REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA
ISSN: 2178-1974
2024, Vol. 14, No. 28
DOI 10.23972/det2024iss28pp80-90

PGDESIGN
www.pgdesign.ufrgs.br

Telha residencial bioinspirada para melhoria do conforto térmico - AntTile Design

Roberta F. de Sá[1,2], Arthur B. Canciglieri[1,3], Maria C. V. da Fonseca[4] e Osiris C. Junior[1]

1 *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial e de Sistemas (PPGEPS) na Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR, Curitiba, Brasil*

2 *NHS Sistemas de Energia - Av. Juscelino Kubitschek De Oliveira - Ld, 5270 - Cidade Industrial de Curitiba, Curitiba - PR, 81260-000*

3 *Robert Bosch Ltda - Av. Juscelino Kubitschek de Oliveira, 11800 - Cidade Industrial de Curitiba, Curitiba - PR, CEP: 81460-000 – Brasil*

4 *Grupo Volvo América Latina - Av. Juscelino Kubitschek de Oliveira, 2600 – CIC 81260-900 - Curitiba - PR – Brasil*

RESUMO

Os resultados ambientais das atividades humanas ao longo dos anos emergiram como uma das causas mais notáveis das mudanças no clima no planeta. Diversos efeitos climáticos estão diretamente relacionados a essas mudanças, um dos mais perceptíveis é o aumento da temperatura, que vem gerando impacto significativo na vida na Terra. A capacidade adaptativa é uma das questões mais importantes para a diminuição dos perigos do aumento da temperatura. Neste contexto, o desenvolvimento de soluções adaptativas deve levar em consideração não apenas a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, mas também a diminuição de suas causas. Dispositivos que utilizam a energia elétrica tem sido considerado as soluções mais comuns encontradas para se adaptação ao calor, mas estes requerem recursos que implicam em mudanças climáticas. Além disso, os sistemas de ventilação passiva existentes que reduzem a temperatura geralmente exigem mudanças na estrutura do edifício, o que não é facilmente acessível para todas as sociedades ao redor do mundo. Assim, este estudo propôs a implementação do Processo de Desenvolvimento de um Produto Biomimético no desenvolvimento de uma solução bioinspirada visando a melhoria do conforto climático, mitigando os efeitos do aumento da temperatura. A pesquisa foi concentrada no design e concepção de uma telha biomimética desenvolvida para ser utilizada em residências com o intuito de diminuir a temperatura interna das residências em pelo menos 1ºC. Os resultados obtidos foram analisados em comparação com o uso de condicionadores de ar mostrando a viabilidade técnica e econômica do produto desenvolvido.

PALAVRAS-CHAVE
Biomimética;
Mudanças Climáticas;
Conforto Térmico;
Conforto Climático;
Processo Desenvolvimento Integrado de Produtos;
Design de Produto.

Bio-inspired residential tile to improve thermal comfort - AntTile Design

ABSTRACT

The environmental results of human activities over the years have emerged as one of the most notable causes of climate change on the planet. Several climatic effects are directly related to these changes, one of the most noticeable is the increase in temperature, which has had a significant impact on life on Earth. Adaptive capacity is one of the most important issues for mitigating the dangers of rising temperatures. In this context, the development of such adaptive solutions must consider not only the mitigation of the effects of climate change, but also the reduction of its causes. Devices that use electrical energy have been considered the most common solutions found to adapt to heat, but these require resources that imply climate change. Furthermore, existing passive ventilation systems that reduce temperature often require changes to the building structure, which is not easily accessible to all societies around the world. Thus, this study proposed the implementation of the Biomimetic Product Development Process in the development of a bioinspired solution aiming at improving climate comfort, mitigating the effects of temperature increase. The research focused on the design and conception of a biomimetic tile developed to be used in homes with the aim of reducing the internal temperature of homes by at least 1ºC. The results obtained were analyzed in comparison with the use of air conditioners, showing the technical and economic viability of the developed product.

KEYWORDS
Biomimicry;
Climate changes;
Thermal Comfort;
Climatic Comfort;
Integrated Product Development Process;
Product design.

CONTATO: Osiris C. Junior – *osiris.canciglieri@pucpr.br*

© 2024 – Revista Design & Tecnologia

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm sido amplamente abordas e estudadas na literatura e estes estudos vem contribuindo para mudar o sistema terrestre (Hodson, 2017). Pesquisas apresentadas na literatura têm demonstrado que essas mudanças vêm gerando diversos impactos na vida dos habitantes da terra (Aguiar et al., 2018). Um de seus efeitos mais notáveis é o aumento significativo da temperatura média no planeta. Os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) apresentaram a avaliação sobre o aumento da temperatura e seus possíveis riscos no sistema climático (Gao et al., 2017). Alguns destes ricos são a propagação de doenças sensíveis à variação de temperatura, seca em certas áreas do planeta (Rodell et al., 2004), além de incêndios, inundações e elevação do nível dos oceanos (Mazurczyk et al., 2018). Nesse contexto, o aumento da temperatura tem impactado de maneira significativa nos ambientes internos das edificações, originando seus próprios microclimas afetados pelas mudanças de temperatura global (Leissner et al., 2015), e em consequência disso, surge a necessidade de se melhorar o conforto climático, que atualmente para a maioria dos casos é realizado por meio de soluções como condicionadores de ar e ventiladores. Embora, segundo Yau et al. (2011) estes meios estejam se tornando mais acessíveis à população devido à redução de custo pelo aprimoramento da tecnologia e principalmente referente ao consumo de energia.

Grignon-Massé (2011) e Van Vuuren et al. (2009) atestaram que os condicionadores de ar geram impactos significativos ao meio ambiente, não apenas pelo uso de recursos energéticos, mas também pela emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Embora a literatura tenha abordado os impactos dos sistemas tradicionais de ar-condicionado em diferentes níveis, é necessário procurar soluções alternativas que não impactem de maneira agressiva o meio ambiente (Beshr et al., 2017; Stephens, 2014; Yau, 2011). Neste sentido e olhando por um viés mais sustentável, alguns autores abordaram o tema dos sistemas de ventilação passiva (são aqueles que não requerem o uso de energia elétrica), desenvolvendo *templates* para ventilação passiva bioinspirada (Paar e Petutschnigg, 2016). Além disso, Adamu e Price (2015) desenvolveram sistemas de recuperação de calor passivo baseado em ventilação natural com recuperação de calor (NVHR). O conceito imita o processo da Alça de Henle (parte do rim humano) e recebeu o nome de Câmara LoH. Os resultados apresentados pelos autores do experimento mostraram que, com aquecimento ativo e ocupante único, a Câmara LoH conseguiu gerar uma economia de 27,9% a 34,3% em energia de aquecimento anual, quando comparada a um espaço similar naturalmente ventilado sem recuperação de calor. Paar e Petutschnigg (2016) desenvolveram uma fachada verde de inspiração biomimética, que provou atenuar os efeitos das ilhas de calor nas cidades.

Tais estudos abordaram as soluções de conforto climático para áreas específicas, sem assumir compromissos explícitos com a acessibilidade do sistema para uma ampla gama de residências e exigir mudanças nas estruturas da construção civil. Assim, devido à implicação benéfica dos sistemas passivos de conforto climático, encontrar soluções para proporcionar a adaptação às alterações climáticas dos edifícios, sem melhorar os riscos climáticos, e, se for possível, contribuir para o meio ambiente na solução deste efeito, mostra-se como crucial para abordagem mais ampla para se ter um desenvolvimento sustentável.

Assim, este estudo desenvolveu uma telha bioinspirada na forma de um sistema de climatização sustentável, com o objetivo de diminuir os efeitos do aumento da temperatura nas residências e diminuir o impacto ambiental dos métodos convencionais de climatização. O sistema também pretende ser facilmente aplicável em residências, sem a necessidade de alterações estruturais nos edifícios. O produto desenvolvido foi inspirado na natureza, utilizando o conceito de Biomimética (Benyus, 2016; Al-Sehail, 2017, Lim et al., 2018), que é uma ciência multidisciplinar que implementa ideias oferecidas pela natureza para: i) resolver problemas humanos (Hofstra, 2014); e ii) desenvolver projetos e processos de produtos procurando imitar a natureza (Hoppe, 2004). O design do produto desenvolvido nesta pesquisa seguiu as diretrizes do método BIOS proposto por Ferrari de Sá (2017). O produto bioinspirado desenvolvido, a telha ***AntTile***, foi baseada nos pelos da Saúva Prateada do Saara (***Saharan Silver Ant***), com o objetivo de reduzir o uso de energia para condicionamento nas residências brasileiras, bem como para amenizar as sensações de calor nas residências onde o condicionamento artificial, visando atenuar os impactos das mudanças climáticas nas comunidades, por meio da adaptação às mudanças climáticas (IPCC, 2014).

2. BACKGROUND DA PESQUISA

As mudanças climáticas que afetam a superfície terrestre e oceânica ao longo dos anos passaram meras suposições para fatos baseados em mais de cinquenta anos de pesquisas da comunidade científica (Hodson, 2017). Isso ilustra que essa mudança, e que tem um impactado de maneira considerável, vem influenciando a atividade humana sem falar das ameaças consideráveis da vida dos seres vivos no planeta.

Um dos efeitos das mudanças climáticas é o aumento significativo da temperatura terrestre, que eleva os riscos de ameaças ambientais, causando, entre outros danos, o derretimento glacial, elevação do nível dos oceanos, inundações e incêndios, além de ondas de calor em algumas áreas do planeta. A Unidade de Mudança Climática (CBU) sediada no Reino Unido relata a anomalia histórica da temperatura média ao longo dos anos, como ilustrado no gráfico da Figura 1. Notavelmente, o ano de 2016 obteve a maior variação na temperatura global, com um aumento de cerca de 0,8ºC (1,44 ºF) na temperatura global.

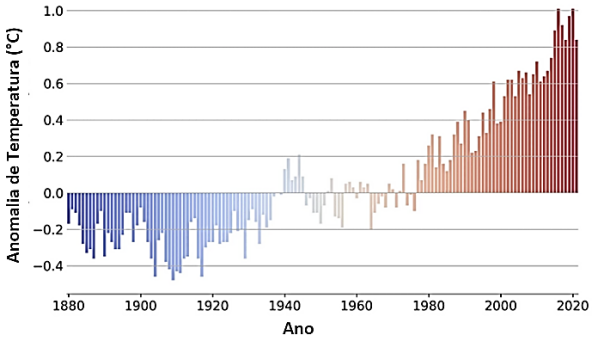


Figura 1 Anomalia da temperatura global (Climatic Research Unit, 2018).

O projeto desenvolvido nesta pesquisa teve como foco o território brasileiro, pois, conforme ilustrado na Figura 2 (NASA, 2018), é exposto as regiões do planeta onde a temperatura da superfície da Terra aumentou consideravelmente desde 1884. O que chama mais atenção é que o Brasil foi o único país na América do Sul, onde a temperatura atingiu uma variação positiva de cerca de 2,2ºC (4ºF).

De acordo com a série histórica do Banco Nacional de Dados Climáticos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (Embrapa, 1970), as temperaturas médias nas regiões centrais do país, como Norte, Nordeste, Centro-Oeste e parte do Sudeste permanecem em torno de 25ºC (77ºF) ao longo do ano, mas vem aumentando ao longo

das décadas. Em estados onde a incidência solar é maior, como o Rio de Janeiro por exemplo, houve dias em que a temperatura ultrapassou a faixa de 40ºC (104ºF).

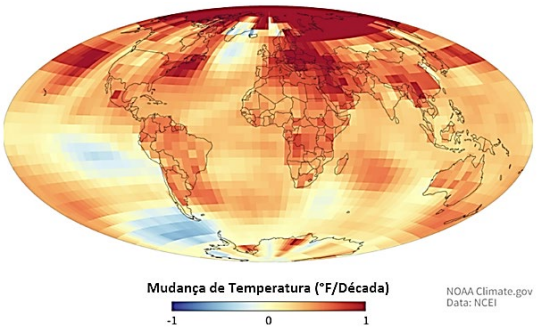


Figura 2 Diferenças de temperatura no planeta (NASA, 2018).

Assim, o uso de dispositivos para melhorar o conforto térmico em residências tornou-se um problema significativo em comunidades onde a temperatura é mais elevada. No Brasil, nas residências onde há condicionamento elétrico, cerca de 20% da energia consumida é na utilização do condicionamento térmico (ELETROBRAS, 2005). Nos EUA, essa despesa é da ordem de 12% segundo a *National Academy of Science* (2018).

Além do consumo energético do uso excessivo do ar-condicionado, surge a necessidade de se melhorar o conforto climático, levando-se em consideração que estes aparelhos geram uma quantidade considerável de emissões de gases de efeito estufa que afetam a camada de ozônio, contribuindo para o aquecimento global (Van Vuuren e Isaac, 2009).

Segundo Carter (2018), a capacidade de adaptação das edificações frentes às mudanças climáticas tornou-se um problema crucial uma vez que o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) estabeleceu a capacidade de adaptação como um dos principais fatores que determinam a gravidade das mudanças climáticas, riscos, perigos e problemas relacionados ao tema em estudo (IPCC, 2014). Neste sentido, é necessário desenvolver soluções que não só melhorem o conforto térmico, mas também aloquem os recursos de forma eficiente visando alcançar sistemas de inovação eficazes que mitiguem os efeitos das mudanças climáticas, bem como proporcionem a adaptação às mudanças climáticas, evitando o aumento da temperatura global, reduzindo também o consumo de energia elétrica, e principalmente, a redução das emissões de gases de efeito estufa (Kılkış, 2016). Ferrari de Sá (2017) atestou que a compreensão do planeta se mostra como chave para se desenvolver tais soluções adaptativas, onde o Design se apresenta como uma sinergia humana com o meio ambiente e outras espécies.

A ciência de aprender com a natureza e aplicar suas ferramentas na resolução de problemas humanos tem sido amplamente estudada e chamada, entre outros sinônimos de Biomimética (Terryn et al., 2015; Mazurczyk et al., 2018; Benyus, 2016; Reisen et al., 2016). No âmbito das engenharias, o estudo dos sistemas biológicos tem se consolidado como fonte de inspiração para um pensamento inovador, onde a biomimética está focada na construção de áreas, processos e princípios de desenvolvimento de sistemas biológicos (Demeester, Eichler K. e Christoph, 2004). De acordo com Von Gleich et al. (2010), a Biomimética acaba sendo uma tentativa de aprender com a natureza no que diz respeito ao desenvolvimento de inovações baseadas em pesquisas naturais, estruturas, funções, processos e sistemas biológicos otimizados. Um exemplo de produto desenvolvidos a partir do conceito Biomimético é a célula solar, que foi bioinspirada nas folhas das árvores. Outros produtos que tiveram impacto significativo na adaptação humana ao meio ambiente, pode ser encontrado nas pesquisas desenvolvidas por Herzog et al. (2015), Van Vuuren e Isaac (2009), Zhang et al. (2012), Le Quéré et al. (2018), Bontemps et al. (2013) e Watling et al. (2008). Nesse contexto, fica claro que a Biomimética se mostra como mais uma ferramenta de Design que auxilia o processo de desenvolvimento de produtos, com a utilização de 3,8 bilhões de anos de experiência da natureza (Benyus, 2016).

Desta maneira, o que ficou claro a partir da literatura, que existe uma carência de métodos metodológicos orientados à biomimética que seja capaz de oferecer suporte ao processo de desenvolvimento de produtos. Assim, com o objetivo de desenvolver uma solução para mitigar o impacto do aquecimento global no interior das habitações, contribuindo para uma adaptação sustentável, esta pesquisa apresenta o design e o desenvolvimento uma telha bioinspirada, seguindo os passos metodológicos do Método BIOS proposto por Ferrari de Sá (2017) tendo como plano de fundo uma contribuição para o desenvolvimento sustentável do planeta.

3. MÉTODO BIOS

A expectativa de aprofundar e dar continuidade à pesquisa desenvolvida, de uma proposta de um método conceitual para auxiliar na aplicação da Biomimética como ferramenta de apoio ao processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis, o Método conceitual BIOS (Ferrari de Sá, 2017), foi agente motivacional determinante para a concepção do presente estudo. O Método conceitual possui 6 fases que abrangem as etapas necessárias para o processo de desenvolvimento de um produto, desde a identificação da oportunidade (Fase 1) até a especificação do mesmo para que seja enviado para a linha de produção (Fase 6), como ilustrado na Figura 3, sendo elas:

1. ***Identificação de Oportunidade:*** A equipe de Design e Desenvolvimento deve identificar e reconhecer as oportunidades e coletar o máximo possível de informações relevantes, gerando material de apoio para as fases subsequentes;
2. ***Definição do Problema:*** A equipe deve definir o problema a ser desenvolvido pelo método gerando ao final desta fase, um *briefing* que servirá de guia para o planejamento e execução dos processos nas próximas fases;
3. ***Geração de Soluções:*** A equipe, com a consulta periódica do biólogo, deve buscar, gerar e avaliar as alternativas em relação às diretrizes determinadas na fase anterior;
4. ***Seleção da Solução:*** A equipe deve filtrar as soluções potenciais encontradas na fase anterior e selecionar aquela que melhor se adeque ou atenda ao problema definido;
5. ***Definição do Conceito:*** Com base no conhecimento adquirido e na experiência da equipe, é possível desenvolver o conceito do produto, com base na solução selecionada na fase anterior. Os designers geram o projeto 3D, produzem e testam o produto Biomimético. Nesta fase é realizada a avaliação da tecnologia, que deve ser feita por meio de um experimento, para avaliar a adequação da solução. No caso do desenvolvimento desta pesquisa, os resultados referentes a temperatura dentro da estrutura desenvolvida para medição serão comparados quantitativamente com o uso de energia e os impactos dos condicionadores de ar. Para o experimento foram realizados os seguintes passos: i) Definir o Local; ii) Desenvolver a estrutura de teste; iii) Definir as Ferramentas de Medição; iv) Medições; v) Análise de Resultados.
6. ***Especificação da Solução:*** Agora é só fazer o detalhamento técnico e efetuar toda a documentação técnica do Projeto desenvolvido.

O Método BIOS, busca estimular a geração de ideias por meio dos conceitos Biomiméticos atuando como uma

ferramenta orientativa simples e estimulante para a geração de soluções inovadoras que possam contribuir para a preservação do meio ambiente.

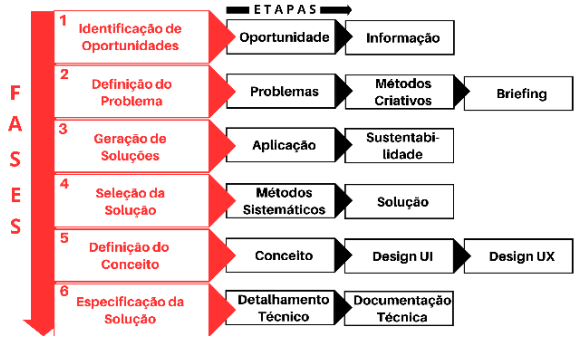


Figura 3 Fases e etapas do Método BIOS (Ferrari de Sá, 2017).

As fases do Método BIOS estão distribuídas pelo Projeto Informacional, Conceitual e Detalhado da macrofase de Desenvolvimento. É composto por 6 fases e 14 etapas, iniciando com a identificação de uma oportunidade e finalizando com a especificação da solução, conforme a Figura 4.

Nesta pesquisa, a aplicação do Método BIOS para se cumprir o objetivo de encontrar uma solução baseada na sabedoria e conhecimento da natureza, e com o intuito de ajudar as comunidades a se adaptarem aos impactos das mudanças climáticas, foi criada uma equipe multidisciplinar constituída de 9 profissionais (1 Biólogo, 3 Engenheiros Industriais, 4 Designers e 1 administrador de Empresas).

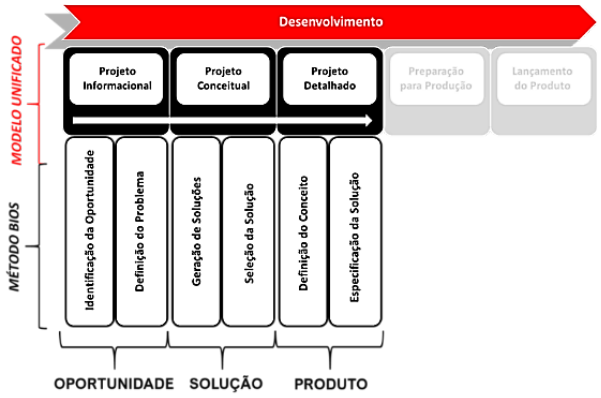


Figura 4 Distribuição das fases do Método BIOS no PDP (Ferrari de Sá, 2017).

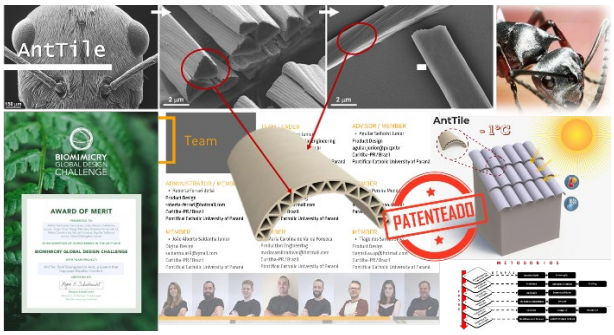


Figura 5 Desafio do BIOS no "Biomimicry Global Design Challenge".

4. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO BIOS

Com o objetivo de apresentar de forma detalhada o desenvolvimento da "telha bioinspirada" (*AntTile*) utilizando somente as 5 primeiras fases do Método BIOS (Figura 5). A figura ilustra a Telha bioinspirada "*AntTile*" desenvolvida para o "*Biomimicry Global Design Challenge*" que teve sua concepção baseada nos "Pelos" da formiga prateada do Saara. A telha desenvolvida obteve uma Menção Honrosas e o registro do pedido de patente de privilégio de inovação sob o número **BR2020190131492** – Título: Telha Biomimética para Edificações em Geral" (25/06/2019).

4.1 Identificação da Oportunidade

Nesta fase foram realizadas reuniões com a equipe a fim de chegar a um consenso sobre o desafio a ser considerado, que foi definido a identificação como "***buscar uma solução biomimética para mitigar os efeitos das mudanças climáticas***". A partir deste momento, definiu-se como a oportunidade o "***desenvolvimento de uma telha orientada pelos conceitos biomiméticos que fosse capaz de auxiliar o conforto térmico em edificações***".

4.2 Definição do Problema

A definição do problema foi obtida por meio de *Brainstorms* realizados com a equipe visando estimular a criatividade no sentido de ampliar as conexões entre as informações já coletadas. O problema definido buscou "***proporcionar maior conforto térmico em ambientes residenciais e comerciais***", por meio de um sistema que mitigasse os efeitos da incidência solar nas coberturas dos imóveis.



Figura 6 Planta original da África do Sul "Gethyllis Villosa" (Ask Nature, 2016).

4.3 Geração de Soluções

Nesta fase, foram identificadas as inspirações naturais extraídas da natureza para sua aplicação e as soluções encontradas nesta pesquisa foram:

i) *Kukumakranka* (*Gethyllis Villosa* Figura 6) é uma planta original da África do Sul onde suas folhas se adaptam a condições secas e quentes. Esta planta possui propriedades em suas folhas que auxiliam a sobreviver ao clima quente e semiárido. A *Gethyllis Villosa* parece manter muitos de seus estômatos abertos mesmo em condições secas, o que ajuda a planta a continuar fotossintetizando ao longo do dia. Exatamente por pode manter os estômatos abertos e não sofrer perda excessiva de água é atualmente desconhecida, no entanto, os pesquisadores levantam a hipótese de que a química das folhas e as adaptações nos

estômatos ajudam na capacidade da planta de ajustar sua resposta às condições secas. A capacidade de continuar fotossintetizando em condições mais quentes pode ser benéfica, pois as mudanças climáticas influenciam a região (Ask Nature, 2016);

ii) Os pêlos da formiga prateada do Saara (*Saharan Silver Ant* – Figura 7), com sua forma única, reduz a absorção de calor, maximizando a quantidade de luz refletida em sua superfície, alcançada através da forma de prisma do pêlo. Além disso, a forma como estão organizados cria uma barreira de ar que ajuda a isolar o corpo da formiga. As formigas prateadas do Saara (*Cataglyphis bombycina*) têm uma capacidade notável de se prosperar em uma das regiões mais quentes do planeta, no deserto do Saara. Ao contrário da pele dos elegantes, conchas e escamas da maioria dos moradores de alta temperatura, essas formigas têm um mecanismo de defesa exterior único para vencer o calor, seus pêlos (Ask Nature, 2017);

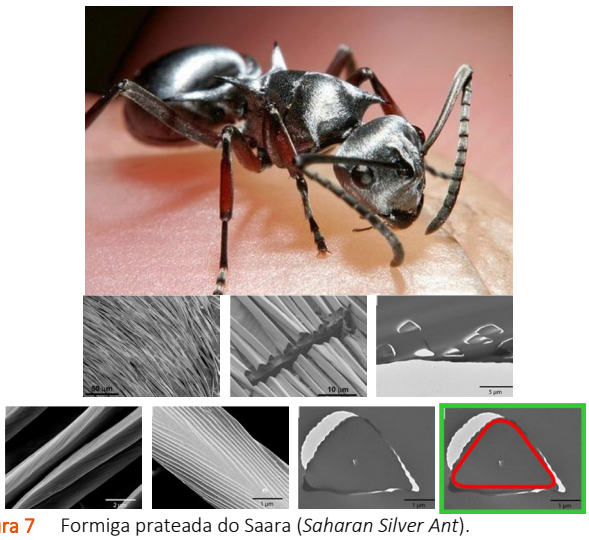


Figura 7 Formiga prateada do Saara (*Saharan Silver Ant*).

iii) Rosa de Jericó (Figura 8), seus galhos mortos liberam sementes onde a *higrocasia* como sendo um dos mecanismos ombro-*hidrocóricos* de dispersão mais eficientes, restringe a dispersão de sementes a eventos da chuva por vários anos, regulando o tempo de germinação e deposição das sementes em local adequado. Para *Anastatica hierochuntica*, a semente permanece nos esqueletos secos protegidos pelos ramos enrolados de plantas mortas ao redor das infrutescências (ramos de frutificação). O desenrolamento higrocástico dos galhos mortos, após a força da chuva deve causar a abertura das válvulas dos frutos e a liberação das sementes (Ahmad 2006:47);



Figura 8 "Rosa de Jericó" um dos mecanismos de dispersão mais eficientes (Ahmad 2006:47).

iv) Piloereção (***Piloerector*** – Figura 9), animais peludos (ou cheios de penas) utilizam estruturas de ereção dos pelos como estratégia biológica para aumentar o 'colchão de ar' entre o corpo e a camada externa dos pelos, aumentando o isolamento térmico. Este colchão de ar é o espaço entre as cerdas e o corpo dos animais, e quando os pelos estão eriçados, produzem ou retem o calor do corpo por mais tempo, e com isso, é mais fácil para estes animais se aquecerem e se manterem aquecidos (Chaplin et al., 2014);

v) Formato do corpo é outro fator que se deve considerar, pois pequenos animais de sangue quente tendem a ter uma forma arredondada (Figura 9), o que garante que o interior de seus organismos permaneça quente. Contudo, a maioria dos organismos de sangue frio tem uma forma alongada ou plana, isso pode ser observado nos peixes, onde seus corpos tendem a ser planos quando vistos de frente. Já as cobras, lagartos e vermes tendem a ser longos e esbeltos, e com isso garantem que eles possam aquecer e esfriar rapidamente (Badarnah, 2015);

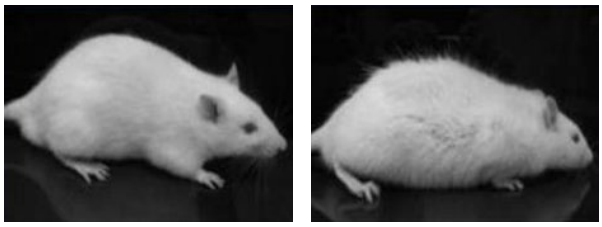


Figura 9 Animais peludos - Piloereção (*Piloerector*).

vi) O formato das colmeias (*Beehive format* - Figura 10), onde a morfologia da superfície é importante para regular a reflexão da luz. As abelhas constroem suas colmeias com dezenas de alvéolos sempre em formato hexagonal, com um espaço de 6 a 9mm entre eles, para que possam se movimentar. Este formato utiliza menos cera e aproveita ao máximo o espaço da colmeia. As paredes são erguidas com uma elevação de 4 a 9 para que o mel não escorra e as larvas não caiam. A temperatura da colmeia é mantida entre 34 e 36 º C. Se a temperatura aumenta, as abelhas batem as asas para ventilar;



Figura 10 Formato das colmeias de abelhas.

vii) O formato das plantas (Figura 11), onde a morfologia da superfície é importante para regular a reflexão da luz. Isso é significativo, pois você não pode se mover (ou apenas de forma muito lenta). Em altitudes elevadas, as plantas geralmente têm fios brilhantes na superfície de suas folhas para refletir a luz Ultravioleta (*Edelweiss, Leontopodium Alpinum*). Em áreas com muitas horas de sol escaldante, as plantas definem a orientação de suas partes estruturais de tal forma que, no período de sol intenso, a menor superfície possível fica exposta. A geometria do tipo esférico também é uma solução para reduzir a densidade da luz solar nas superfícies das plantas (Watling et al., 2008).



Figura 11 Formato das plantas.

4.4 Seleção da Solução

Esta fase visa filtrar as soluções encontradas na fase anterior para selecionar aquela que melhor atenda ao problema definido. Para isso, utilizou a ferramenta "Canvas – Value Proposition".

A ferramenta Canvas consiste em um mapa visual que orienta a organização no desenvolvimento de uma estratégia organizacional (Osterwalder e Pigneur, 2011; Orofino, 2011). Com o canvas foi possível criar e ilustrar as ideias (Figura 12), o que garantiu um melhor entendimento entre todos os membros da equipe de modelagem sobre o cenário atual e futuro do desenvolvimento.

O Canvas foi organizado e dividido em duas partes, uma parte emocional (esquerda), referente as questões relacionadas ao relacionamento e interação entre o consumidor e os demais atores; e um lado lógico (direito) cujo foco foi a eficiência do processo. De acordo com a proposta de valor gerada com a ferramenta Canvas, foi possível determinar aquela que poderia ser aplicada em coberturas residenciais, buscando reduzir o calor interno das edificações e os custos com energia elétrica, além de diminuir o uso de equipamentos poluidores do meio ambiente.

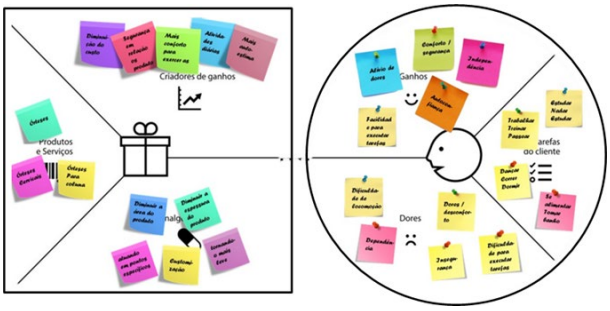


Figura 12 Canvas do Projeto da Telha Bioinspirada *AntTile*.

Portanto, a inspiração selecionada pela equipe de desenvolvimento foi a da formiga prateada do Saara: "As formigas prateadas do Saara (*Cataglyphis bombycina*), uma vez que elas têm uma capacidade notável de prosperar em uma das regiões mais quentes do planeta, constituindo em seus "***pêlos***" um mecanismo de defesa exterior único para vencer o calor intenso, reduzindo a absorção de calor refletindo eficientemente a luz solar e dissipando o calor. Isso permite que esta formiga fique fresca no Saara do meio-dia, onde as temperaturas podem chegar a 80°C (176°F). Os pêlos, com sua forma única, conseguem isso por meio de três mecanismos distintos:

i) Os pêlos da formiga do Saara reduzem a absorção de calor maximizando a quantidade de luz que é refletida em sua superfície, um processo conhecido como reflexão interna total (TIR), obtida devido a forma prismática dos pêlos. Isto é, a base plana dos pêlos ficam posicionadas contraria ao corpo da formiga, enquanto os outros dois lados são ranhurados. No momento em que a luz incide por um dos lados (com sulcos/ranhuras), ela reflete na base e acaba saindo pelo outro lado com o auxílio das ranhuras. Estas ranhuras concentram os raios de luz em uma determinada parte dos pêlos otimizando o seu caminho de saída e, assim, maximizar o TIR. Várias ranhuras permitem que vários raios de luz sejam refletidos sobre os pêlos de forma simultânea. Estes pêlos são densamente embalados para garantir que uma quantidade mínima de luz solar atinja o corpo da formiga, mantendo-a 2°C mais frio do que seria sem os pêlos;

ii) Os pêlos também reduzem a absorção de calor ao refletirem a luz solar (radiação solar) tanto nas partes visíveis quanto não visíveis do espectro eletromagnético, incluindo o infravermelho próximo (NIR). É nessas duas regiões que a radiação solar acaba sendo muito intensa;

iii) A formiga prateada do Saara possui um método particularmente eficaz de descarregar o excesso de calor. A forma dos pelos aumenta a capacidade da formiga de irradiar calor – conhecida como emissividade – em uma faixa específica do espectro eletromagnético, o infravermelho médio (MIR). Dentro dessa faixa, o corpo quente da formiga pode liberar com mais eficiência o excesso de energia térmica para o ar mais frio circule por meio da radiação térmica. O pesquisador de formigas Nanfang Yu atesta que para entender o efeito da radiação térmica, deve-se pensar na sensação de frio ao sair da cama pela manhã, pois metade da perda de energia naquele momento é devido à radiação térmica, já que a temperatura da sua pele está temporariamente muito mais alta do que a do ambiente ao redor. Desta forma, estes mecanismos permitem que a formiga maximize a quantidade de calor que emite e se resfriem entre 5-10°C (9-18°F), permitindo assim suportar temperaturas de até 53,6°C (128,48°F) (Ask Nature, 2016; Ask Nature, 2017; Ask Nature, 2018). A visão microscópica do formato dos pêlos da formiga pode ser vista na Figura 13.

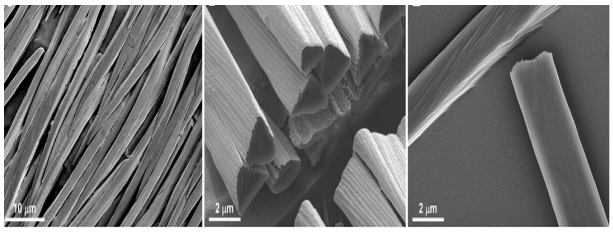


Figura 13 Visão microscópica dos pêlos da formiga (*Saharan Silver Ant*).

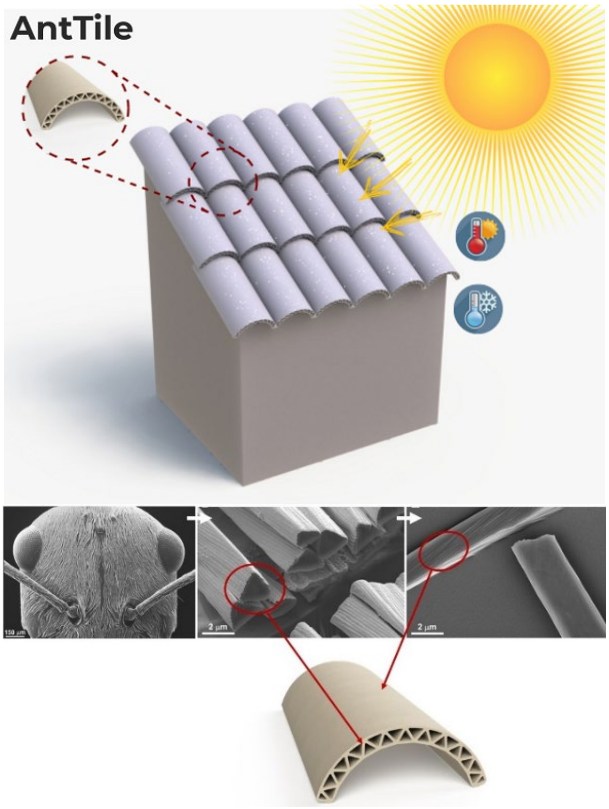


Figura 14 Concepção final da Telha Bioinspirada *AntTile*.

4.5 Definição do Conceito

A solução aprovada na fase anterior foi fundamental para a definição, formação e o desenvolvimento do conceito da telha *AntTitle* para cobertura de edificações. Lembrando-se que esta telha deveria ter a função de melhorar o conforto térmico dos ambientes internos tendo como pano de fundo o desenvolvimento sustentável, como ilustrado na Figura 14.

A *AntTile* concebida e desenvolvida para mitigar os efeitos das mudanças climáticas que aumentam anualmente (variação de temperatura). O projeto desenvolvido visa proporcionar maior conforto térmico em ambientes residenciais e comerciais utilizando um sistema que diminua os efeitos da incidência solar em seus telhados das edificações, principalmente em regiões mais quentes, como o norte do Brasil, onde este projeto em particular foi focado. A solução Bioinspirada, teve como base conceitual os pêlos da formiga prateada do deserto do Saara, e que pode ser empregado o uso de materiais recicláveis na sua construção, resultando em um aumento do conforto térmico, e outros benefícios, como redução de custos, desperdícios e otimização de matérias-primas na sua produção. Além disso, não agride o meio ambiente e pode ser reciclado ao final de seu ciclo de vida, ou quando precisar ser substituído.

O conceito definido concebido e desenvolvido neste projeto foi avaliado segundo:

i) A avaliação da tecnologia selecionada;

ii) A localização e a estrutura criada para o experimento;

iii) Os equipamentos utilizados para o experimento e as medições;

iv) A análise dos resultados obtidos.

4.5.1 Definição do Conceito

O experimento foi realizado com o intuito de verificar se a transferência da tecnologia natural ocorreria corretamente para o produto. A inspiração foi aplicada de forma que o formato dos pêlos da formiga fosse utilizado para se obter o efeito semelhante alcançado pelas formigas. A forma piramidal dos pêlos foi aplicada na estrutura da telha afim de tornar o produto mais resistente e ao mesmo tempo criar tubos de ventilação produzindo um isolamento térmico, evitando que o calor excessivo se propagasse para o interior das edificações, reproduzindo assim o mesmo efeito positivo conseguido pelas formigas através da forma de como os seus pêlos se alinham aos seus corpos. Além disso, a telha Bioinspirada possui pequenos sulcos, semelhantes ao encontrados nos pêlos da formiga, para criar o mesmo efeito, aumentando a quantidade de luz refletida em suas superfícies (Figura 14).

4.5.2 Localização e a estrutura criada para o experimento

O local definido para o experimento foi o Laboratório de Modelos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná que conta com um espaço aberto com incidência solar suficiente para a sua realização.



Figura 15 Casas construídas para experimento.

As estruturas básicas criadas para o teste do experimento da telha bioinspirada *AntTile* foram duas casas construídas em madeira, em escala reduzida e totalmente fechadas (Figura 15). Para a casa da esquerda foi construído um telhado constituído de telhas biomiméticos, enquanto, para a casa da direita foi construído o telhado com telhas convencionais. As telhas bioinspirada e convencionais foram impressas em uma impressora 3D, utilizando o mesmo material, para que todos os parâmetros fossem idênticos e, desta forma, para que pudesse ser realizada a comparação entre os dois ambientes expostos ao sol.

4.5.3 Equipamentos utilizados para o experimento e as medições

Para comparar os dois ambientes expostos ao sol, foram utilizados três termômetros analógicos, um colocado dentro da casa com telhado convencional, outro colocado dentro da casa com telhado bioinspirado e o terceiro exposto ao sol entre as duas casas para verificar a temperatura ambiente (Figura 15). Além disso, um termômetro de superfície foi usado para verificar a temperatura da superfície externa dos dois telhados, sendo que os termômetros digitais foram utilizados apenas para verificação dos resultados.

As casas foram expostas ao sol para que as temperaturas dos ambientes e dos instrumentos ficassem estabilizadas. As medições iniciaram às 13h (horário de Brasília) e terminaram às 13h27, com 10 medições em intervalos de 3 minutos e os resultados destas medições estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Temperaturas obtidas do experimento.

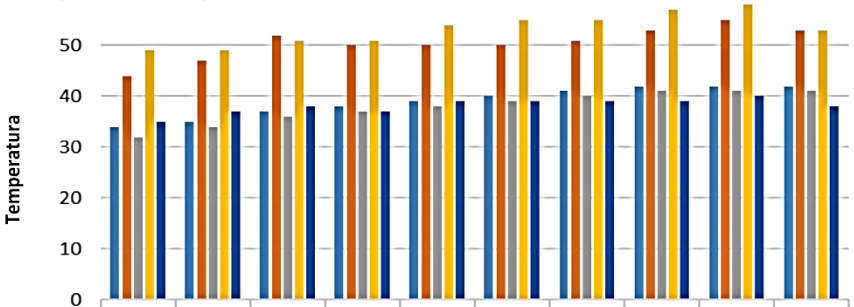
Medições	Tempo (H:MI)	Temperatura (°C)				
		Casa com telhas convencionais		Casa com telhas bioinspiradas		Ambiente Externo
		Interno	Superfície externa	Interno	Superfície externa	
1	13:00	34	44	32	49	35
2	13:03	35	47	34	49	37
3	13:06	37	52	36	51	38
4	13:09	38	50	37	51	37
5	13:12	39	50	38	54	39
6	13:15	40	50	39	55	39
7	13:18	41	51	40	55	39
8	13:21	42	53	41	57	39
9	13:24	42	55	41	58	40
10	13:27	42	53	41	53	38

Os resultados das temperaturas apresentados na Tabela 1, nota-se que inicialmente as temperaturas internas das duas casas aumentaram até atingir suas estabilidades térmicas. No entanto, observa-se que em todas as medições, a casa com telhado Biomimético (*AntTile*) apresentou uma temperatura mais baixa, entre 1 e 2°C (1,8 e 3,6 °F), em comparação com a casa com telhado com telhas convencionais.

Portanto, o experimento comprova a aplicação correta da Bioinspiração ao produto criado (*AntTile*), uma vez que o objetivo era diminuir os gradientes de temperatura, tanto para subida como para descida, no interior dos edifícios, proporcionando o conforto térmico, minimizando os custos energéticos e contribuindo para a redução da poluição causada pelos equipamentos de ar-condicionado ou aquecedores elétricos.

4.5.4 Análise dos resultados obtidos

Em todas as medições coletadas, foi possível observar que as temperaturas internas da casa com o telhado Biomimético (*AntTile*) foram sempre menores do que as temperaturas coletadas em Graus Celsius (°C) com o telhado convencional, como pode ser observado no Gráfico 1. Outro ponto observado no experimento é que as temperaturas nas superfícies externas das telhas biomimética foram sempre maiores que as das temperaturas da superfície externa convencional. Estes dois fatos em conjunto comprovam que o telhado constituído com as telhas *AntTile* consegue refletir melhor a luminosidade incidida sobre ele e com isso diminui a transferência do calor para o interior da casa. Já o telhado com as telhas convencionais, por absorvem mais a luminosidade em sua superfície externa, transferem mais calor para o interior da casa aumentando assim o desconforto térmico.



	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
Interno (telhado convencional)	34	35	37	38	39	40	41	42	42	42
Superfície externa (convencional)	44	47	52	50	50	50	51	53	55	53
Interno (telhado Biomimético)	32	34	36	37	38	39	40	41	41	41
Superfície externa (Biomimética)	49	49	51	51	54	55	55	57	58	53
Externo	35	37	38	37	39	39	39	39	40	38

Hora

Gráfico 1 Resultado do Experimento da telha *AntTile*.

5. DICUSSÃO

A concepção da Telha *AntTile* proposta neste projeto provou que pode diminuir o uso de energia elétrica na climatização artificial das casas. Os resultados promissores demostraram que a telha *AntTile* pode reduzir em torno de 1-2ºC em relação à telha convencional, sem discutir nesta pesquisa a possibilidade de utilização de diferentes matérias primas o provavelmente contribuiria para uma performance melhor do produto desenvolvido.

A telha bioinspirada *AntTile*, reduz o uso de equipamentos elétricos no processo de controle e condicionamento artificial da temperatura interna em edificações, reduz o consumo de energia elétrica e redução da geração de gases poluentes na atmosfera provenientes destes equipamentos elétricos.

O uso de climatização artificial tem sido foco de pesquisas por seu alto consumo de energia e baixa eficiência geral. Isso pode ser observado devido ao aumento de temperatura média global em áreas urbanas e o aumentando exponencialmente do uso indiscriminado de ar-condicionado. Nota-se também, a ineficiência dos processos de aquecimento e refrigeração não acompanha não conseguem acompanhar esse ritmo de crescimento, sem falar dos graves efeitos ambientais aumentarem no futuro. Então, é fundamental e viável planejar o futuro levando em consideração a climatização artificial, principalmente em grande parte do mundo, pois em áreas desérticas ou com muito calor/frio, o clima e a temperatura são agentes de sobrevivência. Pois, para Van Vuuren e Isaac (2009) e Van Vuuren et al. (2009), o uso de energia para resfriamento de ambientes deve aumentar de 1% a 7% a cada ano, com pico de crescimento entre 2020 e 2030, e isso já é realidade. O Gráfico 2 ilustra a curva de demanda energética global e sua projeção para o uso de ar-condicionado e aquecimento nas residências.

O Gráfico 2 mostra também que enquanto a demanda de energia utilizada para aquecimento residencial deve se estabilizar nas próximas décadas, o uso de energia para resfriamento deve aumentar em torno de 40 vezes de 2000 a 2100 e ainda continuar crescendo forma constante, representando um grande agente consumidor de energia. Atualmente, no planeta, essa energia é gerada principalmente por combustíveis fósseis com altas emissões de gases de efeito estufa, afetando a camada de ozônio entre outros problemas ambientais que estão ligados ao aquecimento global, o que aumenta consideravelmente os problemas climáticos e ambientais.

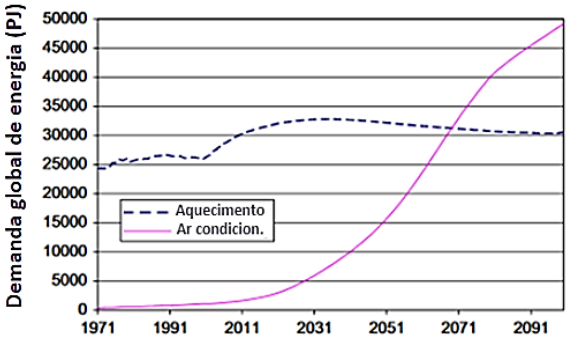


Gráfico 2 Demanda energética global para climatização residencial (Van Vuuren e Isaac, 2009).

O Gráfico 3 apresenta as emissões de gases poluentes (CO_2) para ar-condicionado residencial. O Gráfico 3 apresenta curvas muito semelhantes ao Gráfico 2, que demonstram uma grande relação entre o consumo de energia e as emissões de gases poluentes. Observa-se também que o crescimento do uso de ar-condicionado é maior em grandes concentrações demográficas e países com climas onde as temperaturas são mais elevadas, e com o a redução dos custos dos equipamentos de ar-condicionado, países com baixos índices de uso desses equipamentos, provavelmente, serão grandes consumidores desses produtos e, assim, sendo grandes agentes causadores de impactos ambientais pela climatização artificial no futuro.

Nos EUA, o UEC (A quantidade anual de energia utilizada pelo dispositivo elétrico - *The annual amount of energy used by the electrical device*) inicia-se em um nível de cerca de 1900 kWh em 2000 e aumenta para cerca de 4800 kWh no final do século (observando que esta é uma área quente e fria), sendo que três quartos desse aumento se devem às mudanças climáticas. Na Índia e no Sudeste Asiático, projeta-se que o UEC por família aumente para níveis muito mais altos, cerca de

13.000 kWh (devido ao clima quente). Já nas regiões mais frias, incluindo a Europa Ocidental, o UEC permanecerá abaixo de 1500kWh. Esse aumento na demanda por energia elétrica está associado ao aumento e uso de aparelhos que realizam climatização artificial.

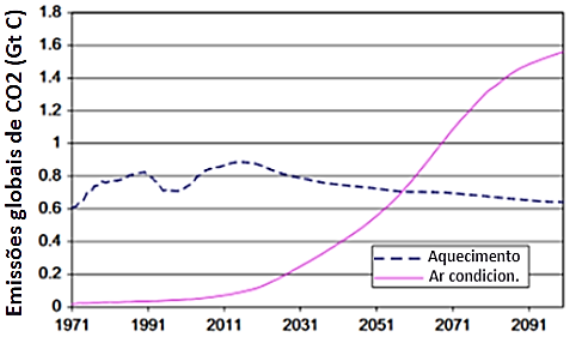


Gráfico 3 Emissões globais de CO2 para climatização residencial (Van Vuuren e Isaac, 2009).

O Gráfico 4 ilustra a distribuição da demanda de energia para ar-condicionado. Estima-se que para cada 1 grau Fahrenheit (ºF) ou 0,556º Celsius (ºC) haja uma diminuição no consumo de energia elétrica de uma residência pelo menor consumo em aquecimento. Analogamente, a queda de cada 1ºF ou 0,556ºC resulta em uma diminuição de mais de 3% no consumo de energia elétrica para refrigeração residencial. Ou seja, soluções que proporcionem uma baixa de aproximadamente 1°C (≈ 2°F) podem resultar em uma queda de 7% no consumo de energia de uma casa aquecida artificialmente e assim diminuir os impactos ambientais proporcionalmente. A porcentagem de energia elétrica que é utilizada na climatização pode variar de 20% a 75% do total de uma casa, o que significa que uma queda de 7% no consumo total de energia de uma casa representaria uma diminuição de aproximadamente 14% na energia utilizada apenas para climatização considerando que em média 50% da energia elétrica utilizada para climatização.

Portanto, o resultado ambiental da diminuição de 1°C da temperatura nas residências atualmente, se aplicado globalmente, é aproximadamente a diminuição da emissão de 0,0252 GTC (*Gigaton of Carbon*) representando 0,254% de redução nas emissões globais totais de Carbono considerando a emissão global de 9,9 GTCs (Le Quéré, 2018) e estimado em 2100 em uma redução de emissão de 0,2212 GTC por ano com base apenas nos dados de resfriamento do Gráfico 4. A redução estimada nas emissões de Carbono para -1ºC na temperatura das edificações pode ser observada no Gráfico 5.

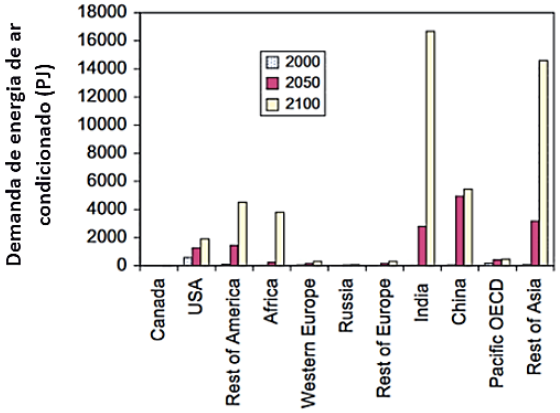


Gráfico 4 Distribuição global da demanda de energia de ar condicionado (Van Vuuren e Isaac, 2009).

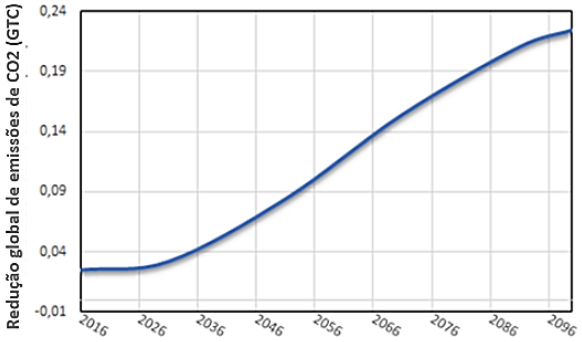


Gráfico 5 Redução estimada nas emissões de carbono para -1ºC na temperatura das casas.

6. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou o desenvolvimento de uma telha bioinspirada baseada nas características dos pêlos da formiga prateada do Saara (*Saharan Silver Ant*). A utilização do método BIOS possibilitou uma abordagem mais objetiva e parametrizada ao desenvolvimento de produtos biomiméticos, permitindo o desenvolvimento rápido de um produto precisamente bioinspirado que antes era feito de forma mais subjetiva.

O conhecimento embutido em milhares de anos de evolução da natureza serve de base para novas tecnologias na busca de soluções de problemas atuais e futuros, uma vez que as mudanças trazidas principalmente pelo homem no mundo são drásticas. O design da *AntTile* apresentou resultados promissores com redução de 1 a 2ºC na temperatura ao utilizar a telha bioinspirada em relação às telhas convencionais do mercado brasileiro, o que demonstra a eficiência do método de desenvolvimento de produtos biomiméticos (BIOS) e o potencial que os produtos bioinspirados tem na resolução de problemas complexos com soluções simples.

A telha *AntTile* teve como objetivo auxiliar passivamente o resfriamento de residências em locais quentes sem o uso de energia, baseando-se nas características dos pêlos da formiga prateada do Saara. A pesquisa apresenta diversas contribuições para as áreas de desenvolvimento de produtos e produtos bioinspirados de forma teórica e prática.

A pesquisa apresentada neste artigo limita-se ao uso final apenas do design e bioformato inspirado, sendo possível a sua expansão na utilização de materiais compósitos e sistemas com diversas bioinspirações diferentes com a perspectiva de se construir um produto ainda mais eficiente.

Ficou evidente que é necessárias mais explorações cientificas envolvendo a área de design e desenvolvimento de produtos biomiméticos, pois este tema com esse foco, ainda vem sendo muito pouco explorado na literatura, para que no futuro seja possível consolidar este conhecimento na forma de um modelo que seja capaz de suportar o processo de desenvolvimento de produto orientado ao Biomimetismo, envolvendo o design, a concepção e desenvolvimento de produtos bioinspirados.

Para continuidade desta pesquisa, é necessário utilizar maiores quantidades e variedades de bioinspirações juntamente com ciclos e sistemas sustentáveis no desenvolvimento e teste de produtos biomiméticos. Além disso, deve-se estudar o uso de composições e materiais biomiméticos alternativos que possam influenciar no processo de desenvolvimento atual de produtos, desde sua concepção até sua fabricação.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem imensamente a participação dos pesquisadores Diego Pereira Mendes, João Alberto Saldanha Junior, Aguilar Selhorst Junior, Denise da Mata Medeiros e Tiago dos Santos Silva neste projeto de pesquisa, e também à Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. Adamu, Z.; Price, A., 2015. Natural Ventilation with Heat Recovery: A Biomimetic Concept. Buildings, Vol.5(2), pp.405-423.
2. Aguiar F. C., Bentz, J., Silva, M. N. J., Fonseca A. L., Swart, R., Santos, F. D., Penha- Lopes, G. P., 2018. Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview. Environmental Science & Policy, 86.
3. AL-SEHAIL, Osama. A Biomimetic Structural From: Developing a Paradigm to Attain Vital Sustainability in Tall Architecture. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Architectural and Environmental Engineering, vol. 11, n. 3, pg. 340-350, 2017.
4. Ask Nature, 2016. Dead branches release seeds. https://asknature.org/strategy/dead-branches-release-seeds/#.WuHWmojwbIV. (Acessado 20 April 2018).
5. Ask Nature, 2017. Leaves adapt to dry, hot conditions.https://asknature.org/strategy/leaves-adapt-to-dry-hot conditions/#.WuHV9ojwbIV (Acessado 20 April 2018).
6. Ask Nature, 2018. Hair helps cool the body. https://asknature.org/strategy/hair-helps-cool-the-body/#.wuhn7ojwbiu. (Accessado 20 April 2018).
7. Badarnah, L., 2015. A biophysical framework of heat regulation strategies for the design of biomimetic building envelopes. Procedia engineering, 118, 1225-1235.
8. BENYUS, J. M., 2016. Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza. 1ª Edição 9ª Reimpressão. São Paulo: Orgrafic Gráfica e Editora, 2016.
9. Beshr, M., Aute V., Abdelaziz, O., Fricke, B., Radermacher, R., 2017. Potential emission savings from refrigeration and air conditioning systems by using low GWP refrigerants. Carbon Foot printing, 22, 675-682.
10. Bontemps, A., Vanneste, T., Paquet, J. B., Dietsch, T., Grondel, S., Cattan, E., 2013. Design and performance of an insect-inspired nano air vehicle. Smart Materials and Structures, 22, 1-13.
11. Carter, J. G., 2018. Urban climate change adaptation: Exploring the implications of future land cover scenarios. Cities, 77, 73-80.
12. Chaplin, G., Nina G. J., Robert W. S., Kelley A. E., 2014. The role of piloerection in primate thermoregulation. Folia primatologica, 85, 1-17.
13. Climatic Research Unit. Temperature Variation. http://www.cru.uea.ac.uk/ (accessed 20 April 2018).
14. Demeester, L., Eichler K., Christoph H. L., 2004. Organic Production Systems: What the Biological Cell Can Teach Us About Manufacturing OM Forum Organic Production Systems: What the Biological Cell Can Teach Us About Manufacturing. Manufacturing & Service Operations Management, 6 (2), 115-132.
15. ELETROBRAS. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: Classe Residencial Relatório Sudeste. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2005. 181 p. (Avaliação do Mercado de Eficiencia Energética no Brasil).
16. Embrapa, 1970. Banco de Dados Climático do Brasil, Embrapa. https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bdclima/balanco/index/index_sp.html. (accessed 25 April 2018).
17. Ferrari de Sá, R., 2017. Conceptual method for the application of biomimetics as a tool to support the process of development of sustainable products - BIOS (in Portuguese). Dissertation. PPGEPS/PUC-PR, Curitiba.
18. Gao, Y., Gao X., Zhang X., 2017. The 2 °C Global Temperature Target and the Evolution of the Long-Term Goal of Addressing Climate Change-From the United Nations Framework Convention on Climate Change to the Paris Agreement. Engineering. 3. 272-278.
19. Gethyllis Villosa (http://www.llifle.com/Encyclopedia/BULBS/Family/Amaryllidaceae/33530/Gethyllis_villosa) acessada em outubro de 2022.
20. Grignon-Massé L., Rivière P., Adnot J., 2011. Strategies for reducing the environmental impacts of room air conditioners in Europe. Energy Police, 39, 2152-2164.
21. Herzog, H., Klein, A., Bleckmann, H., Holik, P., Schmitz, S., Siebke, G., Tätzner, S., Lacher, M., Steltenkamp, S., 2015. µ-biomimetic flow-sensors - Introducing light-guiding PDMS structures into MEMS. Bioinspiration and Biomimetics, 3, 1-14.
22. Hodson, R., 2017. Climate Change. Nature, 550, 53.
23. Hofstra, N., Huisingh, D., 2014. Eco-innovations characterized: a taxonomic classi fi cation of relationships between humans and nature. Journal of Cleaner Production, 66, 459-468.
24. Hoppe, R., Petrova, S., 2004. Optimal shape design in biomimetics based on homogenization and adaptivity. Mathematics and Computers in Simulation, 65, 257-272.
25. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press.
26. Kılkıs, S., 2016. Sustainability-oriented innovation system analyses of Brazil, Russia, India, China, South Africa, Turkey and Singapore. Journal of Cleaner Production journal, 130, 235- 247.
27. Le Quéré C., Andrew, R.M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Pongratz, J., Manning, A.C., Korsbakken, J.I., Peters, G.P., Canadell, J.G., Jackson, R.B. and Boden, T.A., 2018. Global carbon budget 2017. Earth System Science Data, 10(1), 405.
28. Leissner, J., Kilian, R., Kotova, L., Jacob, D., Mikolajewicz, U., Broström, T., Antretter, F., 2015. Climate for Culture: assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations. Heritage Sci. 3 (1), 38.
29. LIM, Chaeguk; YUN, Dooseob; PARK, Inchae; YOON, Byungun. A systematic approach for new technology

development by using a biomimicry-based TRIZ contradiction matrix. Creativity and Innovation Management, vol. 27, pg. 414-430, 2018.

30. Mazurczyk, T., Piekielek, N., Tansey, E., Goldman, B., 2018. Climate Risk Management American archives and climate change: Risks and adaptation. Climate Risk Management, 20, 111-125.
31. National Academy of Science, USA, 2018. What you need to know about energy. https://www.nap.edu/read/12204/ (accessed 20 April 2018).
32. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2018. Climate Time Machine. https://climate.nasa.gov/interactives/climate-time-machine (accessed 25 April 2018).
33. Orofino, M. A. R. Técnicas de criação do conhecimento no desenvolvimento de modelos de negócio. 2011. 233 Dissertação (Mestrado). Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento., Universidade Federal de Santa Catarina.
34. Osterwalder, A.; Pigneur, Y. Business Model Generation - inovação em modelos de negócios: um manual para visionários, inovadores e revolucionários. Alta Books, 2011. 300.
35. Paar, M. J.; Petutschnigg A. 2016 Biomimetic inspired, natural ventilated façade - A conceptual stud. Journal of Facade Design and Engineering, 4, 131-142.
36. Parr D.R.G. (2013). Biomimetic Lessons for Natural Ventilation of Buildings. In: Lepora N.F., Mura A., Krapp H.G., Verschure P.F.M.J., Prescott T.J. (eds) Biomimetic and Biohybrid Systems. Living Machines 2013. Lecture Notes in Computer Science, 8064.
37. Reisen, K., Teschemacher, U., Niehues, M., Reinhart, G., 2016. Biomimetics in Production Organization - A Literature Study and Framework. Journal of Bionic Engineering, 13, 200-212.
38. Rodell, M., P.R. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J.K. Entin, J.P. Walker, D. Lohmann, and D. Toll, 2004: The Global Land Data Assimilation System. Bull. Amer. Meteor. Soc., 85, 381-394.
39. Rosa de Jericó (https://www.dhonellalojavirtual.com.br /rosa-de-jerico) acessada em outubro de 2022.
40. Stephens, B., 2014. The impacts of duct design on life cycle costs of central residential heating and air-conditioning systems. Energy and Buildings, 82, 563-579.
41. Terryn, S., Mathijssen, G., Brancart, J., Lefeber, D., Assche, G. V., Vanderborght, B., 2015. Development of a self-healing soft pneumatic actuator: A first concept. Bioinspiration and Biomimetics, 10, 1-17.
42. Van Vuuren D. P., Isaac, M., 2009. Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change. Energy policy, 37.2, 507-521.
43. von Gleich A., Pade C., Petschow U., Pissarskoi E., 2010. Potentials and Trends in Biomimetics, first ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany.
44. Watling, J. R., Grant N. M., Miller R. E., Robinson. S. A., 2008. Mechanisms of thermoregulation in plants. Plant signaling & behavior 3, 8, 595-597.
45. Yau Y. H., Pean H.L., 2011. The climate change impact on air conditioner system and reliability in Malaysia: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 4939-4949.
46. Zhang, L., Lü, C., Li, Y., Lin, Z., Wang, Z., Dong, H., Wang, T., Zhang, X., Li, X., Zhang, J., Yang, B., 2012. Fabrication of biomimetic high performance antireflective and antifogging film by spin-coating. Journal of Colloid and Interface Science, 374, 89-95.