

## ARQUITETURA PERFORMATIVA: O USO DE MATERIAIS RESPONSIVOS E FABRICAÇÃO DIGITAL EM EXPERIÊNCIA DE ENSINO

*PERFORMATIVE ARCHITECTURE: USING RESPONSIVE MATERIALS AND DIGITAL FABRICATION IN TEACHING EXPERIENCE*

Gladys I. K. Taparello<sup>1</sup>, Patrícia T. Luciano<sup>1</sup>, Carla C. Secchi<sup>1</sup>, Carlos E. V. Vaz<sup>1</sup>

### RESUMO:

A arquitetura pode ser definida como uma composição de espaço, eventos e movimento, influenciada pelo meio, usuários e acontecimentos (GÓMEZ, 2006). Nesse contexto insere-se a arquitetura performativa, abrangendo conceitos de desempenho e de apresentação artística (LENZ; CELANI, 2015), assistida por pesquisas técnicas sobre *smart material*, que relacionam a composição dos materiais com suas variações de comportamento às alterações nos ambientes (ADDINGTON; SCHODEK, 2005). Nesse viés, a madeira, com suas características de resposta ao ambiente, pode ser reavaliada como material responsivo (HENSEL, 2011), em pesquisas sobre componentes responsivos de duas camadas: uma passiva de material sintético, e outra ativa de madeira, para uso como recobrimento de fachadas (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015). Esta pesquisa explorou o uso de madeiras brasileiras como material responsivo em componentes de duas camadas; e investigou a introdução deste conteúdo como atividade prática sobre arquitetura performativa em ateliê de graduação, em uma oficina de curta duração, com base na pesquisa de Davidova e Sevaldson (2016). Uma estrutura de MDF possibilitou explorar o uso dos elementos responsivos de madeira, produzidos na oficina, como geradores de espaços transitórios e seu comportamento em ambiente real, que teve registro fotográfico, durante um mês, com variação de umidade entre 47% e 90%. Observou-se que, ao trabalhar manualmente com um material familiar, os alunos assimilaram a importância do entendimento do comportamento dos materiais e das tecnologias que se pretende aplicar no edifício, para conciliar as demandas do projeto com as características do local no qual se insere.

**PALAVRAS-CHAVE:** Limites espaciais na arquitetura; Higroscopia da madeira; Ensino.

### ABSTRACT:

Architecture can be defined as a composition of space, events and movement that are influenced by environment, users and what happens in it (GÓMEZ, 2006). In this context, there is performative architecture, which can be about technical and artistic aspects (LENZ; CELANI, 2015), supported by technical research of smart materials, by relating materials composition to their behavior when environment changes (ADDINGTON; SCHODEK, 2005). By this bias, wood is seen as a smart material, due to its characteristics of response to the environment (HENSEL, 2011). A responsive bi-layer component has been researched and developed, using wood as an active layer and a synthetic material as a passive layer (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015). This research explored Brazilian woods as a responsive material in bi-layers components and investigated how to introduce such contents in under graduation studio, as a practical activity for the performative architecture theory, using Davidova and Sevaldson (2016) study as a structure for the workshop. An MDF structure was built to check the practical application of hygroscopic responsive wood elements, created at the end of the workshop, as producer of transitional spaces and their behavior in a real environment. It was registered by photos for a month, with humidity varying between 47% and 90%. It was observed that handling a familiar material students understood the importance of comprehending materials behavior and technologies to be applied on buildings, to combine projects demands with local characteristics.

**KEYWORDS:** Spatial boundaries in architecture; Wood hygroscopicity; Teaching.

### How to cite this article:

TAPARELLO, G. I. K.; LUCIANO, P. T.; SECCHI, C. C.; VAZ, C. E. V. Arquitetura Performativa: O Uso De Materiais Responsivos E Fabricação Digital Em Experiência De Ensino. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v16, n2, 2021. <https://doi.org/10.11606/gtp.v16i2.165582>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina

**Fonte de Financiamento:**  
CAPES.

**Conflito de Interesse:**  
Declara não haver.

**Ética em Pesquisa:**  
CEP UFSC - Números dos processos de aprovação ética da pesquisa: 3.056.766 e 3.229.280.

**Submetido em:** 09/01/2020  
**Aceito em:** 09/01/2021



## INTRODUÇÃO

Os limites espaciais na arquitetura costumam ser vinculados aos planos dos materiais, vistos como estáveis e inertes às mudanças no ambiente (ADDINGTON; SCHODEK, 2005). Expandindo-se esse conceito como o entendimento dos acontecimentos no espaço como parte da arquitetura (GÓMEZ, 2006), tem-se a noção de arquitetura performativa, sempre em mudança segundo as alterações do ambiente ao seu redor, de modo a se obter o melhor desempenho dos sistemas que compõe a edificação (LENZ; CELANI, 2015). Para materializar esses conceitos de adaptação a mudanças e melhoria de desempenho, tem sido desenvolvidas pesquisas sobre *smart materials*, que podem ser materiais ou sistemas de materiais capazes de apresentar uma resposta a uma variação no ambiente (ADDINGTON; SCHODEK, 2005).

Uma das formas de aplicação de *smart materials* já pesquisadas pelos autores Holstov, Bridgens e Farmer (2015) e Reichert, Menges e Correa (2015) é a utilização da madeira em componente higroscópico como envoltório de fachada. A madeira possui propriedades físico-mecânicas que se alteram ao longo de seus eixos (característica anisotrópica) ao absorver água (higroscopia), consideradas de modo geral como características indesejadas (HENSEL, 2011). Encarando essas propriedades pelo viés de materiais que se alteram conforme mudanças no ambiente, a madeira pode ser considerada um material responsivo, de menor custo e renovável (HENSEL, 2011).

Ao se incorporar um debate alternativo sobre as propriedades de materiais com os quais os alunos já estão familiarizados, como o proposto por Hensel (2011) em relação à madeira, pode-se tornar mais acessível a aplicação de conceitos de arquitetura performativa desde a concepção dos projetos, focando mais nos aspectos de interação entre arquitetura, usuários e ambiente do que no desempenho dos sistemas.

As pesquisas utilizando madeira como material responsivo ainda se encontram em estágio inicial, e a aplicação em ensino vinculada aos conceitos de arquitetura performativa é ainda menos desenvolvida, com mais enfoque no aspecto de desempenho (ANDRADE, 2012). Questões como a interatividade entre usuários, arquitetura e ambiente são abordadas em contextos que requerem mais ferramentas e conhecimentos tecnológicos do que os disponíveis nas universidades brasileiras.

Uma vez que a abordagem de arquitetura performativa nos ateliês costuma ser mais voltada ao desempenho dos sistemas construtivos (ANDRADE, 2012), a apresentação dos conceitos a graduandos com oficinas é pertinente. A aplicação prática de conceitos por meio de atividades manuais, apoiada por ferramentas de fabricação e prototipagem digitais, alia o desenvolvimento das habilidades dos estudantes com a inserção de novas tecnologias no repertório projetual desses.

Como exemplo de incorporação no ensino sobre arquitetura performativa e materiais responsivos com madeira, Davidova e Sevaldson (2016) foram responsáveis por realizar duas oficinas com alunos de duas instituições de ensino da República Tcheca, com duração entre dois e quatro meses, abordando o tema de madeira responsiva, com a construção de uma estrutura de médio porte. A referida pesquisa serviu de apoio metodológico para a oficina descrita neste artigo, com algumas adaptações nos materiais e duração, em função dos recursos disponíveis para sua realização.

Em se tratando da escolha dos materiais, optou-se pela utilização de madeiras brasileiras oriundas de florestas com manejo sustentável, que possuem o cultivo de várias espécies integradas, para diminuir os impactos ambientais. Considerando-se ainda a importância da produção de madeira no Brasil (VIDAL et al., 2015), que conta com usos diversos na

arquitetura, engenharia e construção civil em geral, observa-se a relevância dos estudos que envolvam novas apropriações desse material.

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é apresentar os resultados de uma experiência didática sobre arquitetura performativa utilizando a madeira como material responsivo. O estudo desenvolveu-se em duas etapas (Figura 1): a primeira, de testes dos materiais em ambiente controlado; e a segunda, subdivida em outros dois momentos, com realização de uma oficina com alunos da graduação de arquitetura e urbanismo, e a construção de uma estrutura fabricada digitalmente para explorar o uso dos componentes responsivos de madeira, desenvolvidos na etapa anterior, em ambiente coberto e aberto, sujeito à variações de umidade.

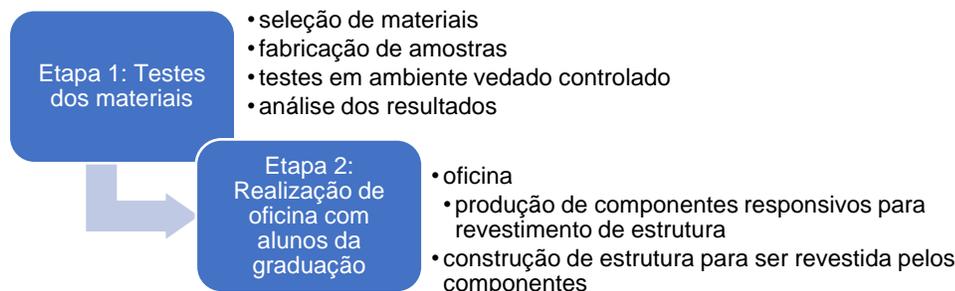


Figura 1. Etapas da pesquisa.

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

## ARQUITETURA PERFORMATIVA E MATERIAIS RESPONSIVOS

A noção de performance na arquitetura está relacionada aos conceitos de limites espaciais, e como esses são explorados nas edificações. A materialização dos conceitos depende, entre outros fatores, da composição dos materiais.

### LIMITES ESPACIAIS: FACHADAS, ENVOLTÓRIAS E ENVELOPES DE EDIFICAÇÕES

Espera-se que a arquitetura traga permanência e estabilidade para fluxos e atividades, que são, por si próprias, impermanentes. Como estruturadora de espaços, é vista como a estabilidade necessária para que as atividades e fluxos nela ocorram. Entretanto, a arquitetura em si também é influenciada pelo que ocorre em seus limites, e assim, não pode ser considerada separadamente de seu meio, seus usuários e seus acontecimentos. Desse modo, pode ser definida como a composição de espaço, evento e movimento (GÓMEZ, 2006).

Ao se concentrar nos aspectos de estabilidade e estruturação da arquitetura, seus limites espaciais são vinculados aos planos compostos pelos materiais. A função dos planos é dividir o que é dentro e o que é fora, transformando-se em barreiras físicas na relação entre interior e exterior. Os materiais que compõem os planos são considerados estáticos, como se as influências que sofrem do meio no qual se inserem fossem mínimas ou até inexistentes (ADDINGTON; SCHODEK, 2005; HENSEL, 2011).

Addington e Schodek (2005) apresentam uma definição para limites como sendo áreas de transição entre dois estados. Busca-se uma conexão entre os espaços interno e externo, de modo que não sejam mais isolados, em vários aspectos (conforto ambiental, relações sociais). Nesse contexto insere-se a arquitetura performativa, abrangendo desde o conceito de desempenho até a definição apoiada nas artes plásticas, surgida nos anos 1950, de apresentação artística (LENZ; CELANI, 2015; NISENBAUM, 2016). A performance artística na arquitetura tem sido explorada de modo a promover disrupções de pensamento em contextos sociais, políticos, econômicos e até psicológicos (KOLAREVIC, 2005; GADANHO, 2007). Como

afirma Gadanho (2007), a "arquitetura como produção cultural, a sua dimensão performativa deve contribuir para [...] produzir comentários sobre as transformações em curso na cultura e na sociedade".

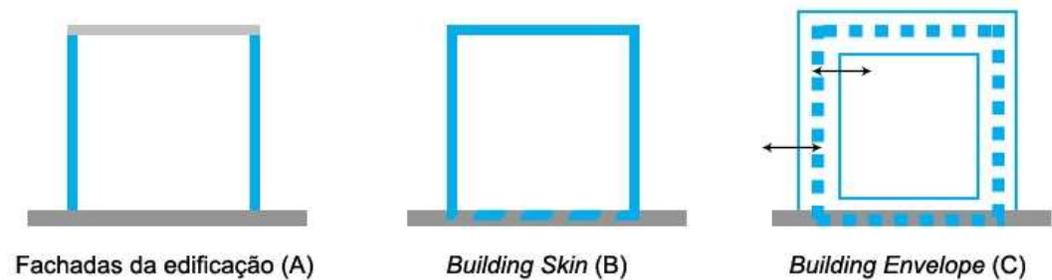
Os planos que compõem a arquitetura são então as interfaces de transição entre os espaços. Considerando a permeabilidade para interações dessas interfaces, ao facilitar ou dificultar trocas de energia e fluxos de pessoas, pode-se ter variados entendimentos sobre os planos (DERAKHSHI, 2017). As definições variam, mas os termos 'envolpe' ou 'envoltória' costumam englobar os conceitos de limites como áreas de transição (BARNUEVO, 2017; ADDINGTON; SCHODEK, 2005).

Quando atuam como limitadores das trocas, isolando os espaços entre si, as fachadas (Figura 2 A), compostas pelos planos, tornam-se representações da arquitetura, tomando os limites espaciais pelos limites físicos impostos pelos materiais (DERAKHSHI, 2017; ADDINGTON; SCHODEK, 2005; HENSEL, 2011; BAROZZI et al., 2016). Nessa visão, busca-se a estabilidade do ambiente interno, para atingir condições ideais de conforto ambiental (BARNUEVO, 2017).

**Figura 2.** Limites espaciais de uma edificação: (A) Fachadas; (B) Building Skin; (C) Building Envelope.

**Fonte:**

Elaborado pelos autores (2020), com base em Derakhshi (2017).



Considerando que as mudanças e oscilações externas à arquitetura a influenciam em seu espaço interno, temos uma camada de complexidade para a definição de limites espaciais, também designados como *building skins* (Figura 2 B). Essa influência ocorre por meio de certas trocas entre os espaços, entendendo que as barreiras possuem certa flexibilidade ainda que existam elementos físicos (DERAKHSHI, 2017; BARNUEVO, 2017). A envoltória da edificação age de modo mais semelhante a um filtro do que uma barreira isolante (BARNUEVO, 2017).

Já os *building envelopes* (Figura 2 C) incorporam os conceitos de fachada e pele da edificação para transcendê-los, tornando-se uma zona de transição entre interior e exterior, cuja performance pode ser experienciada pelos usuários. Neste caso, os limites espaciais deixam de ser atrelados aos materiais em si que constituem a dimensão física da arquitetura, pois a interação com o meio ambiente e usuários torna-se mais importante (DERAKHSHI, 2017).

No entanto, para Barozzi et al. (2016), *building envelope* seria um termo mais geral para descrever a envoltória da edificação, enquanto *building skins* seria um envoltório com características de um sistema de trocas de energia, material e informação. Embora seja evidente a discrepância no que concerne à denominação, os conceitos em si concordam em que há uma escala no que se refere à integração e interatividade entre espaços e usuários: limites que agem como barreiras (Figura 2 A), limites que agem como filtros (Figura 2 B) e limites que agem como zonas de transição (Figura 2 C) (BAROZZI et al. 2016; DERAKHSHI, 2017; ADDINGTON; SCHODEK, 2005).

## PERFORMANCE NA ARQUITETURA

O termo *performance*, em inglês, pode se referir tanto ao desempenho de um sistema quanto a uma manifestação artística. Em se tratando de arquitetura performativa como um todo, é a abordagem de processos de projeto por desempenho que habitualmente enfoca essa dimensão.

O desenvolvimento do projeto é acompanhado e determinado por avaliações de desempenho dos sistemas (estrutural, energético, lumínico, acústico, entre outros) (ANDRADE, 2012). Por isso, a definição de materiais costuma ocorrer ao longo do projeto, e não somente ao final, com critérios de seleção baseados principalmente em características quantitativas que comprovem a adequação do material ao desempenho desejado (ADDINGTON; SCHODEK, 2005; KOLAREVIC, 2005).

Contudo, aspectos de interação e provocação de mudanças nos níveis cultural, social e psicológicos são mais relacionados à performance como arte (GADANHO, 2007) Nesse contexto, os aspectos subjetivos são de maior relevância. Quais os sentimentos, sensações e emoções uma composição de materiais pode provocar? Como os usuários podem reagir aos espaços projetados? Como esses espaços relacionam-se entre si e com o meio no qual se inserem? Essas questões e outras do tipo norteiam o desenvolvimento da obra arquitetônica performativa. Entretanto, o desempenho e a dimensão artística não são excludentes entre si, e cada vez mais tem-se projetos incorporando esses dois aspectos. Essas características podem ser aplicadas ao envoltório do edifício quando usadas para controle climático por adaptação ou para “a criação de superfícies informatizadas ou trabalhos de arte em escala urbana” (BARNUEVO, 2017).

Outro aspecto que deve ser considerado ao tratar de performance, seja ela artística ou de desempenho, relaciona-se ao movimento, que pode existir (performance dinâmica) ou não (performance estática) (LENZ; CELANI, 2015). Quando voltado apenas aos critérios de tecnologia e economia, o aspecto de desempenho da arquitetura performativa tem um caráter estático e de isolamento em detrimento do papel crítico da arquitetura, e pouco se adapta às transformações constantes da sociedade e do espaço (GADANHO, 2007). Sem permeabilidade para trocas, o fluxo de pessoas e energia fica comprometido (HENSEL, 2011).

A arquitetura incorpora há muito o caráter dinâmico, desde as propostas de plantas livres com divisões por painéis deslizantes do período modernista (LELIEVELD, 2013). Com o avanço tecnológico e a integração com áreas como automação e tecnologia da informação, a dinâmica tem se tornado cada vez mais complexa, com melhor desempenho, mais tecnologia e menor necessidade de controle por parte dos usuários (LELIEVELD, 2013). A dinâmica pode também ter um planejamento e programação anteriores, assim, o movimento é considerado como determinado; quando o atributo dinâmico está relacionado a uma resposta a uma alteração no meio ambiente, o movimento é indeterminado, e a arquitetura pode ser chamada também de arquitetura dinâmica, interativa ou responsiva, entre outros (KOLAREVIC, 2005; LELIEVELD, 2013; HENRIQUES, 2015).

O foco em melhorar o desempenho de algum aspecto construtivo levou à pesquisa e maior compreensão das relações dos materiais de novas maneiras, e o desempenho físico-mecânico não é mais suficiente (ADDINGTON; SCHODEK, 2005), precisando incorporar os aspectos comportamentais dos materiais em resposta a estímulos do ambiente – dinâmica indeterminada. Esses entendimentos relacionados desde o início da concepção de projeto vêm sendo aplicados no ensino de arquitetura performativa (KOLAREVIC, 2005) com apoio das pesquisas sobre os *smart materials* – materiais responsivos, que relacionam a composição dos materiais e suas variações de comportamento às alterações nos ambientes (ADDINGTON; SCHODEK, 2005). Como afirma Barnuevo (2017): “Conceber as fachadas a partir do que se deseja que o material ou sistema de materiais ‘faça’, em vez de como queremos que o material se ‘mostre’ configura uma nova abordagem na prática de projeto para a arquitetura do século 21”.

Com relação aos materiais responsivos, não existe unanimidade sobre a estrutura geral destes materiais, apresentando-se desde uma estrutura molecular a um conjunto de sistemas. A diferença entre um material e um sistema responsivo pode ser evidenciada com as

características de interação das partes de um sistema e com a necessidade de definir os procedimentos e variáveis do sistema. A definição do sistema é continuamente redefinida com as restrições atribuídas às variáveis (HENRIQUES, 2015). Para Addington e Schodek (2005) as principais características existentes em materiais responsivos são:

1. Resposta imediata: síncrona a uma variação do estímulo;
2. Transitoriedade: resposta de um material a, no mínimo, duas variações ambientais;
3. Auto atuação: não possui mecanismos externos ao sistema para ativação da resposta;
4. Seletividade: existência de uma resposta única e previsível para um estímulo específico;
5. Exatidão: a resposta e o efeito ativador ocorrem no mesmo local.

As pesquisas de Hensel (2011) focam no estudo da arquitetura dinâmica de modo indeterminado (KOLAREVIC, 2005) com uso de materiais responsivos, com base nas características enumeradas por Addington e Schodek (2005). Hensel (2011) estuda materiais de uso habitual na arquitetura com uma nova orientação, não mais limitada às propriedades físico-mecânicas e de melhoria de desempenho estrutural, mas como novas formas de abordar as relações entre arquitetura e o ambiente em que se insere (LENZ; CELANI, 2015). Essa abordagem permitiu que características encaradas como defeitos fossem revistas como possibilidades de resposta a variações ambientais, a exemplo, as deformações que ocorrem em uma peça de madeira em resposta às alterações de umidade relativa do ar.

## MADEIRA E HIGROSCOPIA

Por sua origem biológica, a madeira tem algumas características peculiares em relação à sua composição e estrutura microscópica. A capacidade de absorção e liberação de água desse material, e sua consequente dilatação e contração macroscópica, está baseada em sua composição celular, em que as fibras de celulose absorvem e liberam moléculas de água (REICHERT; MENGES; CORREA, 2015; HOLSTOV; FARMER; BRIDGENS, 2017).

A madeira verde, ou seja, recém-cortada, tem suas cavidades e fibras celulares preenchidas com água em estado líquido e vapor. A água que preenche as cavidades é chamada de água livre, e é a primeira a ser evaporada durante a secagem, por sua ligação molecular com os componentes celulares ser mais fraca. Já a água presente nas fibras celulares possui maior atração molecular e permanece por mais tempo no interior da madeira, por isso é chamada de água de ligação. Quando toda a água livre é evaporada e resta apenas a água de ligação, diz-se que a madeira está com suas fibras saturadas (SKAAR, 1988; WALKER, 2006).

O teor de umidade é a quantidade de água na madeira, e o método mais comum para sua medição é pela secagem em estufa. O percentual do teor de umidade indica o valor de peso de água em relação ao peso seco da amostra (SKAAR, 1988). Costuma-se considerar que a madeira atinge o ponto de saturação das fibras quando seu teor de umidade está em torno de 20% a 30%. A partir do momento em que a água de ligação começa a ser evaporada, ou seja, quando o teor de umidade fica abaixo dos 30%, é que ocorrem as transformações nas dimensões da madeira (WALKER, 2006).

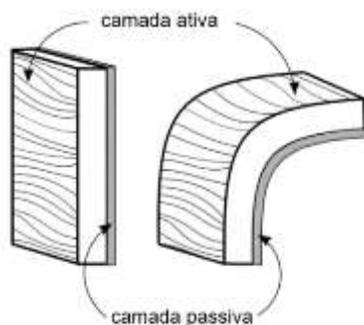
## MADEIRA COMO MATERIAL RESPONSIVO

Hensel (2011) foi um dos primeiros pesquisadores a explorar as propriedades da madeira como material responsivo em duas camadas, usando composições de lâminas de madeira em diferentes orientações de fibras. Holstov, Bridgens e Farmer (2015) e Reichert, Menges e Correa (2015) pesquisaram como aplicar um material sintético juntamente com a madeira para obter melhores resultados. Duigou et al. (2016) investigaram a produção de material

responsivo de madeira para impressão 3D. Davidova e Sevaldson (2016) procuraram incorporar a aplicação de elementos de madeira maciça como método de ensino. Vailati et al. (2018) desenvolveram componentes com maior espessura na camada de madeira e tamanhos maiores. No entanto, as principais informações para a produção de componentes utilizando lâminas de madeira de pouca espessura e material sintético encontram-se nas produções de Holstov, Bridgens e Farmer (2015) e Reichert, Menges e Correa (2015), sendo citadas também como referências nos outros estudos relacionados acima.

Inspirando-se no comportamento de certas partes de plantas, como folhas e sementes, que reagem a alterações de umidade no ambiente, foi desenvolvido um sistema semissintético em duas camadas, em que a madeira atua como camada ativa, e o material sintético, como camada passiva (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015). Apropriando-se da característica higroscópica da madeira, os componentes em dupla camada apresentam deformações, conforme o aumento da umidade ambiente, uma vez que a madeira se dilata ao absorver a água presente no ar (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015).

A camada ativa deve ser produzida levando em consideração a orientação das fibras da madeira, que devem estar posicionadas paralelamente ao eixo do movimento (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015), como pode ser observado na Figura 3. As proporções de espessura e de rigidez entre as camadas também devem ser observadas, uma vez que a melhor resposta é obtida quando a camada com o material de maior rigidez possui menor espessura, e outra camada o oposto (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015). A geometria das peças é igualmente importante, visto que peças esbeltas, com largura menor do que o seu comprimento, e com formato triangular, com uma extremidade mais estreita, exibem melhores respostas – curvatura mais intensa e em menor tempo (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015).



**Figura 3.** Esquema das camadas dos componentes higroscopicamente responsivos de madeira.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

Para que se percebam as alterações nos elementos, a camada passiva deve ser de um material com baixa capacidade de absorção de umidade, além de resistir à múltiplos ciclos de deformação, pois a camada em questão auxilia na absorção dos esforços causados pela curvatura da camada ativa de madeira (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015). Materiais sintéticos de baixa higroscopicidade podem ser aplicados na camada passiva, como PET e resinas, assim como a madeira quando suas fibras estão posicionadas perpendicularmente ao eixo do movimento, embora essa aplicação não seja recomendada por gerar esforços internos desnecessários na peça (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015). A camada passiva pode ser aplicada diretamente sobre a lâmina de madeira, com o uso de materiais como resinas e polímeros, incluindo o uso de impressão 3D (DUIGOU et al., 2016; ZULUAGA; MENGES, 2015). Quando necessário, a união das camadas pode ser feita por meio de ligações mecânicas – parafusos e pregos – ou com o uso de adesivos, como colas a

base de poliuretano e silicones (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015).

## MÉTODOS E MATERIAIS

A pesquisa se desenvolveu em dois momentos: primeiro, de exploração do uso da madeira como material responsivo em componentes de duas camadas; e, depois, de investigação das possibilidades de introduzir este conteúdo como atividade prática em ateliê sobre arquitetura performativa, no formato de uma oficina de doze horas distribuídas em quatro dias.

Na etapa sobre o uso da madeira, estruturou-se uma metodologia de avaliação do desempenho das peças com base nos estudos de Holstov, Bridgens e Farmer (2015). Para a investigação em ateliê, a experiência de Davidova e Sevaldson (2016) serviu como base para estruturar o conteúdo a ser apresentado aos alunos.

### EXPERIMENTOS COM MADEIRA COMO MATERIAL RESPONSIVO EM COMPONENTES DE DUAS CAMADAS

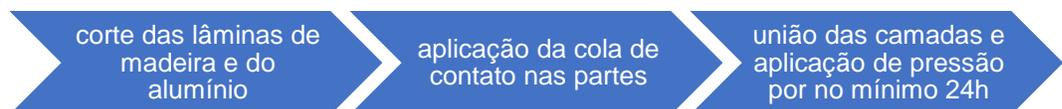
Inicialmente, foram determinados os critérios para escolha dos materiais a serem usados, fundamentados em pesquisas já realizadas (HOLSTOV; FARMER; BRIDGENS, 2017; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015). A definição de lâminas de madeira como material base ocorreu por conta da fácil trabalhabilidade das lâminas, que por sua espessura de 0,63 mm viabiliza o uso de instrumentos manuais simples, como estilete e tesoura.

Para a camada passiva, a escolha de alumínio fotográfico deu-se pelos seguintes motivos: inércia higroscópica; ausência de estudos relacionando madeira e metal no mesmo componente; espessura menor (em torno de 0,3 mm) do que a das lâminas de madeira e maior rigidez do que espécies de madeira em geral; bom manuseio com as mesmas ferramentas das lâminas; fácil acesso ao material. Adesivo de contato à base de borracha de policloropreno, adquirido em lata de 900ml, foi usado para união das camadas, uma vez que promove boa aderência entre as partes, mantendo certa elasticidade após o período de cura (24h), e ser higroscopicamente inerte.

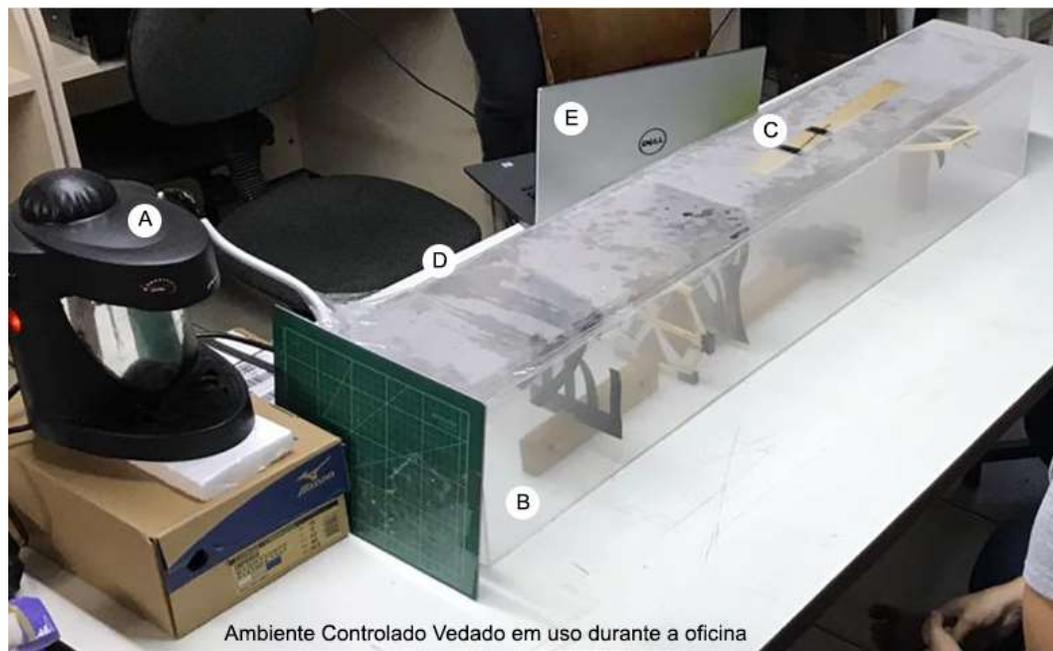
Sobre as características das espécies de madeira utilizadas, a baixa presença de nós e de veios (orientação das fibras) heterogêneos garantem um desempenho mais uniforme dos componentes (HOLSTOV; BRIDGENS; FARMER, 2015; REICHERT; MENGES; CORREA, 2015). Espécies oriundas de manejo florestal sustentável causam menor impacto ambiental (NAHUZ, 2013), por isso, verificou-se se as espécies das lâminas de madeira disponíveis no comércio local estavam listadas no Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) (NAHUZ, 2013). Além disso, as informações do catálogo suprimam a necessidade de dados técnicos das espécies, como densidade e dureza.

Com isso, chegou-se a seis espécies: angelim-pedra, cumaru, curupixá, garapa, muiracatiara, tauari. Descartou-se o uso de madeiras de reflorestamento como pinus e eucalipto por essas espécies apresentarem grande quantidade de nós. O procedimento de confecção das amostras foi feito manualmente, de acordo com a Figura 4. Cada amostra foi elaborada com dimensões de 4 x 12 cm, com as fibras da madeira na orientação transversal.

**Figura 4.** Procedimentos de confecção das amostras.  
**Fonte:** Elaborado pelos autores (2020).



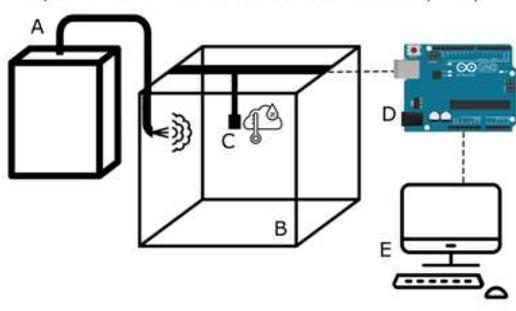
Os componentes com cada espécie foram testados num Ambiente Vedado Controlado (AVC), especialmente construído para esse fim, inspirado nas pesquisas de Holstov, Bridgens e Farmer (2015), e Reichert, Menges e Correa (2015) (Figura 5). O objetivo dos testes foi determinar qual espécie seria mais propícia para uso, em decorrência de sua resposta com a variação de umidade. Os critérios de avaliação das amostras (Figura 5) consideraram a intensidade de deformação em função do aumento da umidade em trinta minutos e o tempo de retorno para a forma inicial em ambiente não-controlado.



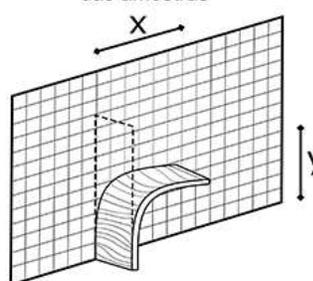
**Figura 5.** Ambiente vedado controlado e seu esquema de montagem: sistema de liberação de vapor manualmente acionado (A); caixa de acrílico vedada (B); sensor de umidade e temperatura (C); placa Arduino (D) para captação dos dados; e computador (E); e Esquema de avaliação de deformação das amostras: um plano milimetrado ao fundo possibilitou a medição dos eixos x e y antes (placa tracejada) e depois da liberação de vapor.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

Esquema do Ambiente Controlado Vedado (AVC)



Esquema do método de avaliação de deformação das amostras



Os procedimentos de testes estão na Figura 6, e o registro documental consistiu em fotografias e vídeos em *time lapse* feitos com a câmera de um *smartphone*, além dos dados sobre a variação de umidade dentro do AVC, obtidos com o sensor de umidade. Para diminuir a distorção da lente da câmera, as fotos foram digitalmente corrigidas com *software* de edição de imagem.

**Figura 6.** Procedimentos dos testes das amostras em AVC.

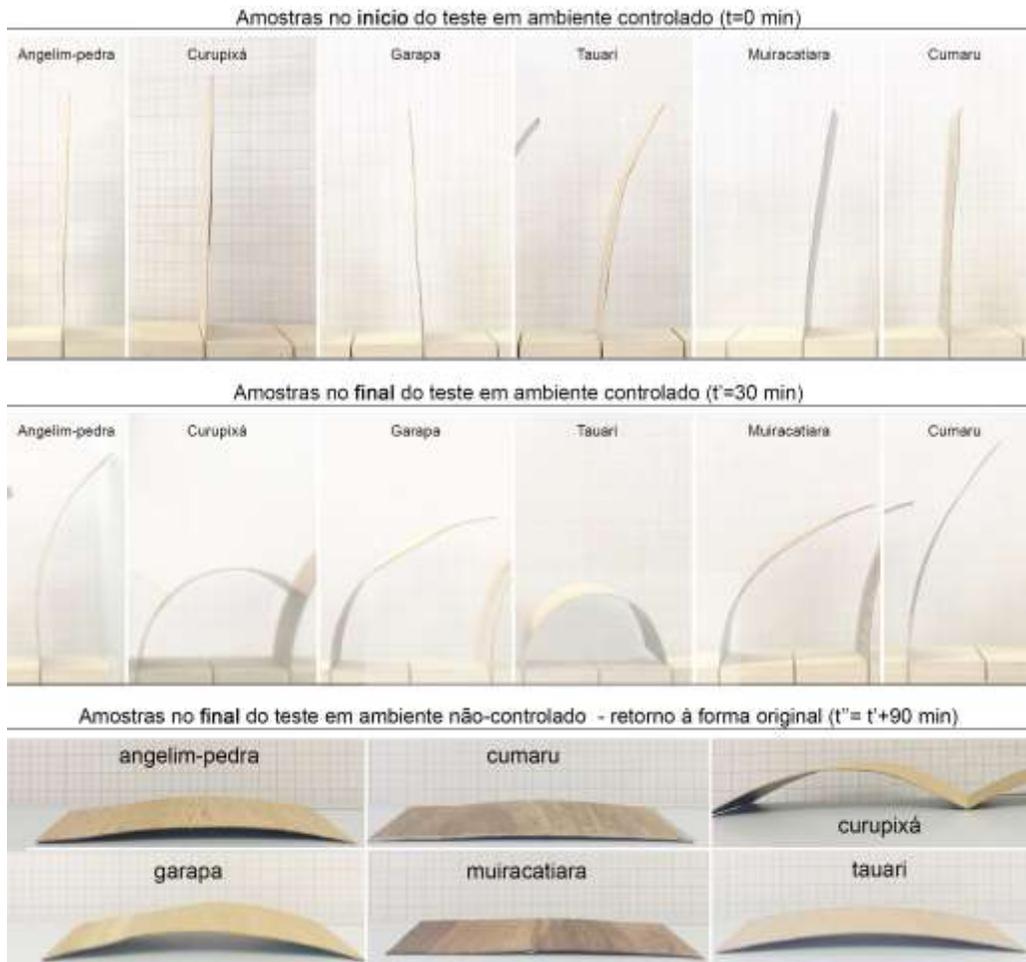
**Fonte:**  
Elaborado pelos autores (2020).



Após avaliação dos dados, observou-se que as madeiras de menor rigidez (angelim-pedra, tauari) apresentavam menor tempo de resposta e maior curvatura (Figura 7 – linha do meio). Entretanto, seu retorno à forma original em temperatura e umidade relativa no ambiente era mais lento do que as madeiras de maior rigidez (muiracatiara, cumaru), por vezes levando dias para voltar ao formato inicial (Figura 7 – linha inferior).

**Figura 7.** Amostras em momentos diferentes nos testes: acima, início no AVC; no meio, fim no AVC; abaixo: fim em ambiente não controlado.

**Fonte:**  
Elaborado pelos autores (2020).



Por seu melhor desempenho segundo os critérios descritos, elegeu-se a espécie muiracatiara para seguimento da pesquisa.

### METODOLOGIA DA OFICINA

Para estruturar a metodologia da oficina, utilizou-se como exemplo uma experiência didática, realizada na República Tcheca, sobre madeira como material responsivo (DAVIDOVA; SEVALDSON, 2016). No exemplo checo, desenvolveram-se duas oficinas, em 2013 e 2014, com duração de um semestre cada, e que fizeram parte de uma pesquisa sobre o uso de madeira maciça de maior espessura, como material responsivo. Nesse experimento, foram estabelecidas seis etapas (Figura 8), que resultaram na construção de um elemento de médio porte (em torno de 2m x 2m).

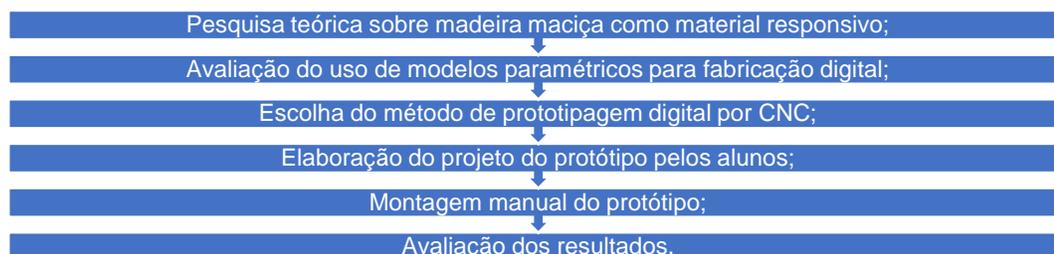


Figura 8. Etapas das oficinas na República Tcheca..

Fonte: Elaborado pelos autores (2020), com base em Davidova e Sevaldson, 2016.

Adaptações das etapas de Davidova e Sevaldson (2016) foram necessárias, considerando a disponibilidade de tempo para realização da oficina, a dificuldade dos alunos em utilizar *softwares* de parametrização, e a diferença de dimensões entre os materiais da oficina-referência e os estudados nesta pesquisa. Assim, as principais alterações na estrutura da oficina (Figura 9) foram a duração de quatro dias, o uso de ferramentas CAD (*Computer Aided Design*) para desenvolvimento dos protótipos e a troca de ferramenta de prototipagem digital, na proposta original uma máquina de corte CNC (*Computer Numeric Control*), e nesta pesquisa utilizou-se a uma cortadora a *laser*.

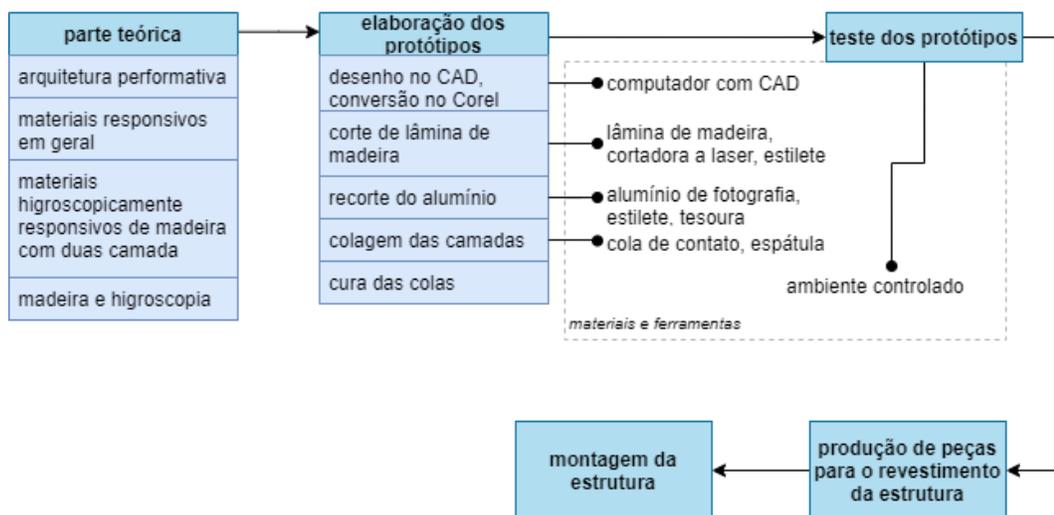


Figura 9. Estrutura da oficina.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Aproveitando-se do desenvolvimento de outra pesquisa em paralelo na mesma instituição, foi proposto aos alunos a aplicação dos elementos produzidos na oficina de arquitetura performativa em uma estrutura derivada de uma oficina sobre arquitetura *open source*.

De modo breve, *Arquitetura Open Source* (arquitetura de fonte aberta) é um processo de projeto que tem se desenvolvido com a ampliação de acesso à internet e o crescente

surgimento de laboratórios de fabricação e prototipagem rápida. Baseia-se no princípio de colaboração e compartilhamento de informações e arquivos, em um ambiente *online*, com o engajamento de uma comunidade para o desenvolvimento de projetos (SECCHI, 2019).

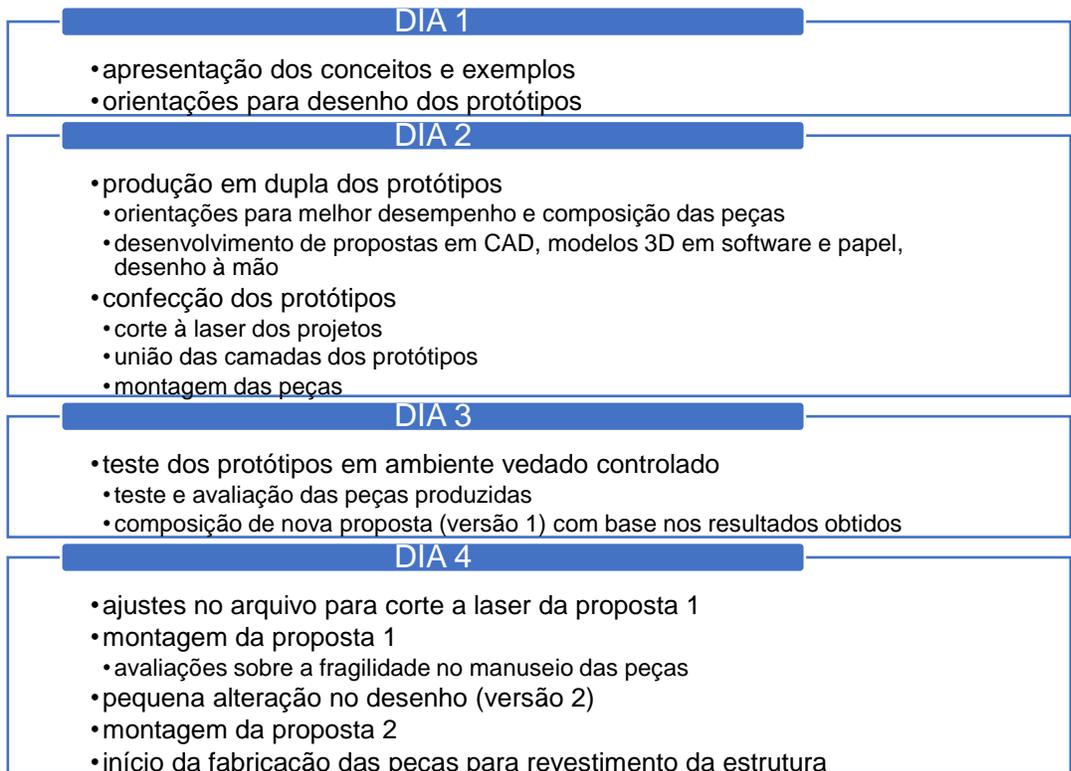
## OFICINA SOBRE ARQUITETURA PERFORMATIVA E MATERIAIS RESPONSIVOS

A oficina, dividida em duas etapas, foi realizada de modo colaborativo entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ) em cada estágio, com a participação de oito estudantes no primeiro momento, e sete na parte final de montagem da estrutura e colocação dos elementos responsivos. Uma parceria entre os laboratórios de prototipagem da rede Pronto 3D da UNOCHAPECÓ e da UFSC possibilitou a materialização de um projeto *open source*, derivado de uma oficina sobre o tema, para ser revestido com os componentes responsivos de madeira. Em ambas as etapas os participantes assinaram previamente o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa / Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CEP/CONEP), sob os Pareceres de números 3.056.766 e 3.229.280, respectivamente, para a primeira e segunda etapas.

A etapa inicial teve a duração de doze horas, distribuídas em quatro dias, e a Figura 10 apresenta o andamento da oficina. O primeiro dia teve menor duração e foi dedicado à apresentação do conteúdo teórico. No segundo dia, os participantes foram divididos em dupla e começaram o desenvolvimento dos desenhos dos componentes, e, em seguida procedeu-se a confecção dos protótipos (Figura 11). No encontro seguinte, os protótipos foram testados no ambiente vedado controlado (AVC), e observou-se grande interesse por parte dos alunos, com todos engajados no processo, comentando sobre as possíveis causas para o desempenho apresentado pelos seus componentes.

Figura 10. Resumo da oficina, separado por dia.

Fonte:  
Elaborado pelos autores  
(2020).

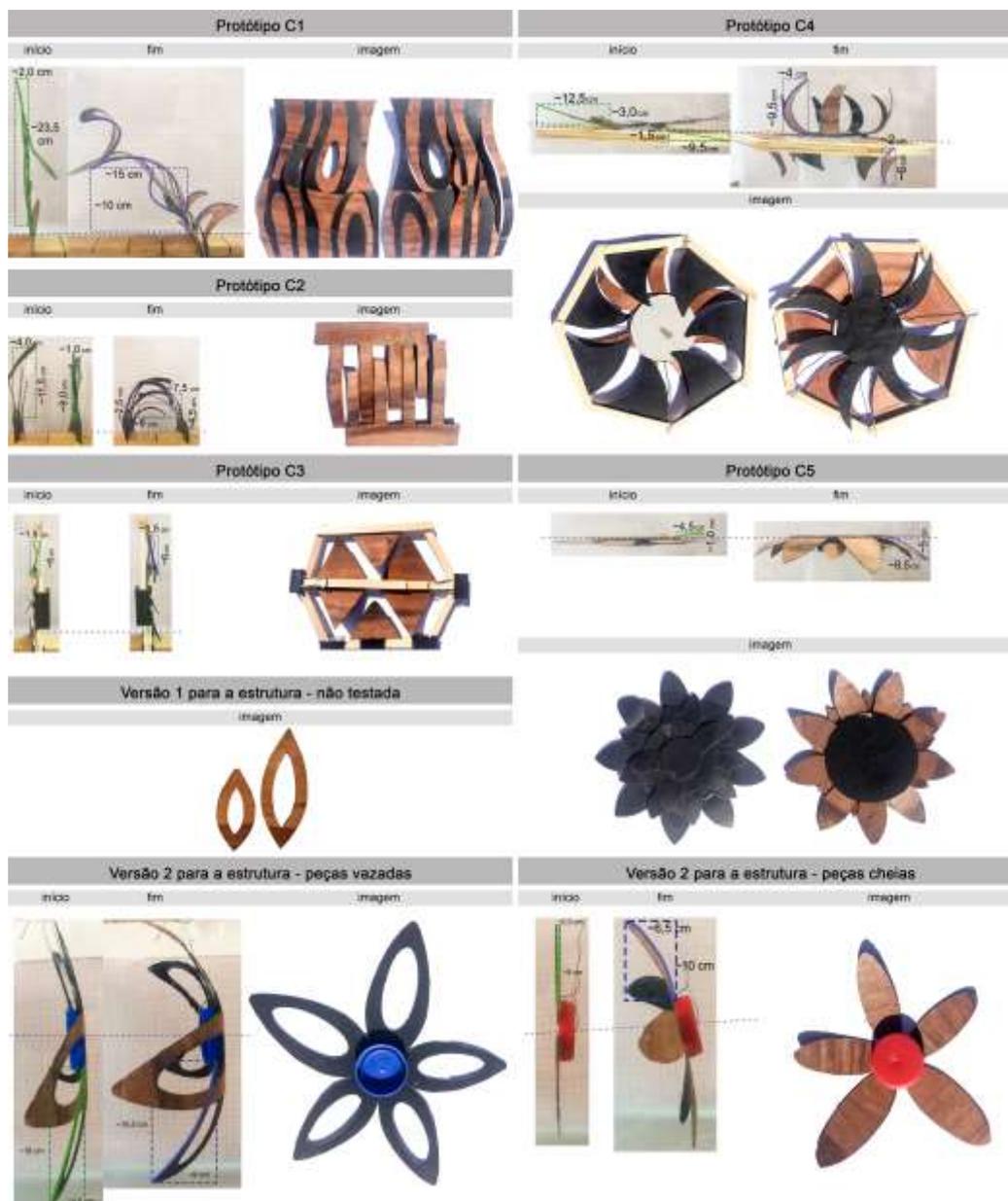




**Figura 11.** Etapas de montagem dos protótipos na oficina: corte a laser (Figura 12A); colagem da lâmina de madeira no alumínio (B); recorte do excesso de alumínio (C); montagem das partes de acordo com o projeto (D)..

Avaliando a resposta de cada peça, juntamente com o processo de fabricação e o efeito compositivo, foi sugerida a elaboração de um novo protótipo para ser usado como revestimento na estrutura do projeto *open source*. As características mais relevantes foram integradas, como a geometria mais alongada, lembrando pétalas, os recortes internos para aumentar a capacidade de curvatura, a concepção radial e a variação nos tamanhos para criar mais opções de composição (Figura 12).

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).



**Figura 12.** Protótipos produzidos durante a oficina: C1, C2, C3, C4 e C5 foram desenvolvidos pelos alunos. A Versão 1 foi criada a partir dos protótipos dos estudantes; a Versão 2 resultou de um ajuste da Versão 1.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2020).

O desenho para o corte da nova geometria foi concluído ao fim do terceiro dia, porém um atraso causado por um erro no arquivo alterou as atividades do quarto e último dia. Apesar de ter seguido as recomendações gerais para o corte a *laser*, o desenho gerou muitos segmentos de reta e, por conta disso, o arquivo não era lido pelo *software* da cortadora a *laser*.

Para revestir a estrutura, seriam necessários cerca de 120 componentes responsivos. Com o início da execução dessas peças, percebeu-se que sua geometria pontiaguda (Figura 12) era frágil e causava quebras de várias peças, gerando desperdício de material e tempo. Além disso, o recorte interno da peça estava sendo descartado, aumentando a quantidade de material inutilizável. Com essas considerações, optou-se por adaptar o desenho, de modo a diminuir as quebras e aproveitar melhor a matéria-prima. As pontas foram arredondadas e o recorte interno foi modificado para ser aproveitado como uma peça também. Desse modo, e com as duas variações de tamanho, foram obtidas quatro peças finais: vazada grande, vazada pequena, cheia grande e cheia pequena (Figura 12).

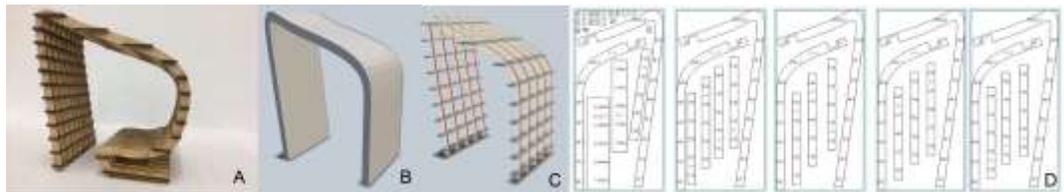
A versão 1 não foi testada no AVC pela falta de tempo provocada pelo já mencionado erro no arquivo. A versão 2 foi testada após o fim da oficina, e por ter apresentado boa resposta ao aumento da umidade, reproduziu-se a quantidade de peças necessárias para a estrutura a partir desta versão.

## ESTRUTURA REVESTIDA COM MATERIAL RESPONSIVO DE MADEIRA

Com o intuito de explorar a aplicabilidade prática dos elementos higroscopicamente responsivos de madeira como geradores de espaços transitórios e seu comportamento quando num ambiente não controlado, sujeito a variações de umidade, foi executada uma estrutura em MDF (*Medium Density Fiber*) 18 mm revestida com os componentes produzidos no final da oficina. O uso como revestimento, e não como um elemento arquitetônico independente, se deu por conta de limitações relacionadas ao tempo de montagem disponível e a questões de investimento financeiro possível.

O projeto foi desenvolvido em conjunto com a UNOCHAPECÓ, dentro de uma proposta de arquitetura *open source* (Figura 13). Foi possível adaptar o projeto em questão com o intuito de reduzir o consumo de material e facilitar a montagem em escala real, pois só havia sido montado em escala 1:25.

**Figura 13.** Projeto inicial do módulo em escala 1:25 (A) e sua adaptação (B e C), com o esquema de cortes das chapas de MDF (D).



**Fonte:**  
Elaborado pelos autores  
(2019).

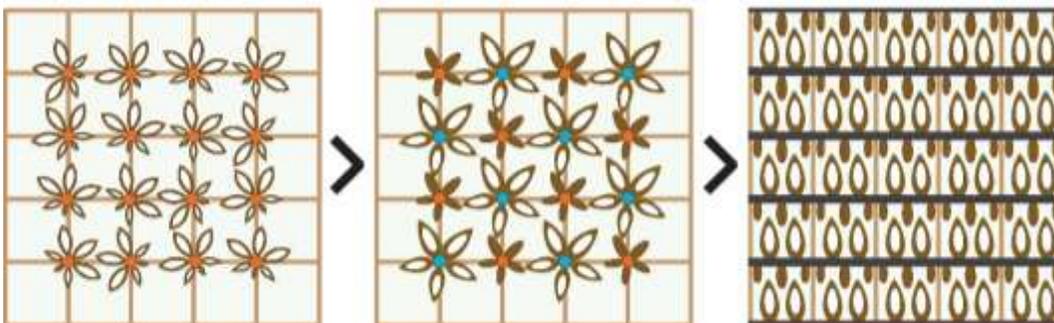
Antes do início da montagem, na UNOCHAPECÓ, foi explicado brevemente sobre o comportamento e a função dos componentes responsivos de madeira aos alunos que se disponibilizaram para ajudar na montagem da estrutura. As peças haviam sido previamente cortadas na máquina CNC e lixadas. O módulo adaptado levou cerca de duas horas para ser completado, com a participação de sete pessoas (Figura 14). A fixação das canaletas e a colocação das peças responsivas levou meia hora com sete pessoas. A estrutura foi finalizada com uma demão de verniz marítimo para proteção, o que levou mais quatro horas, em duas pessoas.



**Figura 14.** Montagem da estrutura e fixação das peças responsivas.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

A composição inicial das peças foi inspirada pelos protótipos de organização radial, formando uma flor, cujas pétalas são unidas por uma tampa de garrafa PET (Figura 15 A, B). Entretanto, considerou-se que essa configuração não promovia o fechamento necessário para o controle visual desejado. Uma composição em linha (Figura 15 C) foi então elaborada, e para a instalação dos componentes, utilizou-se canaletas de plástico para a fixação das peças na estrutura.



**Figura 15.** Evolução da geometria e das propostas de organização dos protótipos na estrutura.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

O comportamento dos elementos na estrutura foi registrado por meio de fotos, tiradas aproximadamente na mesma posição e nos mesmos horários, durante um mês. Foram feitos registros com umidade relativa entre 47% e 90%, conforme Figura 16. Observa-se que, apesar de a estrutura não estar completamente revestida, ainda assim é possível obter certo controle de permeabilidade visual, com uma barreira que promove a transição de espaços de modo gradual, gerado pela curvatura das peças.

**Figura 16.** Componentes responsivos da estrutura reagindo a diferentes percentuais de umidade relativa do ar.

**Fonte:**  
Elaborado pelos autores  
(2019).



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora a performance na arquitetura venha sendo discutida desde meados do século XX, foi com o avanço nas tecnologias de projeto e de construção, nas últimas duas décadas, que o tema voltou a ter destaque. Indo além da performance como desempenho, aspectos como interação com usuários e adaptação a mudanças no ambiente vêm ganhando destaque nos projetos.

A performance como manifestação artística reforça o papel analítico para a sociedade e nossas relações interpessoais que é intrínseco à arquitetura (GADANHO, 2007). O conhecimento de novas ferramentas e materiais é necessário para que a obra executada transmita as informações pretendidas pelo arquiteto.

Nesse contexto, a inserção do conteúdo sobre arquitetura performativa e materiais responsivos em ateliês de projeto visa capacitar tanto o pensamento crítico dos alunos quanto as habilidades técnicas projetuais. A abordagem com conteúdo teórico, para a fundamentação de conhecimentos, junto com a aplicação prática dos conceitos vistos reforça o aprendizado.

Esse posicionamento foi validado com as respostas dos participantes no questionário aplicado ao final da oficina (Tabela 1), em que foi possível verificar a satisfação dos estudantes com o método aplicado.

Temas abordados nas perguntas	Alternativas marcadas pelos participantes	Respostas dos 8 participantes
Fase do curso	Início (1ª – 3ª)	12%
	Meio (4ª – 7ª)	0%
	Fim (8ª – 10ª)	88%
Conhecimento anterior	Nenhum	12%
	Arquitetura Performativa	62%
	Materiais Responsivos	50%
	Materiais Responsivos de Madeira	25%
Compreensão do conteúdo	Muito Fácil	12%
	Fácil	88%
Dificuldades de Compreensão	Instruções para elaboração dos protótipos	25%
Dificuldades no desenho	Não	62%
	Sim	38%
Quais?	Inspiração para desenhar	25%
	Outras – compatibilização de <i>softwares</i>	13%
Dificuldades no trabalho manual	Não	50%
	Sim	50%
Quais?	Recortar o alumínio	25%
	Usar a cola (passar na madeira e alumínio)	38%
Tempo suficiente	Não	12%
	Sim	88%
Proporção teoria/ prática	Mais teoria	12%
	Mais prática	38%
	Adequada	38%
Relevância do conteúdo para formação	Muito relevante	38%
	Relevante	62%
Aplicação futura	Muito provável	25%
	Provável	50%
	Indiferente	25%
Incorporação ao ensino de arquitetura	Sim	100%

**Tabela 1.** Dados obtidos com as respostas dos participantes no questionário.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2019).

Tanto pelos resultados obtidos com as respostas dos questionários como pela observação durante a realização da oficina, percebe-se um grande interesse dos alunos pelos assuntos relacionados a arquitetura performativa e materiais responsivos. Estes temas são pouco abordados nos ateliês, mas que, com o desenvolvimento de novas tecnologias construtivas e de projeto, têm se tornado cada vez mais relevantes e atuais (BAROZZI et al., 2016). Percebe-se uma crescente propensão a explorar questões mais voltadas à expressão cultural, apoiando-se no conhecimento de tecnologias: “Neste sentido, considera-se importante a familiarização do arquiteto com os materiais que compõem os compósitos, assim como os métodos de fabricação, de forma a explorar o potencial dos compósitos para soluções adaptativas climaticamente” (BARNUEVO, 2017).

O formato de oficina, para apresentação e discussão do conteúdo em questão, provavelmente é mais adequado para atividades extracurriculares, como em semanas acadêmicas e cursos de extensão. Para o ateliê, o mais indicado ainda seriam aulas teóricas, se possível com amostras e exemplos de arquiteturas e outros materiais responsivos.

Em relação ao estudo que serviu de base metodológica para a oficina (DAVIDOVA; SEVALDSON, 2016), observou-se uma apropriação similar do conteúdo por parte dos alunos, ao compreenderem a necessidade de conciliar as necessidades do projeto com as características do local no qual se insere. Isso envolve ter um entendimento do comportamento dos materiais e das tecnologias que se pretende aplicar no edifício. Ao manusear um material conhecido – a madeira – e aprendendo como tomar partido de suas propriedades de modo a trabalhar positivamente para o projeto, o conhecimento é incorporado de maneira mais eficiente.

O formato da oficina, com materiais de baixo custo, permite a sua inserção em múltiplos cenários de ensino, mesmo aqueles que não contam com ferramentas de prototipagem digital. O corte a laser diminui o tempo de produção dos componentes e facilita a execução de desenhos mais complexos, entretanto, as lâminas de madeira podem ser cortadas com ferramentas manuais como tesoura e estilete, assim como o alumínio fotográfico utilizado na camada passiva.

Com mais tempo disponível, torna-se possível a inclusão de capacitação prévia em *softwares* de parametrização, para os casos em que os participantes não conheçam essas ferramentas. O desenvolvimento dos protótipos seria facilitado por meio de modelos paramétricos, podendo inclusive contar com uma simulação de seu comportamento. Uma duração maior também permitiria aos estudantes mais envolvimento com o projeto do componente, estabelecendo um vínculo com o problema e desenvolvendo mais ideias.

Por outro lado, uma atividade mais longa provavelmente pode ser mais bem aproveitada como atividade extracurricular ou como disciplina optativa, em que outros materiais podem ser explorados como camada passiva. Uma adaptação do ambiente vedado controlado para que fosse possível a diminuição da umidade interna em curto espaço de tempo tornaria viável a exploração dos efeitos com valores de umidade relativa do ar menores do que os do ambiente real.

Por fim, a aplicação dos elementos desenvolvidos na oficina em uma estrutura física em escala real demonstra de forma prática um dos possíveis usos para esse tipo de material, ainda que de modo limitado nesta pesquisa. Uma estrutura maior, com mais componentes, poderia ser mais efetiva ao criar espaços de transição. A exposição a intempéries proporcionaria a avaliação da durabilidade dos componentes em uma situação de uso com maior variabilidade da umidade.

### ***Agradecimentos***

Agradecemos à CAPES pelo financiamento desta pesquisa, aos alunos que participaram da oficina, e aos laboratórios Pronto 3D Florianópolis e Chapecó pelo apoio.

### **Referências Bibliográficas**

- ADDINGTON, D. Michelle; SCHODEK, Daniel L. **Smart Materials and New Technologies: For the architecture and design professions**. Burlington, MA: Elsevier, 2005.
- ANDRADE, Max Lira Veras Xavier de. **Projeto performativo na prática arquitetônica recente: Estrutura Conceitual**. 2012. 472 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.
- BARNUEVO, Thales. **Superfícies Dinâmicas Funcionais: o potencial de tecnologias responsivas para a construção de fachadas**. 2017. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- BAROZZI, Marta et al. The Sustainability of Adaptive Envelopes: developments of kinetic architecture. **Procedia Engineering**, Bruxelas, v. 155, p. 275-284, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.029>.
- DAVIDOVÁ, Marie; SEVALDSON, Birger. 1:1: A Transdisciplinary Prototyping Studio. In: SŁYK, Jan; BEZERRA, Lia (Ed.). **Education for Research, Research for Creativity**. Warszawa: Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej, 2016. p. 302-308.
- DERAKHSHI, Sareh Saeidi. Rethinking The Performance of Envelopes in Architecture. **International Journal Of Design Sciences And Technology**. Paris (França), p. 7-37. dez. 2017. Disponível em: <<http://ijdst.europia.org/index.php/ijdst/article/view/1>>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- DUIGOU, A. Le et al. 3D printing of wood fibre biocomposites: From mechanical to actuation functionality. **Materials & Design**, França, v. 96, p.106-114, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2016.02.018>.
- GADANHO, Pedro. **Architecture as Performance**. 2007. Disponível em: <https://shrapnelcontemporary.wordpress.com/archive-texts/architecture-as-performance/>. Acesso em: 05 maio 2020.
- GÓMEZ, Liliana. A conversation with Bernard Tschumi: movements, positions, and moments of translating/rotating in architectural thinking. **Puntocero Magazine**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 1-12, fev. 2006.
- HENRIQUES, Gonçalo Castro; "Sistemas responsivos: relevância, estado da arte e desenvolvimentos", p. 200-206. In: . São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2318-6968, ISBN: 978-85-8039-136-7 DOI 10.5151/despro-sigradi2015-60042
- HENSEL, Michael Ulrich. Performance-oriented Architecture and the Spatial and Material Organisation Complex. Rethinking the Definition, Role and Performative Capacity of the Spatial and Material Boundaries of the Built Environment. **Formakademisk**, Oslo, v. 4, n. 1, p.3-23, 8 mar. 2011. Oslo and Akershus University College of Applied Sciences. <http://dx.doi.org/10.7577/formakademisk.125>.
- HOLSTOV, Artem; BRIDGENS, Ben; FARMER, Graham. Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture. **Construction And Building Materials**, Reino Unido, v. 98, p.570-582, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.136>.
- HOLSTOV, Artem; FARMER, Graham; BRIDGENS, Ben. Sustainable Materialisation of Responsive Architecture. **Sustainability**, Suíça, v. 9, n. 3, p.435-455, 16 mar. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su9030435>
- KOLAREVIC, Branko. Towards the performative in architecture. In: KOLAREVIC, Branko; MALKAWI, Ali (Ed.). **Performative architecture: beyond instrumentality**. New York, NY: Spon Press, 2005. Cap. 15. p. 203-213.
- LELIEVELD, Charlotte. **Smart Materials For The Realization Of An Adaptive Building Component**. 2013. 146 f. Tese (Doutorado) - Faculty Of Architecture, Delft University Of Technology, Delft, 2013. Disponível em: <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A21ba183b-450e-45a1-bc89-24799586735c>>. Acesso em: 12 fev. 2019

LENZ, Daniel; CELANI, Gabriela. Performative architecture: Uma arqueologia tecnológica. **Vitruvius: Arqtextos**, São Paulo, v. 186, n. 04, p.1-10, nov. 2015.

NAHUZ, Marcio Augusto Rabelo (Org.). **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2013.

NISENBAUM, Marcio; "O conceito de Performance e sua apropriação no campo do Design Computacional", p. 101-106. In: **XX Congresso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital [=Blucher Design Proceedings**, v.3 n.1]. São Paulo: Blucher, 2016. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/despro-sigradi2016-595

REICHERT, Steffen; MENGES, Achim; CORREA, David. Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness. **Computer-aided Design**, [s.l.], v. 60, p.50-69, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2014.02.010>.

SECCHI, Carla Cristina. **ARQUITETURA OPEN SOURCE: capacitação, criação e materialização com suporte da fabricação digital**. 2019. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Cap. 3.

SKAAR, Christen. **Wood-Water Relations**. Syracuse, NY: Springer, 1988. 263 p.

WALKER, John C. F. **Primary Wood Processing: Principles and Practice**. 2nd. ed. Dordrecht: Springer, 2006. 603 p.

VAILATI, C. et al. An autonomous shading system based on coupled wood bilayer elements. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 158, p.1013-1022, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.042>.

VIDAL, Jackson Marcelo et al. PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS NO BRASIL: HISTÓRICO, CENÁRIO ATUAL E TENDÊNCIAS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p.257-271, mar. 2015.

ZULUAGA, David Correa; MENGES, Achim. 3D Printed Hygroscopic Programmable Material Systems. **Mrs Proceedings**, [s.l.], v. 1800, p.1-8, 2015. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1557/opl.2015.644>.

Gladys I. K. Taparello

[gladystaparello@gmail.com](mailto:gladystaparello@gmail.com)

Patrícia T. Luciano

[patriciaturazzi@gmail.com](mailto:patriciaturazzi@gmail.com)

Carla C. Secchi

[cah\\_secchi@unochapeco.edu.br](mailto:cah_secchi@unochapeco.edu.br)

Carlos E. V. Vaz

[cevv00@gmail.com](mailto:cevv00@gmail.com)