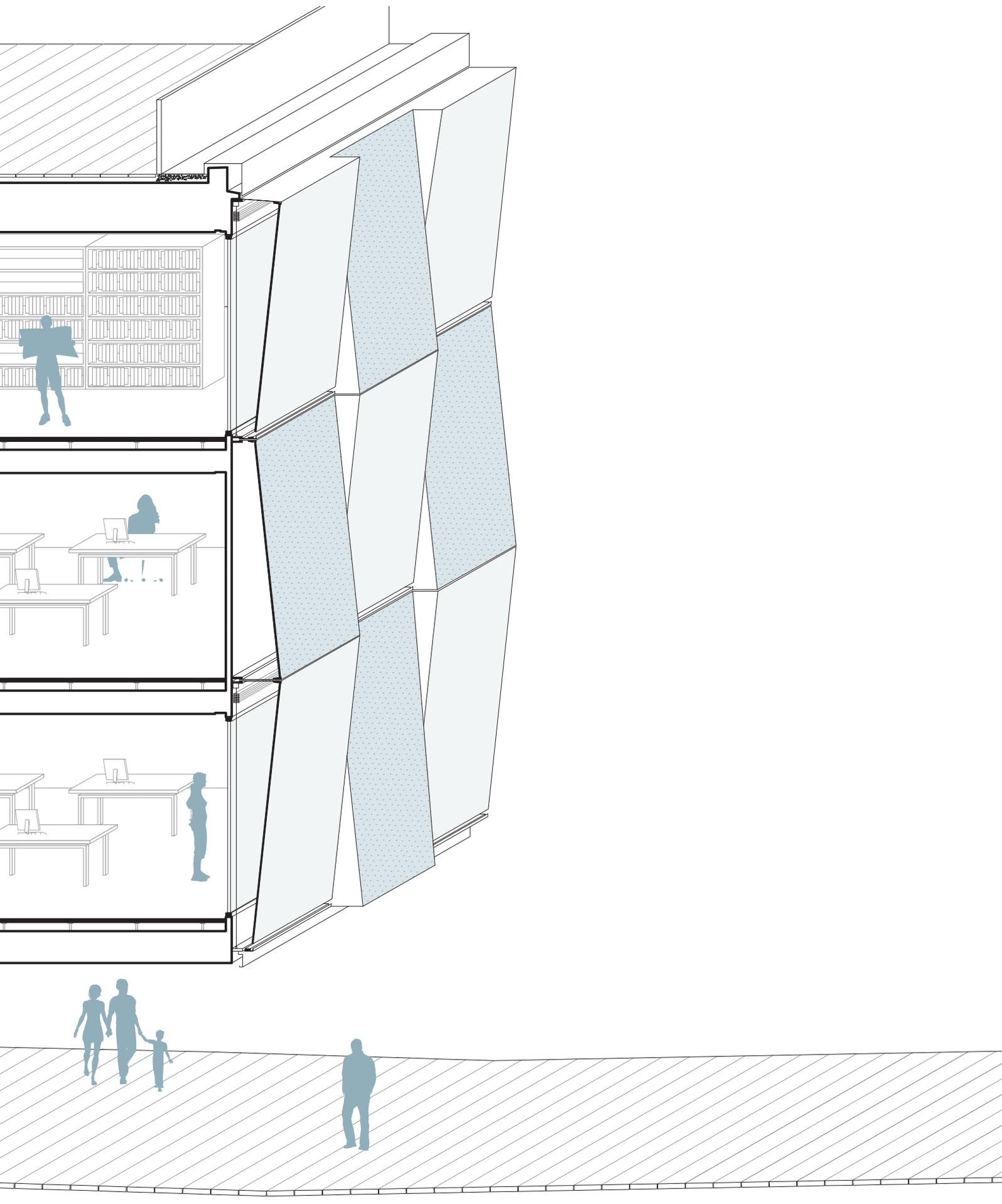


- 01 - módulo fotovoltaico monocristalino, dimensões 72 cm x 74 cm, acabamento opaco.
- 02 - montante metálico parafusado, para fixação da estrutura em alumínio que sustenta o módulo fotovoltaico.
- 03 - painel termo isolante autoportante eps (poliestireno expandido)
- 04 - placa de gesso
- 05 - cortina tipo rolô com tela solar e blackout
- 06 - esquadria de alumínio
- 07 - Janela com sistema de vidro triplo de baixa emissividade (low-e)
- 08 - forro com isolamento termoacústico
- 09 - piso maciço de carvalho 15mm
- 10 - contrapiso com camada de isolamento termo acústico
- 11 - laje em concreto

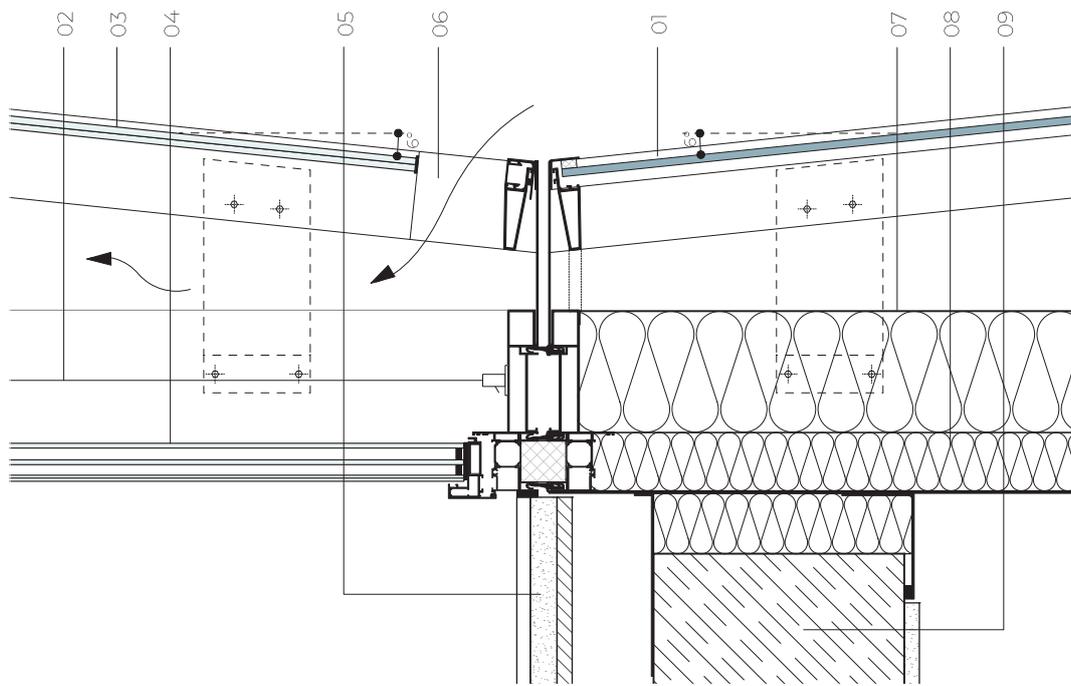


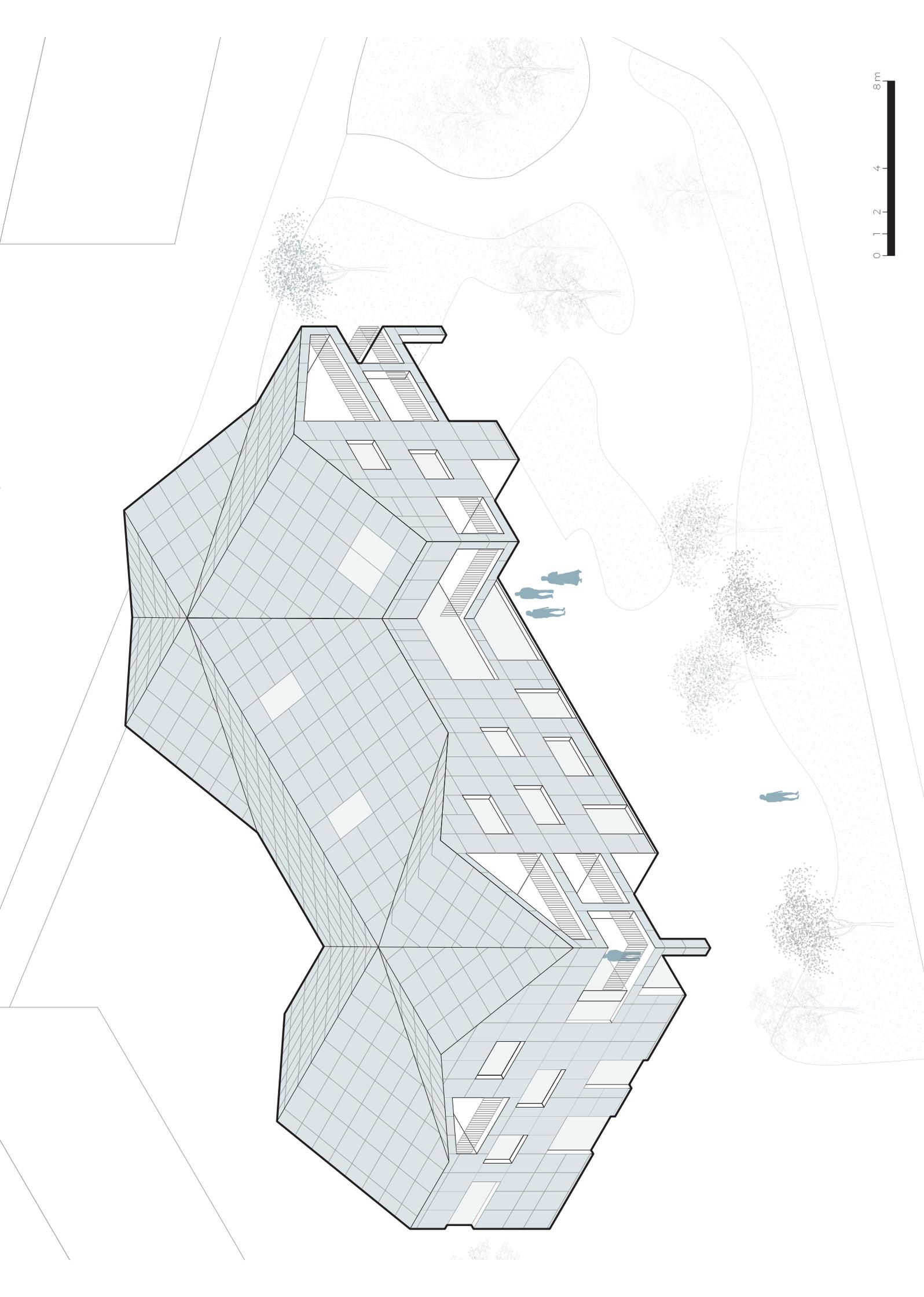


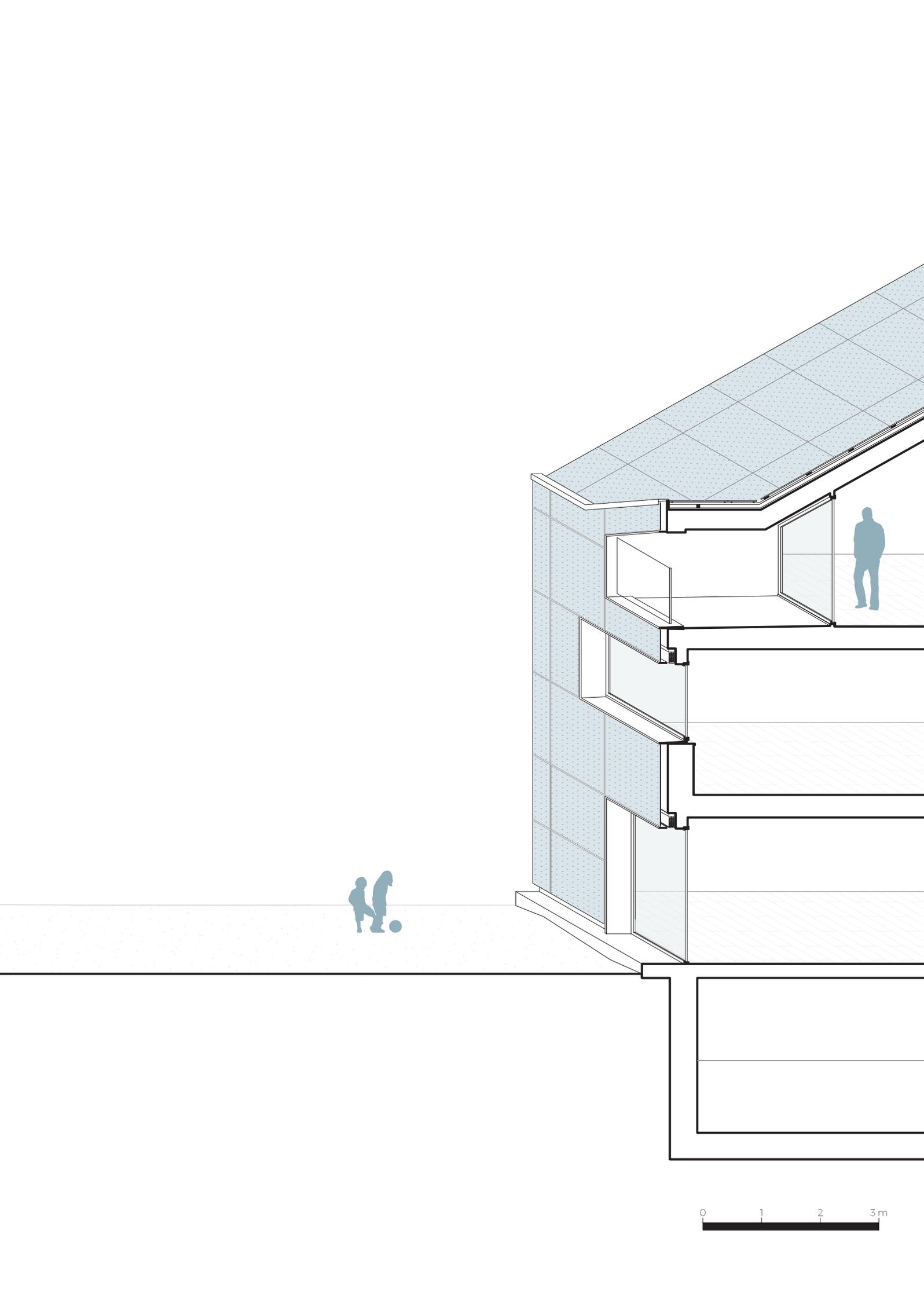
8m
4
2
1
0



- 01 - módulo fotovoltaico monocristalino com encapsulamento na cor preta, dimensões 1,50x2,50 m
- 02 - persiana móvel para proteção da incidência solar
- 03 - placa defletora em vidro, inclinação 6°
- 04 - janela de abrir em vidro triplo de baixa emissividade (low-e) e esquadria de alumínio, pintura eletrostática
- 05- piso elevado com superfície em carpet
- 06- fenda de 12cm para ventilação da fachada e convecção térmica
- 07 - fachada com acabamento em placa de alumínio na cor preta
- 08 - camadas de isolamento termo acústico
- 09 - laje em concreto armado

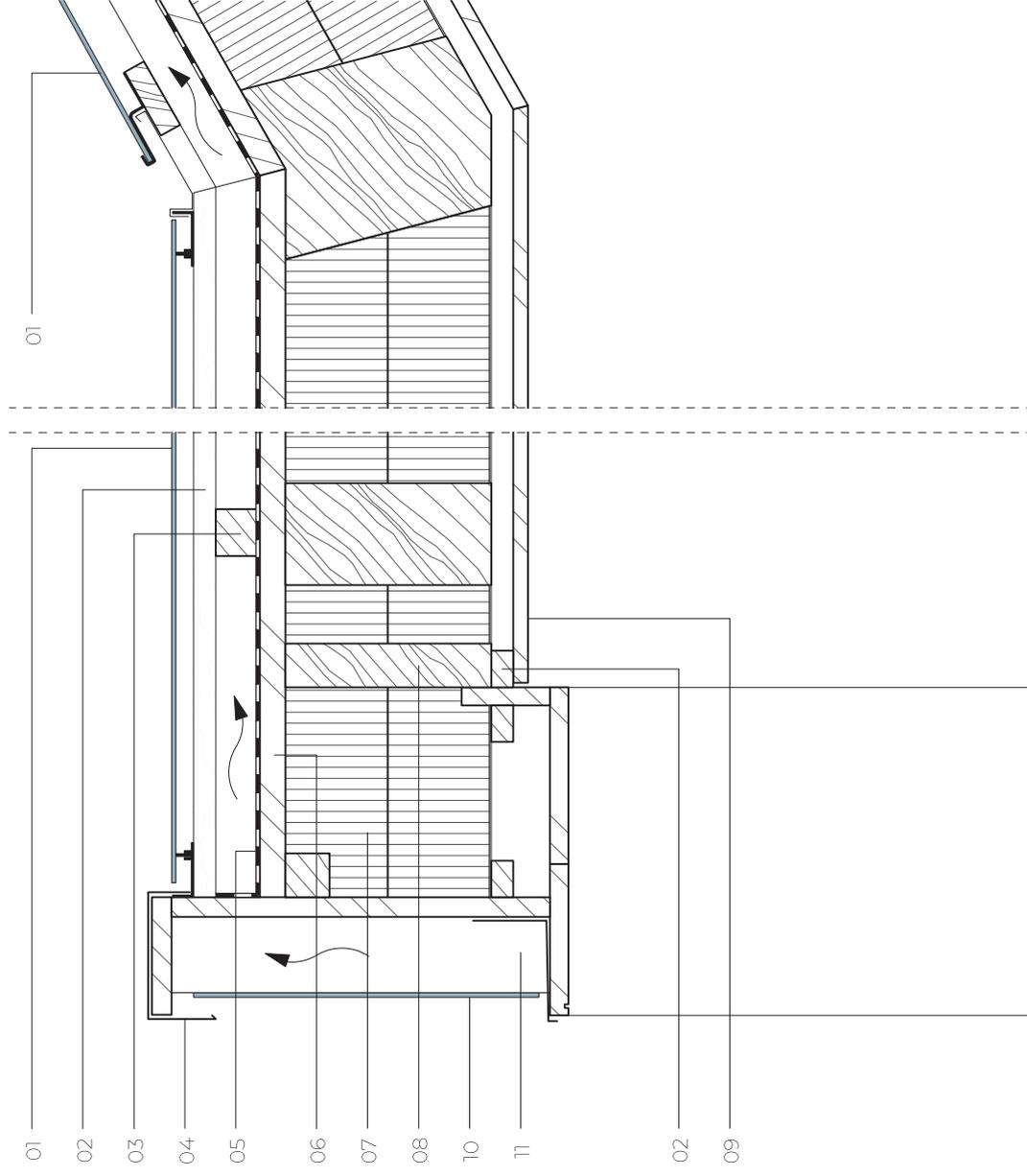




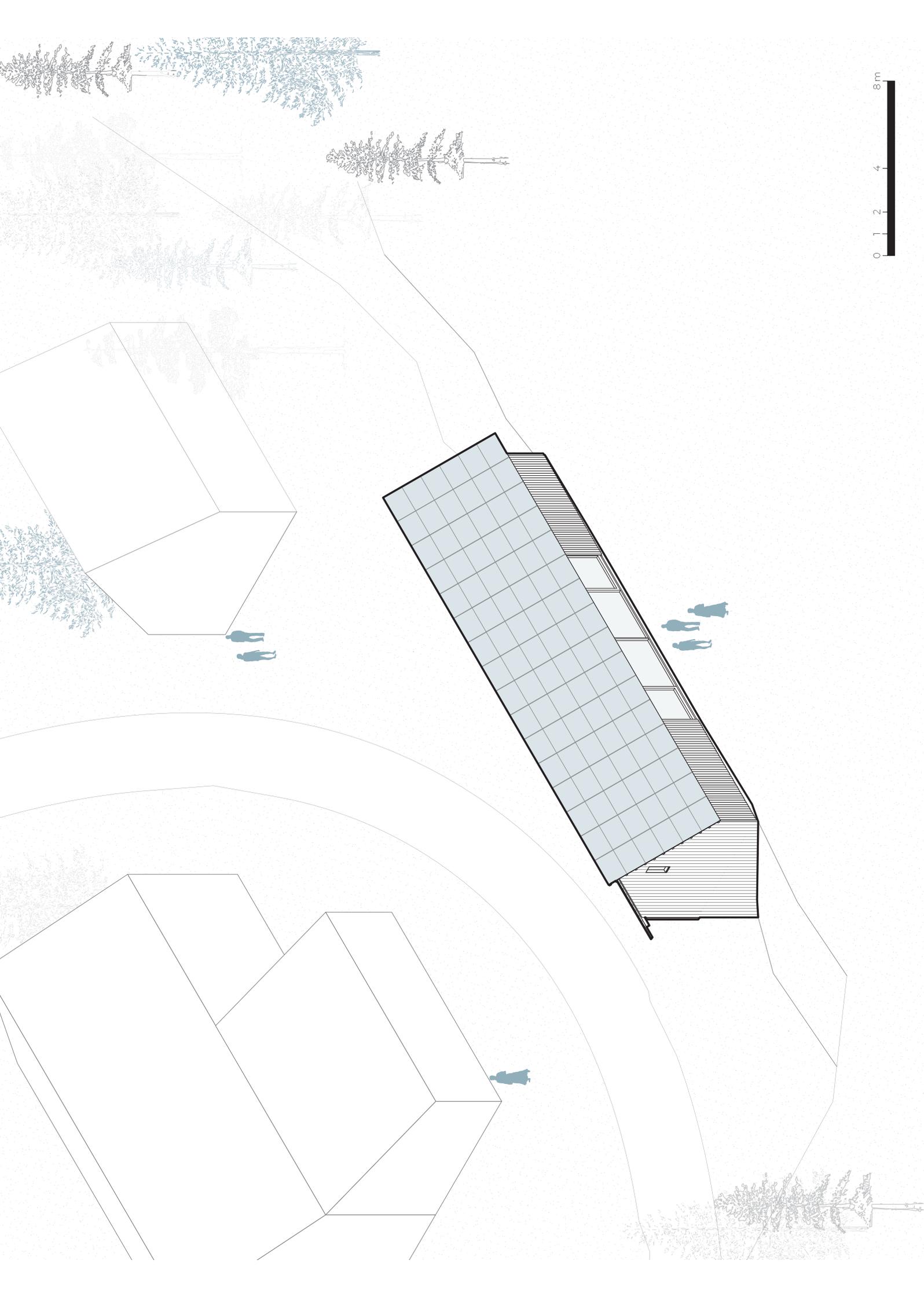


0 1 2 3m

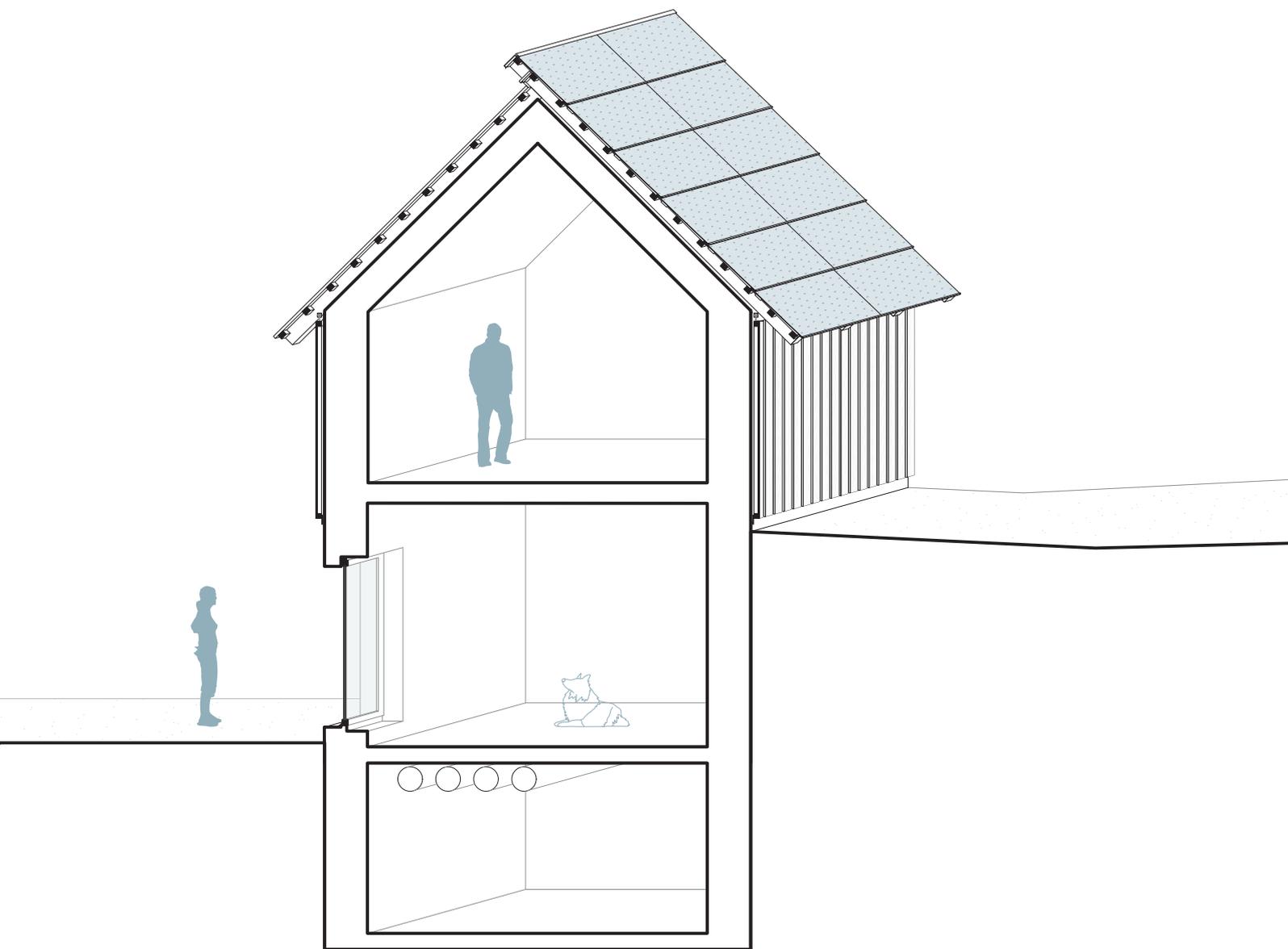
- 01 - Módulo fotovoltaico thin-film, acabamento opaco, 6mm, inclinação 29,5°
- 02 - sarrafo 30 mm
- 03 - caibro 60 mm
- 04 - fufo com pingadeira
- 05 - manta termo acústica
- 06 - placas de madeira intertravadas, tipo "ISOLAIR 45" - 35 mm
- 07 - camada dupla de isolante de lã mineral
- 08 - estrutura em madeira
- 09 - forro de madeira
- 10 - módulo fotovoltaico thin-film, acabamento opaco, 6mm, inclinação 90°
- 11 - camada de ventilação estruturada por sarrafos - 100 mm



0 10 20 40 cm

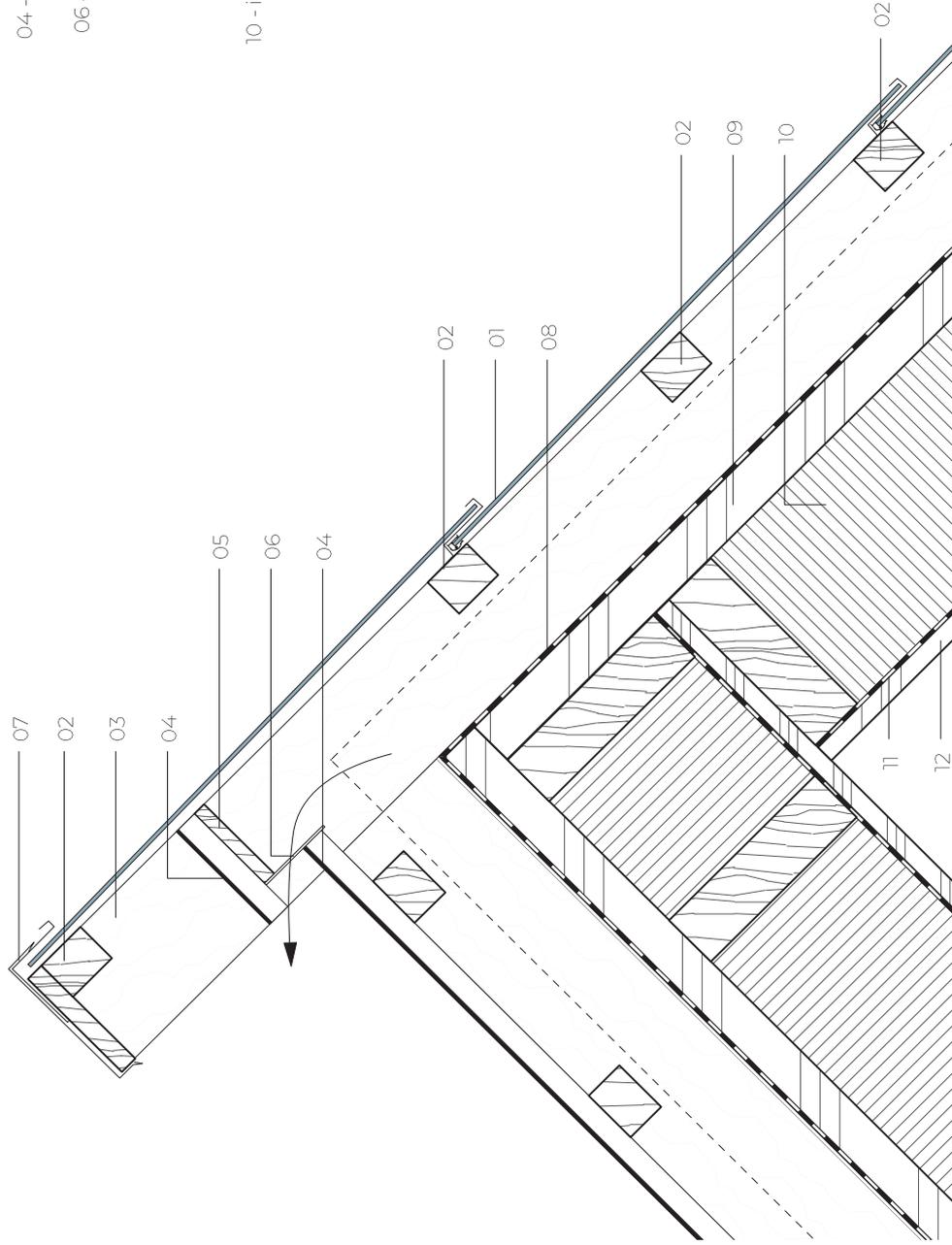


8 m
4
2
1
0



0 1 2 3m

- 01 - painel fotovoltaico
- 02 - sarrafo 60x80 mm
- 03 - caibro 180 mm
- 04 - chapa ondulada de fibrocimento
- 05 - bloco de madeira
- 06 - proteção contra insetos em cobre
- 07- curneeira em cobre com pingadeira
- 08 - feltro
- 09 - placa de fibra com baixa densidade (LDF)
- 10 - isolamento térmico Isofloc 280mm
- 11 - barreira de vapor
- 12 - compensado de painéis de madeira maciça (three-ply)



“As cartas não são prescrições, já que a todo tempo surgem novos métodos e maneiras de lidar com o problema. São uma tentativa de encorajar a experimentação”

DIAS, Sofia H. Energia como variável do projeto arquitetônico: análise de edifícios fotovoltaicos por meio de múltiplos estudos de caso. 2020. Dissertação (Mestrado em Design) - Setor de design, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2020.



Instruções de uso

Use o baralho para ter um novo ponto de vista, inspirar a criatividade, comunicar entre integrantes do seu time uma ideia, ou para buscar soluções.

Legenda

-  Categorias
-  Título da carta
-  Razões para utilizar o método
-  Aplicação no mundo real



em termos esféricos (rotação)
qual é o contexto específico do edifício? Como controlar o albedo e fatores de refletividade da superfície?



em termos espaciais (m²)
qual a porosidade do sistema fotovoltaico? Quanto espaço consumirá e em detrimento de quais fatores? Quais os usos sincrônicos?



em termos angulares (°)
qual a relação entre absorção solar e conversão elétrica? Ou seja, qual a posição angular para a máxima absorção de energia dos módulos fotovoltaicos e em detrimento do quê?

M
em termos de refletância (%)
quanto material consumirá e qual o seu ciclo de vida? Como funcionará a compatibilidade entre peças?



em termos atômicos (elétrons)
como será o manejo do calor produzido pelo módulo? Como estarão integradas as conexões elétricas?



em termos sociais (cultural)
como será a aceitação dos usuários e o seu padrão de consumo energético? quais são as políticas e estratégias de incentivo?

🔄 □ < M ☉ 😊

Sem limitação geográfica

COMO: podem ser aplicados em qualquer edifício no globo.

PORQUE: os módulos têm amplitude de movimento, ou seja, podem adaptar-se às condições imediatas.

Adaptive Solar Façade: protótipo originalmente desenvolvido para Dübendorf, Suíça: verão agradável e com precipitação, inverno muito frio e céu encoberto. Assim, módulos movimentam-se em resposta às variações.

🔄 □ < M ☉ 😊

Superfícies envidraçadas

COMO: módulos aplicados para liberar ou proteger do calor, além de produzir energia.

PORQUE: só tem bons resultados sob essas condições: em programas arquitetônicos em que se precisa aquecer e resfriar.

Adaptive Solar Façade: uso indicado para edifícios de escritório, academias de ginástica, lojas, mercados e escolas, com economia entre 20 e 80% se comparado a modelos estáticos.

🔄 □ < M ☉ 😊

Amplitude de 90°

COMO: módulos assumem várias posições: vertical, intermediárias ou horizontal, liberando as vistas e incidência solar.

PORQUE: são responsivos, quando não houverem usuários seguirão o movimento do sol para maior produção de energia.

Adaptive Solar Façade: prototipar condições ideais no invólucro: a variação entre o estado hermético e aberto, além de estratégias passivas e ativas.

🔄 □ < M ☉ 😊

Manutenção mecânica

COMO: sistemas tipo *tracking*, exigem constante manutenção, o que encarece.

PORQUE: o movimento da peça pode "travar" em uma posição não desejada. Garantia de 20 anos, enquanto edifícios durarão pelo menos 50 anos.

Adaptive Solar Façade: se os módulos dinâmicos pararem de se movimentar, na posição "fechada", o ambiente ficará totalmente no escuro, por exemplo.

🔄 □ < M ☉ 😊

Módulos leves filme fino

COMO: módulos de segunda geração CIGS ($\eta = 13\%$), 40 cm x 40 cm, com distanciamento de 80 cm do envelope construído.

PORQUE: em fachadas, é necessário rigidez adicional para suportar ação dos ventos, que ameniza efeito da termalização.

Adaptive Solar Façade: Além de um quadro e malha metálica de sustentação, que estruturam os módulos, o protótipo passará por revisão para suportar ventos.

🔄 □ < M ☉ 😊

Biblioteca de materiais

COMO: junto aos livros, os materiais solares estão disponíveis para consulta dos alunos.

PORQUE: materialidade, desenhos técnicos e referências são essenciais para implementação.

Adaptive Solar Façade: Na ETHZ, os cursos de arquitetura e design são de velha guarda e a integração fotovoltaica ao envelope de edifícios não é mencionada. A biblioteca de materiais compartilha projetos como a ASF com os alunos.

🔄 □ < M 🔄 😊

Zona portuária

COMO: localização costeira em zona portuária industrial, defronte ao canal.

PORQUE: área não adensada, sem sombreamento, mas com a ação de fortes ventos.

Copenhagen School: bairro Nordhavn (55°41'32"N 12°33'53"E). Elevação do sol é baixa (10°), o que favore produção de energia em fachadas. A reflexão especular da água não contribui significativamente para o albedo.

🔄 □ < M 🔄 😊

Escola

COMO: materialização da arquitetura em sincronia com luz natural e produção de energia.

PORQUE: acesso à luz natural melhora o ambiente de ensino.

Copenhagen School: as salas de aula são localizadas nas esquinas dos volumes, para receber luz natural de duas fachadas. Os 12.000 módulos fotovoltaicos foram integrados na área restante das subtrações das janelas. Parte da escola foi dissolvida em 4 torres para aumentar perímetro e acesso a irradiação solar.

🔄 □ < M 🔄 😊

Ângulo 4°

COMO: variação angular de 4° em relação à verticalidade dos demais substratos.

PORQUE: assumir a materialidade vertical do volume, com pequenas variações angulares.

Copenhagen School: Os módulos estão posicionados em todos os sentidos de inclinação, criando um efeito texturizado na fachada. O que discorda do senso comum "usar a latitude da cidade" (55°), ainda produzindo bons resultados.

🔄 □ < M 🔄 😊

Montantes reforçados

COMO: caixas metálicas para fixação dos módulos na fachada com estrutura reforçada.

PORQUE: manter resistência mecânica para o sistema ser resiliente às interpéries: fortes ventos, chuva.

Copenhagen School: caixa metálica de alumínio com face inclinada, 4° em relação ao substrato da fachada, contém trilhos metálicos para a fixação do módulo fotovoltaico.

🔄 □ < M 🔄 😊

Acabamento opaco e colorido

COMO: as conexões elétricas não são visíveis, além da possibilidade de peças com diferentes cores: verde, cinza, dourado, azul.

PORQUE: maior repertório arquitetônico (materialidade).

Copenhagen School: o esforço para esconder a célula fotovoltaica induzirá perdas na eficiência (12%, neste caso). Ainda assim, a escola produz metade da energia que consome (300 MWh/ano em um sistema de 6048 m²).

🔄 □ < M 🔄 😊

Dados para fins didáticos

COMO: integrar os dados gerados pelo sistema fotovoltaico às aulas.

PORQUE: melhorar aceitação social e educação para futura implementação.

Copenhagen School: os dados sobre a produção de energia do edifício estão disponíveis aos 1200 alunos para análise durante as aulas de física e matemática. Logo, as questões pedagógicas são parte das soluções arquitetônicas e vice-versa.

🔄 □ < M 🔄 😊

Topografia e vegetação

COMO: edifício fotovoltaico implantado em meio ao bosque.

PORQUE: necessário manejo das perdas de eficiência em decorrência de módulos parcialmente sombreados.

New Blauhaus: o edifício emerge na paisagem, módulos que sofreriam com o sombreamento da vegetação são cegos (acabamento brilhoso e mesma coloração, porém sem células fotovoltaicas e sem produzir energia).

🔄 □ < M 🔄 😊

Edifício de escritórios

COMO: materialização da arquitetura em sincronia com a salubridade do ambiente de trabalho, flexibilização espacial, além de produzir energia.

PORQUE: variáveis determinadas pelo grid das janelas.

New Blauhaus: a retícula criada na fachada é alternada por módulo fotovoltaico (opaco) e janela (condições favoráveis para o trabalho). Segue grid comum na Alemanha para tal uso: 1,35m.

🔄 □ < M 🔄 😊

Janelas inclinadas

COMO: inclinar na direção oposta aos módulos as superfícies envidraçadas.

PORQUE: evitar a demanda excessiva por refrigeração, deixando o sistema fotovoltaico mais compacto.

New Blauhaus: os módulos estão inclinados em direção ao sol, enquanto as janelas assumem a inclinação contrária, com proteção solar e aberturas nas cavidades para convecção do ar.

🔄 □ < M 🔄 😊

Substituição de peças

COMO: a substituição de peças é premissa da tecnologia.

PORQUE: módulos têm vida útil de 25-30 anos. Códigos estruturais determinam níveis de segurança para estruturas de 50 anos.

New Blauhaus: Os materiais precisam ser desmontados e separados fora de suas partes constituintes. Aqui, a integração fotovoltaica está em uma peça pré-fabricada, portanto deverá ser trocada inteira.

🔄 □ < M 🔄 😊

Cavidade de ventilação

COMO: o resíduo do efeito fotovoltaico é o calor, o que afeta diretamente na eficiência.

PORQUE: resíduo da relação entre absorção de fótons e liberação de elétrons livres para gerar corrente elétrica.

New Blauhaus: toda fachada está em função da dissipação de calor. Nos módulos, há cavidade entre os substratos. Na fachada dupla de janelas, aberturas para a convecção do ar quente.

🔄 □ < M 🔄 😊

Usos sincrônicos

COMO: programas arquitetônicos pensados a partir da parceria entre instituições.

PORQUE: a sobreposição de necessidades, abre espaço para usos sincrônicos e inovação.

New Blauhaus: fruto da parceria entre universidade e empresa de energia. É um espaço de experimentação de inovações desenvolvidas em pesquisas, além de biblioteca aberta aos alunos. Fato que resultou em sua intensa visitação.

Contexto rural

COMO: cidades pouco adensadas, próximas a grandes centros urbanos.

PORQUE: evita-se risco de sombreamento, além de ter grande potencial de aplicação.

Casa em Brütten: na comuna Brütten (47°28'N 8°40'E), 58,9% da área são usados para fins agrícolas e 30,1% destinados às áreas arborizadas. Apenas 11% são assentamentos urbanos. Está a 20 km do centro da capital Zurique.

Edifício de apartamentos

COMO: materialização da arquitetura em sincronia com o conforto da vida moderna.

PORQUE: edifício de apartamentos com área de fachada e telhado disponíveis, considerando o alto nível de consumo.

Casa em Brütten: junto à fachada e telhado fotovoltaico, todas as escolhas visam o baixo consumo de energia, a exemplo do chuveiro Joulia. Também, a luz natural e materialidade do edifício.

Fachada e telhado

COMO: módulos fotovoltaicos integrados à fachada e telhado do edifício.

PORQUE: aumentar a curva de produção elétrica. Módulos assumem a verticalidade das fachadas, todas as orientações, assim como a angulação do telhado, todas as orientações.

Casa em Brütten: posição vertical e, também, 14 superfícies com inclinação de 29,5° nos telhados (65000 kWh/ano).

Montantes colados

COMO: montantes de fixação colados (fita 3M) na face posterior dos módulos fotovoltaicos.

PORQUE: solução confere resistência, com bons resultados nos testes de estresse mecânico (danos pela deflexão da peça).

Casa em Brütten: dois perfis metálicos foram colados na face posterior, para o encaixe do módulo em um trilho metálico preso ao edifício. As subestruturas tornam-se invisíveis na fachada.

Autossuficiência

COMO: edifício off-grid, pautado em diversas estratégias para alcançar o seu caráter autárquico.

PORQUE: no hemisfério norte, é necessário usar excedente de energia produzido no verão para o inverno.

Casa em Brütten: a energia produzida pelos módulos é armazenada para o inverno em tanques de hidrogênio. A curva de produção elétrica foi maximizada para diminuir esta demanda (11%).

Centro de exposições

COMO: informações e emocionalmente motivar o espectador. Novos hábitos são economicamente viáveis (longo prazo).

PORQUE: é mais fácil alcançar resultados mais amigáveis com a natureza quando você sabe como fazê-lo.

Casa em Brütten: maquetes do edifício são expostas no Umwelt Arena, além de todos os fornecedores. Um dos apartamentos está aberto para visitaçao.

🔄 □ < M 🔄 😊

Zonas limítrofes

COMO: legislação determina áreas que não poderão ser edificadas no futuro.

PORQUE: maior controle sobre locais de produção fotovoltaica, sem o risco de sombreamento.

Casa Schneller Bader: está na zona limítrofe da cidade Tamins, com orientação sul dando face a este campo aberto. A partir desta vantagem, tomou-se a decisão de construir um telhado fotovoltaico para a autossuficiência.

🔄 □ < M 🔄 😊

Casa unifamiliar

COMO: materialização da arquitetura em sincronia com o conforto da vida moderna.

PORQUE: em área reduzida, exige sistema fotovoltaico compacto.

Casa Schneller Bader: o telhado de duas águas protege a casa e, na face sul, a telha de fibrocimento é substituída por módulos fotovoltaicos monocristalinos de primeira geração. Ocupam a área de 108 m².

🔄 □ < M 🔄 😊

Ângulo 45°

COMO: módulos assumem a angulação do telhado, em consonância à latitude da cidade.

PORQUE: potencializar a conversão elétrica, dependendo também da posição geográfica.

Casa Schneller Bader: localizada em Tamins (46°49'45"N), assume a materialidade do telhado (face sul), além da latitude da cidade. Potencializando assim a conversão elétrica.

🔄 □ < M 🔄 😊

Plug and play

COMO: facilitar a remoção e substituição dos módulos.

PORQUE: garantia de 20 anos, enquanto edifícios durarão pelo menos 50 anos.

Casa Schneller Bader: instalação e detalhes técnicos muito semelhantes à inserção de telhas tradicionais, levemente sobrepostas e, neste caso, sobre uma estrutura de caibros e ripas de madeira. Os módulos são emcaixados em suportes metálicos parafusados à estrutura.

🔄 □ < M 🔄 😊

Módulos monocristalinos

COMO: tecnologia mais disseminada, comumente utilizada em plantas solares.

PORQUE: células de silício, com substrato de vidro, possui eficiência elevada (20%) se compara às demais tecnologias.

Casa Schneller Bader: encapsulamento preto e sem moldura de alumínio aparente, produção energética de 22800 kWh/ano, perfaz 100% do consumo, além de um excedente de 44% (carro elétrico).

🔄 □ < M 🔄 😊

Cultura alpina

COMO: peso histórico incita desafio para a integração fotovoltaica à arquitetura.

PORQUE: cultura alpina das montanhas, enraizada em elementos tradicionais (cabanas, chalés, estábulos, lojas de caça, abrigos para pastores).

Casa Schneller Bader: coexistir a partir de uma perspectiva crítica e de respeito ao passado. As telhas fotovoltaicas resultam em mistura óptica, pouco contraste.

APÊNDICE 3 – CARTAS MÉTODO TEMPLATE

