



---

## CONTEXTUALIZAÇÃO

Antes de aprofundar o processo de desenvolvimento da investigação, busca-se esclarecer de onde se iniciou: da biomimética. Pois estudos em fisiologia, comportamento e morfologia dos organismos da natureza revelam oportunidade para a inovação e podem ser aliados a materiais de mudança de forma para a concepção algorítmica. E, assim, gerar soluções de fachada adaptável e responsiva a diferentes condições climáticas. Nesse sentido, almeja-se repensar o elemento de fachada inspirado no cobogó para o contexto climático de Lisboa a partir de analogia nos movimentos das plantas, *brainstorming* e processo de cocriação, experimentação do material inteligente – o bimetal – e design paramétrico. Espera-se, neste trabalho, sintetizar os aspectos metodológicos que contribuíram para definir os requisitos de desenvolvimento da investigação.

---

# INTRODUÇÃO

A busca pelo equilíbrio entre a redução do consumo energético e dos recursos naturais pode contribuir para o desenvolvimento de soluções de fachadas sustentáveis. Mas como propor módulos para a fachada com capacidade cinética? Basta olhar à nossa volta e bioaprender com a natureza a partir de suas lições de autossuficiência, eficazes e eficientes (ESTÉVEZ, 2021). A natureza usa apenas essencialmente o que precisa (BENYUS, 2012). Fachadas, pelas arquitetônicas ou envelopes do edifício têm um relevante papel na regulação e no controle dos resíduos energéticos, uma vez que intermedeiam a relação entre as condições ambientais externas e os requisitos desejados para o interior dos espaços construídos (LÓPEZ *et al.*, 2017). Para Sung:

o envelope de um edifício deve ser considerado mais como a pele de um organismo, que tem uma relação ecológica com o seu ambiente, então precisa de atuar como um mediador dinâmico entre os dois ambientes (interior e exterior) e menos como a parede impenetrável.<sup>01</sup> (2016, p. 96)

Estudos recentes intensificam o desenvolvimento de soluções que unem a bioinspiração a pesquisa de materiais e modelagem digital, a fim de ampliar a capacidade de resposta das fachadas às condições ambientais (FIORITO *et al.*, 2016) ao mesmo tempo que promovem a sustentabilidade (BENYUS, 2012), reduzem o consumo energético, aprimoram a performance e a inteligência dos sistemas de fachadas. Uma compreensão detalhada dos movimentos das plantas quando aplicada à arquitetura pode inspirar o desenho de fachadas adaptáveis e responsivas (FIORITO *et al.*, 2016; LÓPEZ *et al.*, 2017; SCHLEICHER *et al.*, 2015).

---

01 “the envelope of a building is to be considered more like the skin of an organism, which has an ecological relationship with its environment, then it needs to perform as a dynamic mediator between the two environments (interior and exterior) and less like the impenetrable wall of a capsule ignorant to its surroundings” (SUNG, 2016, p. 96).

Os materiais inteligentes com mudança de forma, por sua vez, são utilizados para desenvolver fachadas cinéticas que se adaptam a diferentes condições climáticas (VAZQUEZ; RANDALL; DUARTE, 2019). Os materiais mais frequentemente utilizados são ligas de memória de forma, biocompósitos à base de madeira; seguidos de bimetais, polímeros eletroativos, compostos bimetálicos, polímeros de memória de forma e hidrogel (VAZQUEZ; RANDALL; DUARTE, 2019).

A presente investigação visa repensar elemento de fachada por inspiração no cobogó e no movimento das plantas. O cobogó é um elemento construtivo – símbolo da arquitetura moderna brasileira – que teve o seu processo de produção patenteado em 1929, em Recife (PE) (VIEIRA; BORBA; RODRIGUES, 2013). Possui a função de ventilar, iluminar, filtrar a incidência da luz solar e promover a privacidade (CAMACHO; SACHT; VETTORAZZI, 2018). Encontram-se artefatos semelhantes ao cobogó em diferentes partes do mundo, sob diferentes nomenclaturas e processos de produção (MARSHALL; WARD, 2019). No futuro, pretende-se propor módulo para fachada com capacidade cinética inspirado nessas duas abordagens: cobogó e movimento nástico. O desenvolvimento oferece oportunidade para redução do consumo energético, de modo a colaborar para a promoção do conforto do ambiente construído. A presente investigação faz parte do doutoramento em design em andamento, em regime de cotutela entre a Universidade de Lisboa e a Universidade Federal de Pernambuco.

---

## MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades humanas frente à natureza receberam diferentes nomenclaturas, como: *biomimetics*, *bionics* e *biomimicry* (ARRUDA, 2018; KURU *et al.*, 2019). Para este estudo, será adotado o termo *biomimetic* (em português, biomimética), do grego *bios* (vida) e *mimesis* (imitação). Nos anos 1960, Otto H. Schmitt definiu o termo biomimética com o objetivo de diferenciar o conhecimento advindo da biofísica e destacar o potencial de inovação da natureza (MAZZOLENI, 2013). A biomimética permite desenvolver analogias com a natureza para desenvolver soluções projetuais a partir de uma linguagem



transdisciplinar que liga os projetistas aos biólogos (OLIVEIRA, 2019) e à tecnologia (MAZZOLENI, 2013).

De acordo com Badarnah e Kadri (2014), existem duas abordagens metodológicas principais que abarcam diferentes terminologias para processos de biomimética, a saber:

(a) *Solution-based (Bottom-up)* – a observação da natureza leva a um desenho tecnológico, sendo encontrada também como *biology to design*, *biomimetics by induction* e baseada em solução;

(b) *Problem-based (Top-down)* – busca uma solução da natureza para um problema específico de engenharia. E pode ser encontrada com diferentes nomenclaturas, nomeadamente: *challenge to biology*, *biomimetics by analogy* e baseada em problemas.

A abordagem metodológica de biomimética utilizada é a baseada em problemas (*Top-down*) (BADARNAH, 2012; OLIVEIRA, 2019), a qual pode possibilitar a criação de cenários, sobretudo quando se tem um problema em mãos e se tem a intenção de identificar ideias biológicas para desenvolver soluções (BIOMIMICRY 3.8, 2015).

A metodologia da investigação está estruturada em cinco fases interdependentes, nomeadamente: (1) âmbito, (2) descobrir, (3) conceituar, (4) solucionar e (5) avaliar, a partir de referências de abordagens de biomimética desenvolvidas por Arruda (2020), Biomimicry 3.8 (2015), López *et al.* (2017) e Oliveira (2019) (Figura 1).

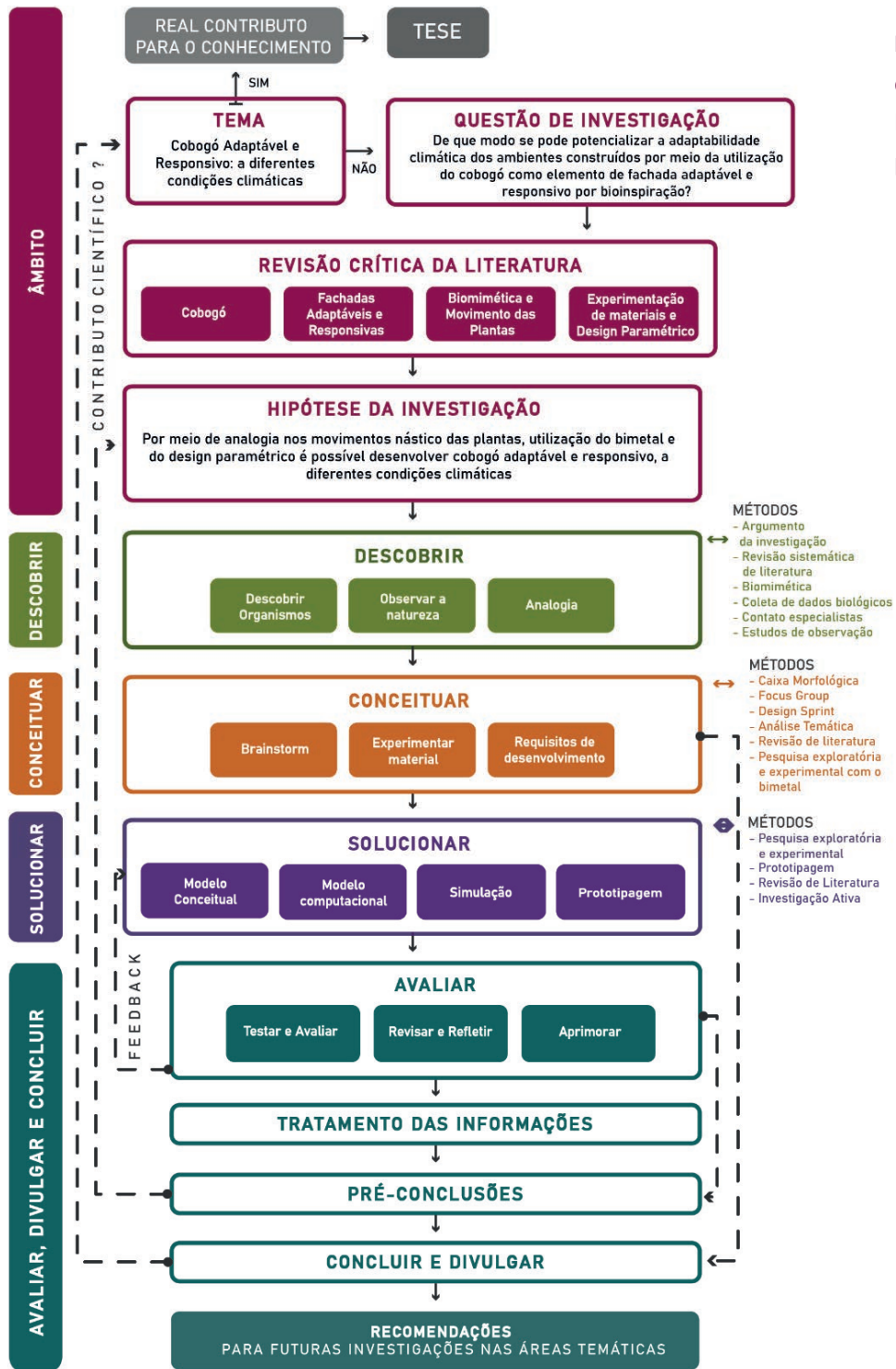


**Figura 1** Metodologia da Investigação.

Fonte: adaptada de Andrade *et al.* (2021a).

Muito embora as fases na Figura 1 estejam representadas de modo cíclico, entende-se que o processo de desenvolvimento de projeto possui uma abordagem de pensamento sistêmico, que admite retrocessos, realimentações de informações e feedbacks para alcance de melhores resultados (BÜRDEK, 2006). O presente estudo contempla as três primeiras fases do processo metodológico. O desenho da investigação demonstra síntese de etapas por fase, assim como métodos e ferramentas utilizados (Figura 2).

Para cada fase, foram desenvolvidos gráficos-sínteses sobre as atividades desenvolvidas no âmbito da investigação, os quais serão exemplificados à medida que se apresentam as etapas de trabalho (como as Figuras 3 e 4).



**Figura 2** Desenho de investigação.  
Fonte: elaborada pelos autores (2022).

---

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

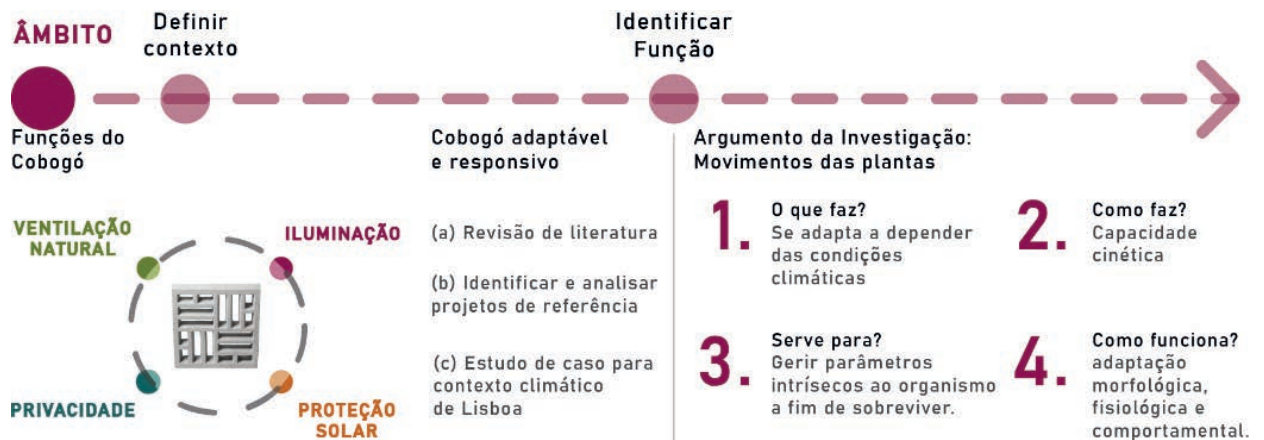
## 1. FASE: ÂMBITO

Para consolidar os requisitos de conhecimento, desenvolve-se continuamente a revisão de literatura, a qual contempla estudos sobre: cobogó; fachadas adaptáveis e responsivas; biomimética, movimentos nástico das plantas e projetos de referência; modelo computacional (teoria e aprendizagem prática da modelação paramétrica); e material inteligente de mudança de forma.

O artigo da pesquisa principal, *Toward adaptable and responsive facades: using strategies for transforming of the material and bio-based materials in favor of sustainability* (ANDRADE *et al.*, 2021c) apresenta análise qualitativa de onze propostas de fachadas e instalações. Buscou-se identificar tendências em materiais e tecnologias que contribuem para a adaptação climática das construções em prol da sustentabilidade. Os projetos selecionados satisfazem os critérios de apresentar diferentes estratégias reversíveis para transformar o material e/ou materiais de base biológica.

Para repensar o cobogó, adotou-se um contexto climático díspare do Nordeste brasileiro: o clima do município de Lisboa, em Portugal, o qual possui quatro estações bem definidas. A área tem verões quentes e secos e invernos suaves (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2021). Lisboa possui clima temperado, fortemente influenciado pela corrente do Golfo (IPMA, 2019; OLIVEIRA, 2019). As temperaturas máximas e mínimas médias anuais são de 21 °C e 13,7 °C (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2021). No entanto, apresenta fortes oscilações diárias, com picos expressivos na estação quente, mas quase nunca baixando abaixo de zero na estação fria.

Com relação à abordagem biomimética, definiu-se um recorte para as plantas por entender que estas se assemelham aos edifícios, que não podem escapar às condições ambientais adversas como fazem os animais (AZCON-BIETO; TALON, 2008; LÓPEZ *et al.*, 2017). Utilizou-se o método proposto por Arruda (2020) para identificar o argumento da investigação a partir da definição: “o que faz”; “como faz”, “serve para” e “como funciona” (Figura 3).



Segundo o autor, o argumento da investigação não corresponde ao fenômeno da natureza a ser tratado, mas aborda sua função sob ótica que busca ampliar o conhecimento para favorecer a discussão e a compreensão em diversos níveis de complexidade. No caso da investigação em questão: o movimento das plantas.

## 2. FASE: DESCOBRIR

A observação dos movimentos das plantas começou na época dos gregos antigos, sendo amplamente investigada entre os séculos XVII e XIX, e de relevância científica na atualidade (RIVIÈRE; DERR; DOUADY, 2017). Destaca-se a obra *The Power of Movement in Plants*, de 1880, cuja autoria pertence a Charles Darwin. O autor analisou o comportamento de plantas, que muitas vezes é imperceptível ao observador (DARWIN, 2009). Muitos dos movimentos vegetais implicam em “movimento” para aperfeiçoar a sua relação com o meio (AZCONBIETO; TALON, 2008; KOLLER; VOLKENBURGH, 2011) e proporcionar aquisição de nutrientes, sistema de defesa, polinização ou dispersão de sementes (CHARPENTIER *et al.*, 2017).

As plantas fixas apresentam tipicamente duas categorias de movimento: tropismo e nástico. O tropismo corresponde aos movimentos que implicam no crescimento do órgão orientado por um sinal ambiental (GUO *et al.*, 2015), como desenvolvimento do caule da planta em direção à luz. Já os movimentos násticos referem-se aos movimentos mecânicos, não direcionais em resposta a estímulos externos e que não dependem da direção do estímulo desencadeador

**Figura 3** Fase Âmbito.

Fonte: elaborada pelos autores (2022).

**Figura 4** Fase descobrir. Fonte: adaptada de Andrade et al. (2021a).

(ANDRADE et al., 2020; FIORITO et al., 2016; SCHLEICHER et al., 2015); temos, por exemplo, a abertura e o fechamento de uma flor para diferentes horários do dia ou, ainda, para promover osmorregulação hídrica. Assim, os organismos reagem a partir de estruturas flexíveis e sensíveis às condições ambientais. Para Rivière, Derr e Douady (2017), a direção dos movimentos násticos é ditada por assimetrias intrínsecas na anatomia das plantas.

A fase “descobrir” possui três etapas, a saber: descobrir organismos, observar a natureza e analogia (Figura 4). Definiram-se os movimentos násticos como objeto de estudo.



A revisão sistemática de literatura publicada no artigo intitulado *Overview of nastic movements in plants: a data collection for developing responsive facades* (ANDRADE et al., 2020) identificou e classificou diferentes tipos de movimentos násticos das plantas e estratégias de organismos (Figura 5).





Foram definidos os seguintes critérios para selecionar o organismo de referência: a) ser acessível em Lisboa, para permitir estudos de observação; e b) a planta deve necessariamente apresentar movimento. Biólogos profissionais apoiaram a investigação na procura de um organismo compatível com os critérios de seleção. Sugeriram alguns organismos, e, após uma pesquisa extensiva, identificou-se a *Ammophila arenaria* como um sistema biológico relevante (Figura 6). Considera-se que a interação multidisciplinar com três biólogos de diferentes nacionalidades (portuguesa, italiana e brasileira) foi crucial para a definição do organismo de referência. Selecionou-se a *A. arenaria* como objeto de estudo porque cumpre com os dois critérios de seleção supracitados: facilmente acessível na faixa litorânea de Portugal (COSTA; CUNHA, 2019; SOCIEDADE PORTUGUESA DE BOTÂNICA, n.d.) e movimento reversível foliar (CHERGUI; HAFID; MELHAOUI, 2017; HUISKES, 1979).

A anatomia das folhas *Ammophila arenaria* permite o movimento reversível ao se adaptar ao estresse hídrico e salino (CHERGUI; HAFID; MELHAOUI, 2017). Tal estratégia corresponde à tipologia de um movimento nástico – o movimento hidronástico –, que reduz a transpiração, a desidratação das folhas e a intercepção de luz (KADIOGLU *et al.*, 2012) para osmorregulação hídrica. A presença de células buliformes nas criptas estomáticas é essencial para permitir o rolamento foliar (CHERGUI; HAFID; MELHAOUI, 2017).

Três categorias foram conceituadas para identificar os níveis de

**Figura 5** Desenvolvimento da revisão sistemática de literatura segundo método PRISMA (MOHER *et al.*, 2015) e de registro de dados do organismo (LÓPEZ *et al.*, 2017). Fonte: adaptada de Andrade *et al.* (2020).

adaptação da planta sob análise: a) fisiológica (respostas a partir de processos químicos e características fisiológicas); b) comportamental (ações dos organismos para sobreviver. Essa categoria marca uma interação entre o organismo e o seu ambiente); e c) morfológica (tamanho, forma e padrão dos organismos – tendências de segmentação da superfície – ou estrutura dependendo do ambiente climático) (BADARNAH; KADRI, 2015; LÓPEZ *et al.*, 2017). A Figura 6 demonstra síntese das diferentes estratégias da *A. arenaria*, segundo primeira etapa do método proposto por López *et al.* (2017).

Adotou-se o processo de observação para explorar e compreender a morfologia e o comportamento de *A. arenaria* a partir de dois estudos de observação (ANDRADE *et al.*, 2021a). O primeiro estudo buscou identificar o movimento reversível foliar, de cinco amostras, por desidratação e reidratação, e produziu a média foliar. O segundo estudo objetivou identificar os aspectos morfológicos de *A. arenaria* para criar um padrão de dobras a partir da localização das células buliformes nas criptas estomáticas. Segundo Rascio *et al.* (2012), a posição dessas células determina o padrão de abertura e fechamento das folhas.



**HID**

*Ammophila arenaria*

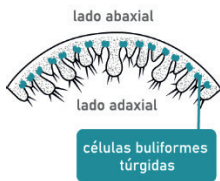
**CLIMA**

Lisboa - PT  
clima temperado com  
verão quente e seco, e  
invernos amenos.

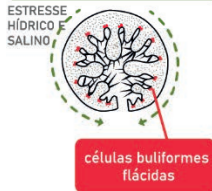
T(ma) 21°C  
T(mi) 13.7°

secção transversal foliar

**FOLHA ABERTA**



**FOLHA FECHADA**



**O QUE ?**  
(adaptação,  
abordagem e sistema)

**Movimento reversível foliar**

**PORQUE?**  
(desafio)

Sofisticada adaptação das folhas ao stresse hídrico e salino para evitar a transpiração excessiva e protecção contra radiação excessiva.

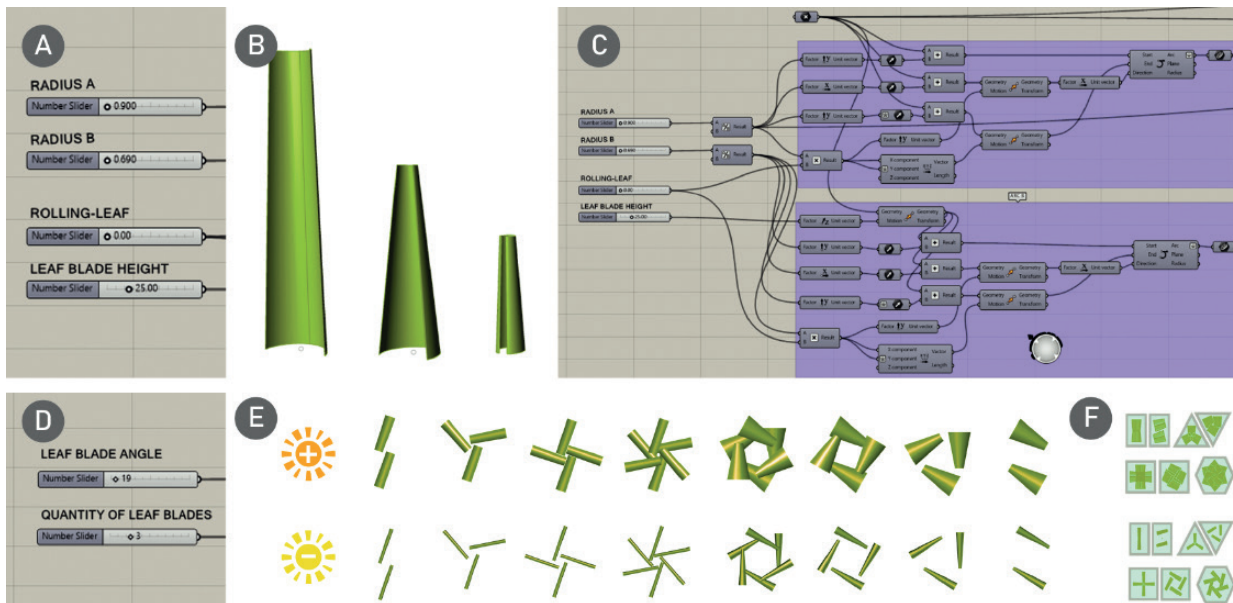
**COMO?**  
(função, característica principal do processos)

- **FISIOLÓGICO**
  - (a) **Células buliformes (células motoras):** responsável pela rolagem foliar, através de mecanismo que controla a osmoregulação. Estão situadas no fundo das criptas estomáticas (que formam nervuras no lado adaxial da folha).
  - (b) **Estomas:** localizadas ao longo das encostas do sulco (criptas estomáticas). Quando as células buliformes perdem água, os sulcos fecham-se, impedindo assim perda excessiva.
- **COMPORTAMENTAL**
  - (a) **Mecanismo de rolamento foliar:** movimento reversível de abertura e fechamento das folhas como resposta às condições ambientais.
- **MORFOLÓGICA**
  - (a) **Posição:** a localização das células bulliformes na epiderme determinam o padrão de fechamento das folhas (textura);
  - (b) **Forma foliar: geometria longilínea; fechamento das folhas cônicas** (as extremidades do arco superior e inferior tendem a encontrar-se, e podem formar um círculo quando fechadas); **forma da secção transversal** (lado abaxial liso, e lado adaxial com sulcos que acompanham toda a altura foliar). O lado adaxial é densamente coberto por pelos;
  - (c) **Pelos foliares:** adaptação que protege o estomas, de modo a contribuir para a redução das trocas gasosas da planta.
  - (d) **Cutícula externa (cor e textura):**  
    - lado abaxial: cutícula externa espessa e clara aumenta o coeficiente refletor, protegendo a planta da radiação.
    - lado adaxial: camadas epidérmicas exteriores hidrofóbicas, proporcionam um revestimento ceroso, que evita a perda de água;
  - (e) **Morfologia da secção transversal:** orgânica.

NATUREZA

De acordo com Arruda (2018), uma analogia biomimética é uma ação de interpretação das referências da natureza. Por conseguinte, é essencial compreender e captar o princípio de como algo acontece na natureza e depois aplicá-lo a novos conhecimentos. Durante a etapa de analogia, desenvolveu-se um algoritmo preliminar em referência aos dados identificados no primeiro estudo de observação (Figura 7; ANDRADE *et al.*, 2021a).

**Figura 6** Características da *Ammophila arenaria*.  
Fonte: elaborada pelos autores (2022).



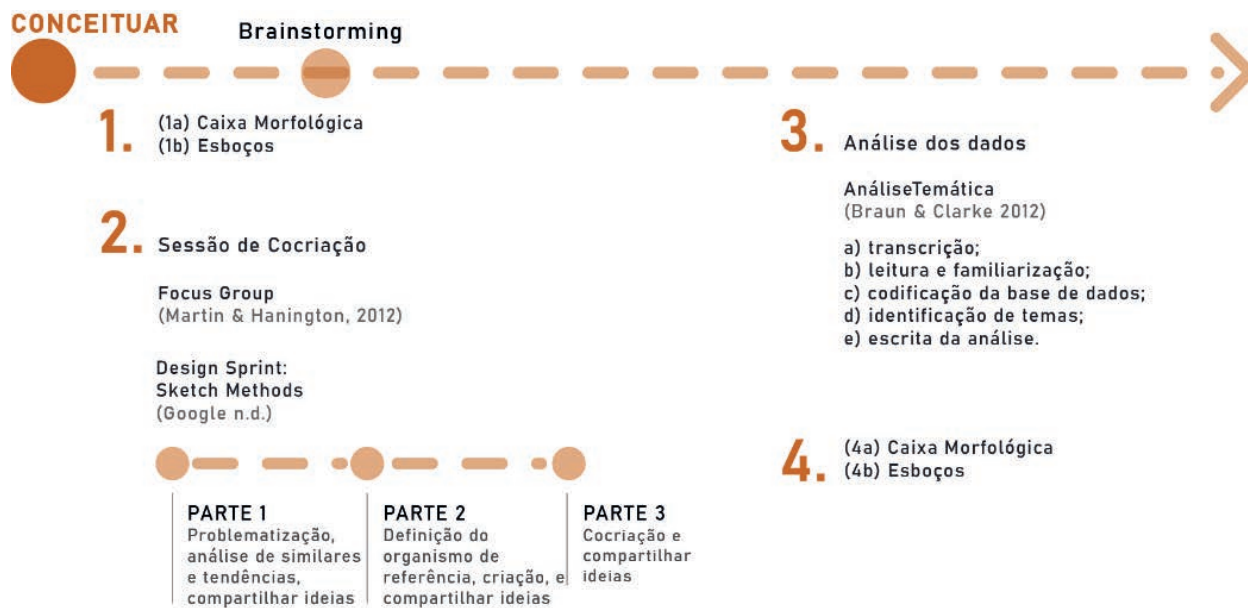
### 3. FASE: CONCEITUAR

A fase conceitual possui três etapas: (1) *brainstorming*, (2) experimentação de material e (3) requisitos de desenvolvimento.

#### 3.1 BRAINSTORMING

A etapa *Brainstorming* foi realizada em quatro partes, a saber: (1) caixa morfológica e esboços; (2) sessão de cocriação; (3) análise dos dados; e (4) caixa morfológica e esboços (Figura 8).

**Figure 7** Algoritmo preliminar da lâmina foliar: (A e D) parâmetros; (B) diferentes configurações da lâmina foliar (raio, altura e abertura); (C) Algoritmo; (E e F) diferentes padrões de posições para alta e baixa intensidade de radiação solar. Fonte: adaptada de Andrade *et al.* (2021a).



### 3.1.1 BRAINSTORMING: CAIXA MORFOLÓGICA E ESBOÇOS

O método caixa morfológica foi utilizado para criar matriz síntese com parâmetros de referência para desenvolvimento dos esboços. Tais parâmetros contemplam quatro macroclassificações: a) regulamentação ambiental (ar, luz, calor, água e energia); b) função (sombreamento, ventilação, aquecimento/resfriamento, melhoria da qualidade do ar, umidade e demanda de energia); c) estratégias de deformação de material (estratégias geométricas, variação das propriedades dos materiais, incompressibilidade de fluídos/encolhimento e inchaço e armazenamento de energia); e, por fim, d) materiais com propriedade de deformação (como materiais de memória de forma, bimetal e hidrogel). Os parâmetros foram detalhados na publicação Andrade *et al.* (2021c).

A matriz contribuiu para o desenvolvimento sistematizado dos esboços. Utilizou-se uma folha A4 dividida em oito partes. Uma ideia poderia contemplar uma ou mais partes do papel. No canto superior esquerdo do papel, uma síntese da matriz era desenhada. Em seguida, ligavam-se os diferentes parâmetros, de modo clarificar a ideia. Tal processo foi realizado na sessão de *brainstorming* antes e depois da sessão de cocriação (Figura 9).

**Figura 8** Fase conceitual: etapa

*brainstorming*.

Fonte: elaborada

pelos autores (2022).



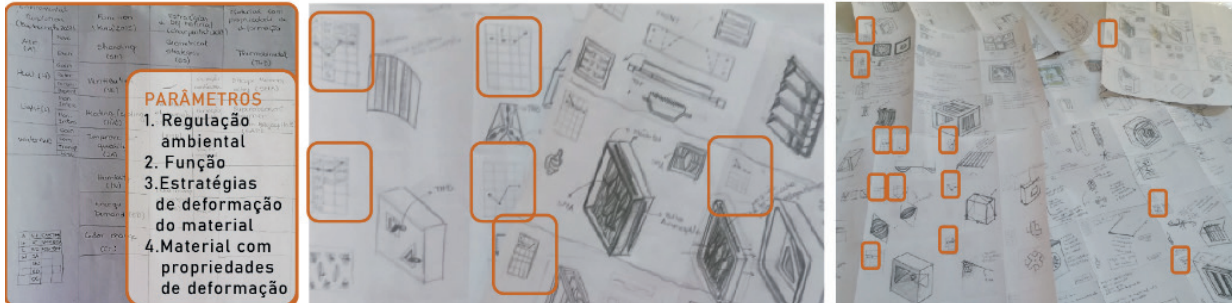
(1a / 4a)

Caixa Morfológica

(1b) Esboços

a partir da caixa morfológica

(4b) Esboços

a partir da caixa morfológica  
e Sessão de Cocriação

### 3.1.2 BRAINSTORMING: SESSÃO DE COCRIAÇÃO

A sessão de cocriação (SC) foi realizada virtualmente, com oito participantes multidisciplinares (entre especialista em biologia, arquitetura, design e ciência da computação) (Tabela 1), a fim de repensar a aplicação do cobogó para o contexto climático de Portugal a partir da analogia com a *Ammophila arenaria*. Para coleta de dados, utilizou-se o método qualitativo *focus group* (MARTIN; HANINGTON, 2012), e para gerar ideias, o método *Design Sprint: Sketch Methods* (GOOGLE, n.d.). Tal sessão aconteceu em três partes: a) aquecimento: problematização, análise de ideias similares e tendências sobre fachada que se adaptam a diferentes condições climáticas, sem o uso de eletricidade; b) definição do organismo de referência, geração de ideias individualmente pelo método *Crazy8's*; e c) cocriação de ideias. Em todas as partes da SC, promoveu-se o compartilhamento de ideias. Todo o processo metodológico foi descrito por Andrade *et al.* (2021b).

Atividades foram desenvolvidas individualmente e em grupos de, no máximo, três pessoas. Na terceira parte, a de cocriação de ideias, os participantes foram subdivididos em três equipes conforme expertise (Tabela 1). A arquiteta D, no entanto, não pôde participar dessa etapa.

**Figura 9** Fase conceitual: *brainstorming* (caixa morfológica e esboços).  
Fonte: elaborada pelos autores (2022).



| EQUIPE A                                                                                                                                                                                      | EQUIPE B                                                                                                                                                                                                                                 | EQUIPE A                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ARQUITETA A</b> – Doutoranda pela FAUL. <b>Gênero:</b> Feminino. <b>Nacionalidade:</b> Portuguesa. Reside há mais de um ano no Brasil (CE)                                                 | <b>ARQUITETO B</b> – Mestrando em Design pela UFPE. <b>Gênero:</b> Masculino. <b>Nacionalidade:</b> Brasileira. Reside há três meses na Alemanha                                                                                         | <b>ARQUITETO C</b> – Doutor em Urbanismo e Engenharia Arquitetônica + Tecnologia na TU Delft, Holanda, em 2012. <b>Gênero:</b> Masculino. <b>Nacionalidade:</b> Portuguesa. Reside em Portugal e residiu por mais de um ano na Holanda |
| <b>DESIGNERA</b> – Doutorando em Design pela Universidade Federal de Pernambuco (PPGD/UFPE). <b>Gênero:</b> Masculino. <b>Nacionalidade:</b> Brasileira. Reside há mais de um ano em Portugal | <b>DESIGNER B</b> – Doutor em Ricerca in Disegno Industriale – Ph.D pela Universidade Politécnico de Milão (2002). <b>Gênero:</b> Masculino. <b>Nacionalidade:</b> Brasileira. Residiu por mais de um ano na Itália e reside em Portugal | <b>TECNÓLOGO A</b> – Doutor em Ciência da Computação pelo Centro de Informática (CIn), UFPE. <b>Gênero:</b> Masculino. <b>Nacionalidade:</b> Brasileira. Residiu por quatro meses no Canadá                                            |
| <b>BIÓLOGA A</b> – Doutora em Ciências Biológicas, UFPE. <b>Gênero:</b> Feminino. <b>Nacionalidade:</b> Brasileira. Sempre residiu no Brasil                                                  | <b>ARQUITETA D</b> – Arquiteto urbanista e UNG. Mestrando Stuttgart. <b>Gênero:</b> Feminino. <b>Nacionalidade:</b> Brasileira. Reside há mais de um ano na Alemanha                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                        |

### 3.1.3 BRAINSTORMING: ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos dados, utilizou-se o método de análise temática, o qual busca identificar temas e padrões de significado em um conjunto de dados em relação a uma questão central (BRAUN; CLARKE, 2013). A seguinte questão foi definida para nortear o presente estudo: **“como propor cobogó adaptável a diferentes climas por meio da analogia com a *Ammophila arenaria*?”**. Em seguida, os dados foram analisados a partir de: a) transcrição; b) leitura e familiarização; c) codificação; d) identificação de temas; e, por fim, e) escrita da análise. A Figura 10 sintetiza os principais conceitos defendidos pelas equipes.

**Figura 9** Fase conceitual: *brainstorming* (SC). Perfil dos participantes e das equipes. Fonte: adaptada de Andrade *et al.* (2021b).



A inserção de integrantes com diferentes vivências climáticas foi de extrema relevância para questionar quais seriam os parâmetros a serem contemplados na solução de fachada bioinspirada para Lisboa (sete de oito participantes tinham experiência de residir por mais de um ano em países com clima mais rigoroso ou igual ao de Portugal). Identificou-se ênfase para controle de umidade durante a etapa de aquecimento, que foi progressivamente perdendo relevância durante a etapa de cocriação, em relação a incidência solar e temperatura.

Em consonância com esse resultado, a perspectiva bioclimática para os edifícios em Portugal defende a interação do sol com os edifícios como parte fundamental do processo de desenvolvimento de projeto (GONÇALVES; GRAÇA, 2004). A radiação solar e a temperatura exterior do ar são as variáveis climáticas que mais influenciam a transferência de calor nos edifícios (GONÇALVES; GRAÇA, 2004). Nesse sentido, os parâmetros de proteção solar e iluminação ganharam força em detrimento da ventilação. E a realização da SC foi decisiva para definir o foco do desenvolvimento da investigação, que, a partir desse momento, passou a focar na proteção solar. Por fim, após a realização da SC, foram realizados novos esboços com a caixa morfológica, evidenciados também na Figura 9.

### 3.2 EXPERIMENTAÇÃO DE MATERIAL

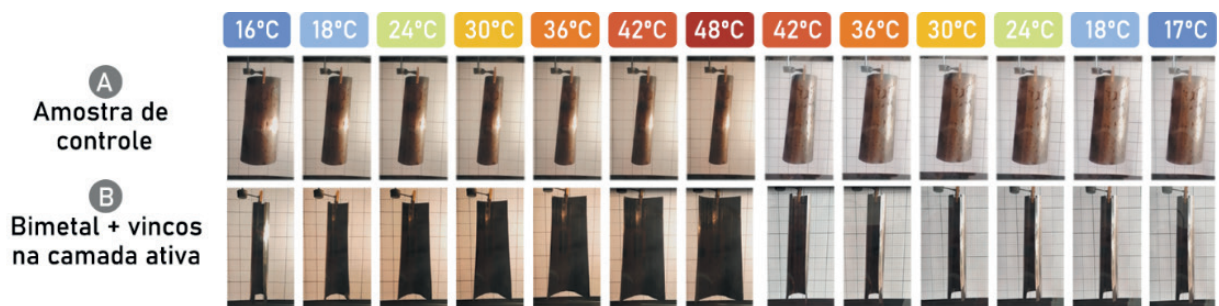
O material de referência selecionado foi o material de mudança de forma, o bimetal. O comportamento adaptativo do bimetal induz o fechamento quando exposto a elevação de temperaturas e reabertura à medida que essa condição é atenuada (SACK-NIELSEN, 2017;

**Figura 10** Fase conceitual: *brainstorming* (SC). Conceitos criados na SC. Fonte: adaptada de Andrade *et al.* (2021b).

SUNG, 2016). A explicação para tal comportamento reside na sua composição, que consiste em pelo menos duas camadas de metal com coeficientes de expansão térmica diferentes.

Experiências exploratórias demonstraram potencial para utilizar vincos sobre a camada ativa do bimetetal, em analogia à localização das células buliformes e ao movimento reversível foliar, pois os vincos proporcionam sulcos em toda a extensão da altura do material (como nervuras) e permitem criar resistência ao fechamento do material quando aquecido. E, assim, podem proporcionar abertura do material quando há a elevação de temperatura e fechamento ao se resfriar (Figura 11).

**Figura 11** Fase conceitual: experimentação de material. Experimentação exploratória com o bimetetal.  
Fonte: adaptada de Andrade *et al.* (2021a).



Os estudos exploratórios iniciais foram publicados como parte da pesquisa em Andrade *et al.* (2021a).

### 3.3 REQUISITOS DE DESENVOLVIMENTO

Uma vez que as provas iniciais demonstraram uma oportunidade de manipular o comportamento cinemático do bimetetal, geraram-se os requisitos de desenvolvimento, a fim de direcionar estudos posteriores para os módulos cinéticos para a fachada (Figura 12).



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que a abordagem metodológica em biomimética baseada em problemas foi crucial para desenvolver as três fases iniciais do desenvolvimento, a saber: âmbito, descobrir e conceituar. A interação multidisciplinar com biólogos foi decisiva para selecionar a *Ammophila arenaria* como organismo de referência, uma planta de fácil acesso em Portugal para processos de observação e que apresenta movimento nástico. A etapa de *brainstorming*, por sua vez, foi essencial para definição do foco de desenvolvimento para proteção solar das fachadas para o contexto climático de Lisboa. Acredita-se que, ao aliar características da *Ammophila arenaria* aos vincos no bimetal, será possível proporcionar módulos com capacidade cinética, capazes de promover a proteção solar de fachadas sem fazer uso de dispositivos eletromecânicos. Desse modo, pretende-se potencializar a propriedade cinética do material em prol da sustentabilidade das edificações.

**Figure 12** Fase conceitual: experimentação de material e requisitos.

Fonte: elaborada pelos autores (2022).

---

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por fundos nacionais por meio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), I. P., no âmbito do Projeto Estratégico com as referências UIDB/04008/2020 e UIDP/04008/2020. Possui bolsa de doutorado da FCT com referência SFRH/BD/144910/2019 e é acolhido pelo Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design (CIAUD) da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa. Possui cotutela entre a Universidade de Lisboa e a Universidade Federal de Pernambuco. Agradecimento especial a Ana Paula Freitas, Natália Vinagre, Carolina Bozzi e Gilberto Azevedo.

---

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, T.; ARRUDA, A.; ARAÚJO, R.; VICENTE, M. Sessão de co-criação: para repensar o elemento construtivo cobogó por inspiração biológica. In: LIBRELOTTO, L. I.; FERROLI, P. C. M.; MAGNAGO, R. (Eds.). *ENSUS 2021: IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto*. Florianópolis, 2021b. pp. 136-48.

ANDRADE, T.; BEIRÃO, J.; ARRUDA, A.; ARAÚJO, R.; SOARES, T. Overview of nastic movements in plants: a data collection for developing responsive facades. *4th INTERNATIONAL CONFERENCE FOR Biodigital Architecture & Genetics*, ed. Alberto T. Estévez. Barcelona: iBAG-UIC, 212-21, 2020.

ANDRADE, T.; BEIRÃO, J.; ARRUDA, A.; CRUZ, C. The adaptive power of *Ammophila Arenaria*: biomimetic study, systematic observation, parametric design, and experimental tests with bimetall. *Polymers*, 13(15), pp. 1-17, 2021a.

ANDRADE, T.; BEIRÃO, J.; ARRUDA, A.; EYSEN, C. Toward Adaptable and responsive facades: using strategies for transforming of the material and bio-based materials in favor of sustainability. A.; C.; BELLA, . (Eds.). *Cuaderno 149 | Centro de Estudios En Diseño y Comunicación (2021/2022)*, Palermo. Buenos Aires: Universidad de Palermo, 2021c. pp. 37-59.

ARRUDA, A. *Métodos e processos em biônica e biomimética: a revolução tecnológica pela natureza*. São Paulo: Blucher, 2018.

ARRUDA, A. *Bionica e design Carmelo Di Bartolo e Il Centro Ricerche IED: Esperienze Memorabili da 30 Protagonisti*. São Paulo: Blucher, 2020.

AZCON-BIETO, J.; TALON, M. *Fundamentos de fisiologia vegetal*. 2. ed. Barcelona: McGraw-Hill Interamericana de España, 2008.

BADARNAH, L.; KADRI, U. A Methodology for the Generation of Biomimetic Design Concepts. *Taylor & Francis Group*, pp. 37-41, January 2015.

BENYUS, J. *Biomimética: inovação inspirada pela natureza*. 6. ed. São Paulo: Pensamento Cultrix, 2012.

BIOMIMICRY 3.8. *BIOMIMICRY DesignLens: A Visual Guide*. Missoula: Biomimicry 3.8, 2015.

BRAUN, V.; CLARKE, V. *Successful qualitative research: a practical guide for beginners*. Los Angeles, London, New Delhi, Singapore and Washington DC: SAGE Publications, 2013.

BÜRDEK, B. *História, teoria e prática do design de produtos*. São Paulo: Blucher, 2006.

CAMACHO, D.; SACTH, H.; VETTORAZZI, E. De los elementos perforados al cobogó: histórico de uso en la arquitectura brasilera y consideraciones sobre su adaptación al clima. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 8(3), pp. 205-16, 2018.

CHARPENTIER, V.; HANNEQUART, P.; ADRIAENSSENS, S.; BAVEREL, O.; VIGLINO, E.; EISENMAN, S. Kinematic Amplification Strategies in Plants and Engineering. *Smart Materials and Structures*, 26(6), pp. 1-30, 2017.

CHERGUI, A.; HAFID, L.; MELHAOUI, M. Characteristics of Marram Grass (*Ammophila Arenaria L.*), plant of the coastal dunes of the Mediterranean Eastern Morocco: Ecological, Morpho-Anatomical and Physiological Aspects. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(10), pp. 3759–65, 2017.



COSTA, J.; CUNHA, A. *Atlas da flora da Serra D'água à Foz do Âncora*. Portugal: Município de Viana do Castelo e Município de Caminha, 2019.

DARWIN, C. *The power of movement in plants*. Francis Darwin (Ed.). New York: Cambridge University Press (original work published in 1880), 2009.

ESTÉVEZ, A. *Sustainable Engineering Technologies and Architectures. Sustainable Nature-Inspired Architecture*. David Ting and Jacqueline Stagne (Ed.). Melville, NY: AIP Publishing, 2021.

FIORITO, F.; SAUCHELLI, M.; ARROYO, D.; PESENTI, M.; IMPERADORI, M.; MASERA, G.; RANZI, G. Shape morphing solar shadings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, pp. 863-84, 2016.

GONÇALVES, H.; GRAÇA, J. *Conceitos bioclimáticos para edifícios em Portugal*. DGGE/IP-3E. Lisboa: Companhia das Cores, 2004.

GOOGLE. Design sprint: sketch methods. Disponível em: <https://designsprintkit.withgoogle.com/methodology/phase3-sketch>. August 15, 2020.

GUO, Q.; DAI, E; HAN, X.; XIE, S.; CHAO, E.; CHEN, Z. Fast nastic motion of plants and bioinspired structures. *Journal of the Royal Society Interface*, 12(110), pp. 1-14, 2015.

HUISKES, A. Biological flora of the British Isles: *Ammophila Arenaria* (L.) Link (*Psamma Arenaria* (L.) Roem. et Schult.; *Calamagrostis Arenaria* (L.) Roth). *Journal of Ecology*, 67(1), pp. 363-82, 1979.

IPMA. Área educativa – clima de Portugal continental. IPMA. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>. (January 19, 2019).

KADIOGLU, A.; TERZI, R.; SARUHAN, N.; SAGLAM, A. Current Advances in the Investigation of Leaf Rolling Caused by Biotic and Abiotic Stress Factors. *Plant Science*, 182, pp. 42-48, 2012.

KOLLER, D.; VOLKENBURGH, V. *The restless plant*. Cambridge, Massachusetts, and London, England: Harvard University Press, 2011.

KURU, A.; OLDFIELD, P.; BONSER, S.; FIORITO, F. Biomimetic Adaptive Building Skins: Energy and Environmental Regulation in Buildings. *Energy and Buildings*, 205, 28, 2019.

LÓPEZ, M.; RUBIO, R.; MARTÍN, S.; CROXFORD, B. How Plants Inspire Façades. From Plants to Architecture: Biomimetic Principles for the Development of Adaptive Architectural Envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, pp. 692-703, 2017.

MARSHALL, S.; WARD, Maitiú. *The Breeze Block Book*. eds. Sam Marshall and Maitiú Ward. Melbourne, Australia: Uro Publications, 2019.

MARTIN, B.; HANINGTON, B. *Choice reviews online universal methods of design: 100 ways to research complex problems, develop innovative ideas, and design effective solutions*. United States of America: Rockport Publishers, 2012.

MAZZOLENI, I. *Architecture follows nature: biomimetic principles for innovative design*. London: CRC Press, 2013.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 24, n. 2, pp. 335-342, 2015.

OLIVEIRA, M. Towards a bio-shading system concept design methodology. Instituto Universitário de Lisboa, School of Technology and Architecture, 2019.

RASCIO, N.; CARFAGNA, S.; ESPOSITO, S.; ROCCA, N.; GULLO, M.; TROST, P.; VONA, V. *Elementi di fisiologia vegetale*. Italia: Edises, 2012.

RIVIÈRE, M.; DERR, J.; DOUADY, S. Motions of leaves and stems, from growth to potential use. *Physical Biology*, 14(5), 33, 2017.

SACK-NIELSEN, T. *Performance through thickfolds: approaching climate-responsive behaviours through shape, materialisation and kinematics*. Aarhus School of Architecture, 2017.

SCHLEICHER, S.; LIENHARD, J.; POPPINGA, S.; SPECK, T.; KNIPPERS, J. A methodology for transferring principles of plant movements to

elastic systems in architecture. *CAD Computer Aided Design*, Elsevier, 2015. pp. 105-17.

SOCIEDADE PORTUGUESA DE BOTÂNICA. *Flora.On*. Disponível em: <https://flora-on.pt/>. (May 25, 2020).

SUNG, D. Smart geometries for smart materials: taming thermobimaterials to behave. *Journal of Architectural Education ISSN*, 70(1), pp. 96–106, 2016.

VAZQUEZ, E.; RANDALL, C.; DUARTE, J. Shape-changing architectural skins: a review on materials, design and fabrication strategies and performance analysis. *Journal of Facade Design and Engineering*, 7(2), pp. 91-102, 2019.

VIEIRA, A.; BORBA, C.; RODRIGUES, J. *Cobogó de Pernambuco*. Josivan Rodrigues: Recife, 2013.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *World weather information service: official forecasts (Lisbon)*. Disponível em: <https://world-weather.wmo.int/en/city.html?cityId=2>. (May 5, 2021).