



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

FACHADAS ADAPTATIVAS: ARQUITETURA DINÂMICA ORIENTADA AO DESEMPENHO¹

SCHELIGA, Renata (1); JOHN, Vanderley (2)

(1) POLIUSP, e-mail: renata.scheliga@usp.br; (2) POLIUSP, e-mail: vmjohn@lme.pcc.usp.br

RESUMO

As fachadas dos edifícios conformam o subsistema responsável pela interface entre o ambiente interno, protegido, e o ambiente externo. Junto com a cobertura, é responsável por "filtrar" as condições dinâmicas do mundo externo e prover um ambiente com condições estáveis de conforto. À parte das aberturas, a maioria das fachadas tem propriedades estáticas, o que limita a sua eficácia de proteção. O presente artigo se propõe a discutir as funções e modo de funcionamento das fachadas, explorando o potencial de fachadas adaptativas e apresentando as tecnologias relacionadas. Ele inclui um mapeamento dos aspectos que caracterizam uma fachada como adaptativa, visando identificar os sistemas, tecnologias, materiais e soluções empregadas. O artigo inicia com uma revisão bibliográfica, incluindo o desempenho esperado para edificações e os tipos de funções passíveis de serem adaptáveis. A partir das definições foram analisados casos de edificações e protótipos de fachadas adaptativas. Como produto final há um conjunto de relatos, sintético porém abrangente, a respeito das tecnologias adaptativas disponíveis e em desenvolvimento, possibilitando uma leitura do potencial de evolução deste conceito e os possíveis ganhos viabilizados por sua aplicação em projetos de fachadas de edificações no Brasil.

Palavras-chave: Inovação. Fachadas adaptativas. Desempenho.

ABSTRACT

The building skins are responsible for the interface between the interior and the exterior environment. Along with the roof, it is responsible for "filtering" the dynamic conditions of the external world and providing an environment with stable conditions of comfort. Apart from the window openings, most of facades have static properties, which limits its protective efficacy. This study aims to discuss the functions and operation of the facades, exploring the potential of adaptive façades and display related technologies. It includes a mapping of the aspects that characterize a facade as adaptive in order to identify the systems, technologies, materials and employed solutions. From the gathered definitions, selected cases were analyzed. As the final product, there is a set of reports, synthetic yet comprehensive regarding adaptive technologies available and under development, allowing an understanding of the development potential of this concept and the possible gains by its use in building facades projects in Brazil.

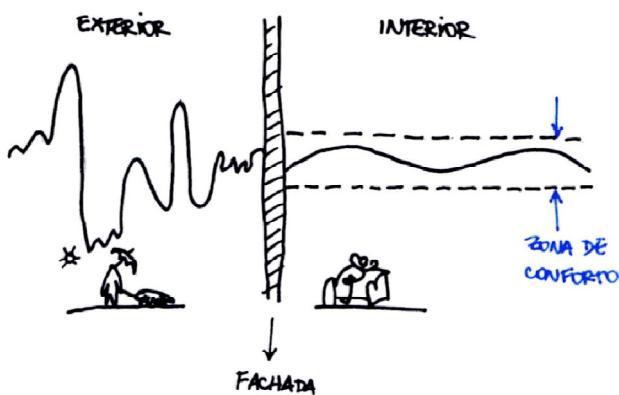
Keywords: Innovation. Kinetic Façades. Performance.

¹ SCHELIGA, Renata; JOHN, Vanderley. Fachadas adaptativas: arquitetura dinâmica orientada ao desempenho. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

As fachadas das edificações são conhecidas como a terceira pele, sendo a primeira a pele humana e a segunda as roupas que alguém veste (FORTMEYER; LINN, 2014). As fachadas possuem um papel importante no desempenho do edifício como um todo. O envelope que faz a interface do edifício com o meio externo acaba por integrar diversas funções, com premissas técnicas que devem ser exploradas ao máximo para garantir a satisfação do usuário. Pode-se afirmar que a fachada é responsável por “filtrar” as condições dinâmicas do mundo externo e prover um ambiente com condições estáveis de conforto, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Ilustração da interface entre ambiente interno e externo



Fonte: adaptado de KLEIN, 2013

A tendência atual das investigações é a de interpretação das edificações como verdadeiros organismos. Assim como a pele humana, as fachadas dos edifícios do futuro deverão cada vez mais ser enxergadas como os elementos constituintes de um revestimento que protege a edificação contra agentes provenientes do exterior e que, entre outras funções importantes, participam ativamente no controle das condições internas. Em meio a este contexto, o presente artigo tem por objetivo coletar e avaliar qualitativamente as experiências desenvolvidas com fachadas adaptativas, a fim de sistematizar o conhecimento disponível sobre este assunto tão relevante e importante para os próximos passos a serem tomados na construção civil.

2 FACHADAS E DESEMPENHO

A avaliação do desempenho costuma ser a ferramenta para medir o quanto satisfatório está sendo o papel de um subsistema específico. Apesar de se voltar em um primeiro momento apenas para edificações de uso residencial, a norma de desempenho (ABNT, 2013), faz com que usuários e projetistas olhem com mais cuidado para esta questão. A abordagem de desempenho pode ser definida como uma prática de se pensar nos fins e não diretamente

nos meios para se atingir um objetivo, já que desempenho é o comportamento relacionado ao uso.

Para atender suas funções de forma satisfatória e dentro de uma durabilidade especificada, é necessário que o subsistema, no caso de fachadas, seja projetado segundo alguns critérios que garantam o cumprimento dos requisitos de desempenho especificados (OLIVEIRA, 2002). O esquema mostrado abaixo visa sintetizar os principais requisitos de desempenho para a fachada de uma edificação:



SEGURANÇA

- Garantir a segurança dos usuários e dos transeuntes do entorno
- Segurança estrutural: contra ações da gravidade e da ação do vento
- Resistência ao impacto de pessoas/objetos (do lado interno para o externo)
- Componentes móveis devem ser seguros durante sua operação (janelas, por exemplo)
- Segurança contra incêndio: deve ser garantida a compartimentação entre pavimentos



USO

- Desempenho térmico: frente ao meio externo, devem ser proporcionadas temperaturas mais amenas no interior da edificação – sistema de condicionamento de ar é forte aliado nesta questão, deve haver equilíbrio com o gasto energético
- Desempenho acústico: deve-se garantir que as atividades a serem desempenhadas não sejam atrapalhadas pelo ruído proveniente do meio externo
- Desempenho lumínico: deve ser provida iluminação suficiente para o desempenho das atividades fins da edificação, sem gerar ofuscamento dos usuários - sistema de iluminação artificial é forte aliado nesta questão, deve haver equilíbrio com o gasto energético
- Qualidade do ar interno: barreira contra impurezas e equilíbrio da umidade - estanqueidade



VIDA ÚTIL

- Condições adequadas de uso por um longo período de tempo, dada a manutenção adequada – requisitos de durabilidade
- Durabilidade: capacidade de manutenção do desempenho ao longo do tempo – não é propriedade do material, mas sim o resultado de sua interação com o ambiente que o cerca
- Possibilitar a manutenção dos sistemas, sem necessariamente suspender o uso da edificação para tal
- Sistema deve ter viabilidade econômica para sua execução – o mercado deve estar disposto a pagar pelo seu custo
- Custos de manutenção devem ser equilibrados, de modo a não desencorajar os usuários de realiza-la



CUSTO



ESTÉTICA

- Qualidade estética satisfatória para a edificação – facilmente relacionada com a identidade dos que ali habitam/trabalham, ou seja, seus consumidores
- Inserção urbana – respeito ao conjunto urbano de que a edificação faz parte

3 FACHADAS ADAPTATIVAS

As fachadas adaptativas não podem ser vistas simplesmente como fachadas que se movem. O movimento literal não é o objetivo final ao qual se interessa estudar, mas sim o desenvolvimento recente dos conceitos arquitetônicos em relação ao fluxo energético. Enquanto no passado as fachadas eram concebidas como barreiras energéticas, agora abre-se caminho para que sejam movimentadoras de energia e, em alguns casos, até geradoras de energia (FORTMEYER; LINN, 2014). No presente artigo, serão considerados fachadas adaptativas todos os sistemas que reagem de alguma forma às mudanças do ambiente externo, como meio para adaptação do desempenho interno.

A tecnologia para alcançar o desenvolvimento de fachadas inteligentes já está no mercado, crescendo em um ritmo rápido no últimos anos. O termo inteligente se refere justamente à capacidade da fachada de se transformar de acordo com as condições ambientais. A resposta dinâmica requer que o edifício “saiba” as mudanças que ocorrem tanto no ambiente interno quanto no externo e “decida” qual a solução mais eficiente para prover o conforto para os ocupantes, “respondendo” assim de acordo com a decisão tomada. Como as necessidades dos usuários e as condições climáticas são variáveis em constante mudança, as fachadas como elementos estáticos não possuem a competência necessária para trazer o máximo benefício. O envelope deve ser capaz de se adaptar a diferentes condições e responder às mudanças (MASRI, 2015).

A seguir será feita uma classificação dos sistemas de fachadas adaptativas, com agrupamentos definidos a partir de seu modo de acionamento, por similaridade do funcionamento do sistema. Para melhor entendimento serão desenvolvidos estudos de caso, de modo a destacar as características mais importantes de edificações desenvolvidas com tais sistemas. Os estudos de caso serão apresentados conforme o embasamento acerca dos requisitos de desempenho relatados anteriormente. Terá destaque também a maturidade tecnológica de cada um dos sistemas apresentados. A escala de maturidade ou prontidão tecnológica desenvolvida pela EMBRAPII – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Tecnológica, conforme mostra a Figura 2, varia de 1 a 9, em função da observação de parâmetros atribuídos ao projeto, o qual pode consistir em uma nova ideia, conceito ou achado científico, constituir um novo produto, processo ou se integrar em sistema existente ou inovador (“Embrapii”, [s.d.]).

Figura 2: tabela com a escala do TRL para a classificação de projetos, com base na norma ISO 16290:2013

| TRL | DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE |
|----------|---|
| 1 | Princípios básicos observados e reportados |
| 2 | Formulação de conceitos tecnológico e/ou de aplicação |
| 3 | Estabelecimento de função crítica de forma analítica ou experimental e ou prova de conceito |
| 4 | Validação funcional dos componentes em ambiente de laboratório |
| 5 | Validação das funções críticas dos componentes em ambiente relevante |
| 6 | Demonstração de funções críticas do protótipo em ambiente relevante |
| 7 | Demonstração de protótipo do sistema em ambiente operacional |
| 8 | Sistema qualificado e finalizado |
| 9 | Sistema operando e comprovado em todos os aspectos de sua missão operacional |

Fonte: ("Embrapii", [s.d.])

3.1 Sistemas com acionamento pelo usuário

Os primeiros e mais comuns sistemas adaptativos de fachada são aqueles que funcionam através da interação com o usuário, os quais estão mais próximos do que se imagina. Uma janela, por exemplo, é um tipo de elemento ativo dentro de uma fachada. É por meio destas aberturas, que podem ser fechadas conforme desejo e necessidade do usuário, que muitos dos requisitos de desempenho podem ser controlados. Ruídos, temperatura, qualidade do ar, luminosidade tudo isso muda conforme se deixa uma janela aberta ou fechada.

O acionamento comandado pelo usuário, apesar de configurar sistemas mais simples e aparentemente com maior economia energética, possui a desvantagem de depender da subjetividade advinda da individualidade de cada um. A sensação de conforto varia entre os usuários que ocupam um mesmo edifício, fazendo com que o que é uma situação adequada para um possa não o ser para outros. Dessa forma, o acionamento dos elementos de controle pode não ser feita de forma a otimizar o desempenho do edifício em todo o seu potencial. Por outro lado, o controle pelo usuário pode favorecer as atividades exercidas nos espaços internos, uma vez que possibilita que os brises sejam abertos ou fechados conforme a necessidade. Em uma sala de reunião, por exemplo, se for do desejo dos usuários um ambiente mais escuro para uma apresentação, basta acionar o fechamento dos brises para atingir a atmosfera desejada.

Como exemplo de sistema com acionamento pelo usuário pode-se citar o edifício paulistano de Salvador Candia, que data do ano de 1974. A fachada conta com um painel de brises verticais móveis à frente das superfícies de janelas dos escritórios. Tais elementos movimentam-se através de comando mecânico, controlado pelos usuários do edifício, que podem

desta forma controlar a quantidade de incidência solar diretamente nas janelas dos escritórios da instituição bancária que ocupa a edificação. O edifício em questão possui um perfil emblemático na cidade de São Paulo. A estética é destaque neste edifício, conhecido por montar mensagens na fachada durante o período de festas (Figura 3).

Figura 3: Edifício sede do Unibanco, de Salvador Candia, em São Paulo.



Fonte: <http://rafagushi.tumblr.com/page/9>

3.2 Sistemas com acionamento por sensores

Este segundo grupo reúne projetos em que sensores são colocados nas fachadas para que se tenha uma leitura da situação externa. Os indicadores mensurados pelos sensores são então interpretados pelo sistema de automação e ativam os elementos adaptáveis das fachadas. A questão energética é primordial nesse sentido, pois há que se gastar energia para economizá-la em outros sistemas, como o de condicionamento de ar, por exemplo.

3.2.1 Estudo de caso 1: Institut du Monde Arabe

Este estudo de caso apresentará um dos projetos mais lembrados quando se trata de fachadas adaptativas. Construído ainda em 1988, de concepção de Jean Nouvel, o edifício parisiense possui um sistema mecânico de controle da entrada de luz com acionamento por sensores.

A fachada Sul possui elementos móveis modulares que se movimentam para controlar a quantidade de luz que adentrará o edifício. Cada um dos painéis sobrepostos à fachada de vidro (Figura 4) possui 57 diafragmas móveis,

divididos em dois grupos de controle através de sensores. No total são 480 sensores de luz controlando o movimento destes elementos de fachada. Ao invés de se movimentares todos de uma vez em resposta a uma mudança geral da iluminação proveniente do sol, cada painel foi concebido para operar de forma totalmente independente dos demais (MEAGHER, 2015).

Figura 4 – Painel da fachada Sul do Institut du Monde Arabe



Fonte: Autores

Para a análise do funcionamento desta fachada é preciso dizer que o sistema da fachada Sul não funcionou conforme esperado em sua concepção. Não é claro se o problema decorreu de falhas no projeto ou se resultou de uma manutenção inadequada do cliente, mas o que se sabe é que após apenas três anos de sua inauguração em 1988, os diafragmas passaram a serem controlados de maneira central, inutilizando-se os 480 sensores presentes na fachada. Após 6 anos, a movimentação das peças cessou por completo. É quase certa a participação da manutenção inadequada para esta desativação do sistema, mas também é preciso destacar a importância da viabilidade de funcionamento a longo prazo para as fachadas responsivas (MEAGHER, 2014). A complexidade, ainda que permita um resultado mais eficiente, pode ser maléfica ao sistema caso inviabilize a sua correta manutenção, seja por aspectos técnicos ou econômicos.

A tabela 1 relaciona as características deste sistema de fachada com os requisitos de desempenho apresentados anteriormente.

Tabela 1: análise do estudo de caso 1 frente aos critérios de desempenho designados

| Estudo de Caso 1: Institut du Monde Arabe | |
|--|--|
| SEGURANÇA | O sistema é satisfatório do ponto de vista da segurança. As partes móveis localizam-se entre duas lâminas de vidro, impedindo que o usuário entre em contato direto com os diafragmas, evitando assim ferimentos durante sua operação. |
| USO | O principal ganho para o usuário seria o do desempenho térmico e lumínico controlados pelos sensores. Como foram desativados após alguns anos de uso, não se pode afirmar que estes benefícios são satisfatórios. |
| VIDA ÚTIL | A vida útil do sistema não pôde ser totalmente verificada já que o sistema cessou seu funcionamento conforme projetado. A manutenção não foi feita de maneira adequada, o que comprometeu a durabilidade da tecnologia proposta. |
| CUSTO | A complexidade do sistema fez com que o mesmo fosse readaptado após certo tempo de uso (central de controle), até serem completamente desativados após alguns anos. Embora não esteja claro na literatura, certamente o custo de manutenção foi decisivo para esta medida de suspensão do sistema adaptativo. |
| ESTÉTICA | É inquestionável que os painéis trouxeram uma qualidade estética à edificação. Foram desenvolvidos com uma geometria que remete à cultura árabe, para a qual se destina a instituição que ocupa o edifício. A estética foi tão privilegiada neste projeto que, mesmo após o fim do funcionamento do sistema adaptativo, as fachadas ainda são destiques de beleza arquitetônica. |
| MATURIDADE TECNOLÓGICA | O sistema pode ser classificado como TRL em nível 7. A fachada, como não está disponível em mercado, é um protótipo o qual foi testado apenas nesta edificação. Para se atingir o próximo nível seria preciso aperfeiçoar as questões que surgiram nesta experiência e testá-lo novamente, para que fosse finalizado o seu desenvolvimento. |

Fonte: Autores

3.3 Sistemas com acionamento através de propriedades físicas dos materiais

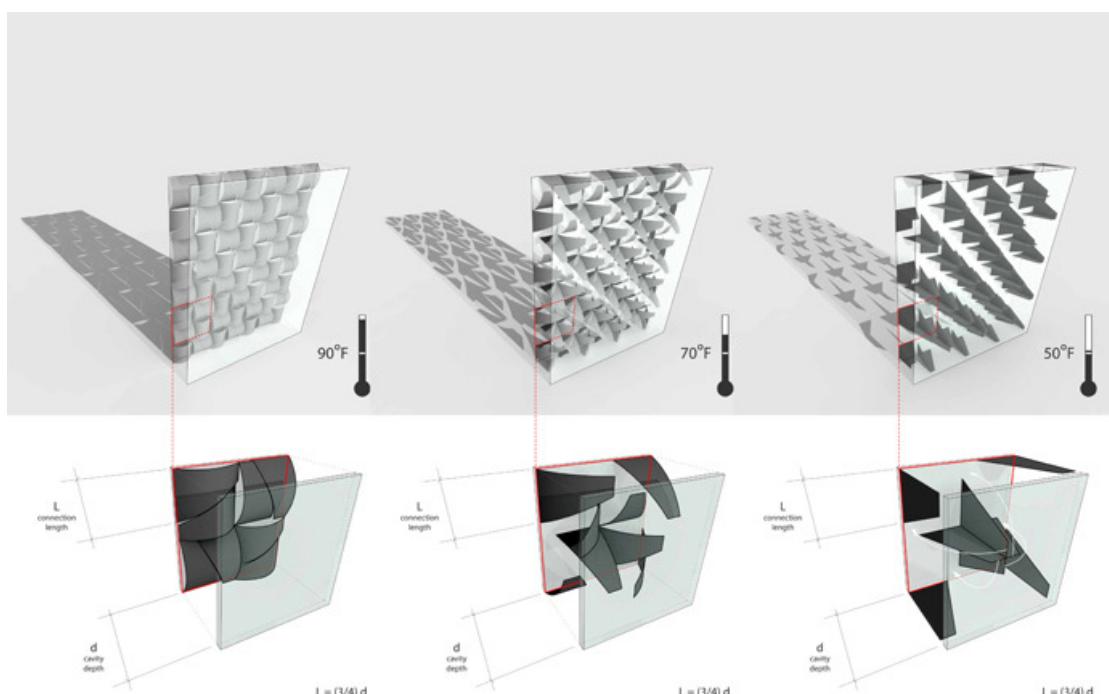
Atualmente a biologia é a inspiração para muito do pensamento tecnológico. Muitos estudos olham para a natureza como fonte de inspiração para a subsequente aplicação na arquitetura, uma tendência também conhecida como biomimética. As plantas, assim como os edifícios, possuem pouco movimento e permanecem sujeitas a uma locação específica, tendo portanto que resistir a condições climática que as atingem o tempo todo. Dessa forma, acabaram desenvolvendo meios especiais de proteção contra o excesso de vento, seca, frio, calor e luz (LÓPEZ et al., 2015).

3.3.1 Estudo de caso 2: Metal que respira

Doris Kim Sung, pesquisadora do MIT, desenvolveu um trabalho motivado pela vontade de ir além das possibilidades dos sensores, visando a criação de edificações inteligentes. A pesquisadora afirma acreditar que não é possível depender de maior eficiência de sistemas mecânicos com o objetivo de se atingir consumo energético líquido nulo (SUNG, [s.d.]). Para isso, foi conduzida uma pesquisa centrada em materiais que reagem ao ambiente por si só, deixando de escanteio os botões de “liga/desliga”.

O protótipo desenvolvido usa um bimetal, elemento composto por duas finas camadas de metais diferentes, cada uma delas com um diferente coeficiente de dilatação. Quando a temperatura sobe, um dos lado reage “mais rapidamente” à ação do calor que o outro, fazendo com que o metal todo se curve (ANDERSON, 2012). A deformação das peças frente às diferentes temperaturas encontradas no meio externo, se aplicadas em painéis de fachadas, podem gerar áreas de sombreamento que, a depender de sua geometria, geram ganhos significativos de desempenho, sem a necessidade de energia para manter o sistema funcionando (Figura 5).

Figura 5: esquema ilustrativo do sistema desenvolvido por Doris Kim Sung.



Fonte: (SUNG, [s.d.])

A tabela 2 relaciona as características deste sistema de fachada com os requisitos de desempenho apresentados anteriormente.

Tabela 2: análise do estudo de caso 2 frente aos critérios de desempenho designados

| Estudo de Caso 2: Metal que respira | |
|--|--|
| SEGURANÇA  | Por se tratar de um estudo ainda muito inicial, não há itens conclusivos a este respeito. Provavelmente a sua aplicação em uma edificação seria associada a um sistema de fachada independente, como uma camada de sombreamento, de forma que grande parte da segurança estaria a cargo do sistema principal. É importante que se garanta, principalmente em grandes altura, que nenhuma parte do material se desprenda e caia do edifício, gerando risco aos transeuntes. |
| USO  | A pesquisa propõe um sistema de sombreamento, que seria responsável por melhorias no desempenho térmico da edificação. Em dias quentes o sombreamento representaria um grande ganho, mas o modo de acionamento através de características físicas dos materiais elimina o usuário do papel de agente, o que pode comprometer o desempenho lumínico, deixando a iluminação totalmente a cargo das fontes artificiais. |
| VIDA ÚTIL  | Não foram encontrados dados suficientes para se chegar a conclusões sobre a vida útil do sistema proposto. Seria importante verificar a questão da fadiga, pois a movimentação dos metais pode ocasionar danos em suas propriedades físicas e este parece um sistema de difícil manutenção/reposição. |
| CUSTO  | O grande foco do projeto desenvolvido pela pesquisadora está no baixo consumo energético. A ideia aqui seria a de que a fachada pode se adaptar às condições do ambiente de inserção sem a adição de energia durante seu ciclo de uso, o que teria reflexo direto no seu custo para o usuário. A questão que precisa ser mais profundamente estudada é a do custo para sua fabricação, onde talvez seja necessária uma grande quantidade energética para produção dos materiais com as características adequadas. Como a fase de uso é muito mais longa que a fase de implementação, os ganhos parecem significativos. |
| ESTÉTICA  | A mutação do material estudado leva a um ganho estético muito interessante. É raro ver um edifício que sofre mudanças em sua fachada ao longo de um mesmo dia e, neste caso, a sensibilidade seria separada entre cada pequena parte da membrana, formando composições diferentes a cada minuto. |
| MATURIDADE TECNOLÓGICA  | Ainda não foi feito um protótipo completo com uso do sistema em questão, portanto podemos afirmar que a tecnologia encontra-se com o TRL no nível 4. Este nível corresponde a componentes que tiveram sua validação funcional em ambiente de laboratório apenas. |

Fonte: Autores

3.4 Sistemas geradores de energia

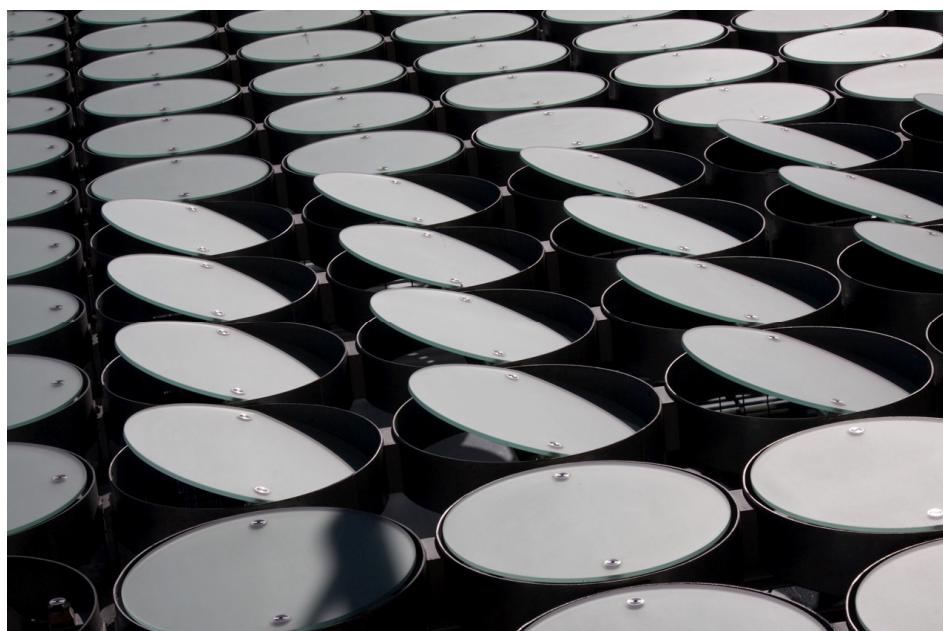
As fachadas adaptativas possuem ainda um passo além da melhoria do desempenho: a possibilidade de se agregar outras funções além daquelas que tradicionalmente se espera de uma fachada. Na seção a respeito de desempenho foram definidas as funções principais de uma fachada, mas algumas pesquisas vão além disso e aproveitam o potencial presente nesta

parte exposta para não só economizar a energia investida para funcionamento do edifício, como também gerar energia.

3.4.1 Estudo de caso 3: RMIT Design Hub

A edificação em estudo localiza-se em Melbourne, na Australia. Projetada por Sean Godsell e Hayley Franklin, foi inaugurada em 2012. O propósito do Design Hub é acomodar em um edifício uma gama diversa de pesquisa em design e um curso de pós-graduação. O centro possui um grande número de recursos de eficiência energética e incorpora estratégias de gestão de resíduos, água e reciclagem.

Figura 6: painéis fotovoltaicos móveis do RMIT Design Hub.



Fonte: (DELAQUA, 2013)

O revestimento externo em particular incorpora um elemento de sombreamento automatizado que inclui células fotovoltaicas e entradas de ar fresco para melhorar a qualidade do ar interno e reduzir custos, conforme se observa na Figura 6. As células solares foram desenhadas exclusivamente e podem ser facilmente substituídas à medida que as pesquisas empreendidas em energia solar atinjam tecnologias melhores (DELAQUA, 2013). Os discos da fachada são móveis, podendo rotacionar em direção à luz solar, visando a otimização da geração de energia (KNOL; KNEEPKENS; ZVINONAITÉ, [s.d.]).

A tabela 3 relaciona as características deste sistema de fachada com os requisitos de desempenho apresentados anteriormente.

Tabela 3: análise do estudo de caso 2 frente aos critérios de desempenho designados

| Estudo de Caso 2: RMIT Design Hub | |
|--|--|
| SEGURANÇA | As questões relacionadas à segurança estão satisfeitas no sistema de fachada desta edificação. A mobilidade dos painéis se dá no meio externo, sem sujeitar os usuários da edificação a riscos. |
| USO | Interessante que neste exemplar, ao invés de se tratar de uma fachada completamente vedada, a entrada de ar é propiciada pelos painéis móveis com o propósito de melhorar a qualidade interna do ar. O sombreamento é responsável pela melhoria no desempenho térmico. |
| VIDA ÚTIL | Com relação à vida útil ainda não é possível fazer afirmações seguras. Um ponto focal do projeto está na possibilidade facilitada da troca das placas fotovoltaicas, de modo a acompanhar sua evolução tecnológica. |
| CUSTO | O custo de implementação deste sistema, por sua complexidade, é elevado. A geração de energia visa compensar esta questão, uma vez que possibilita a economia de gastos durante sua operação através da autonomia energética. |
| ESTÉTICA | A forma dos painéis e movimentação dos mesmos pode ser colocada como uma característica favorável à estética. A cor dos painéis necessariamente escuros para a geração de energia acaba por limitar as possibilidades cromáticas para a arquitetura. Para contornar tal questão seria necessário associar a solução a outros materiais, mantendo os painéis fotovoltaicos apenas nas fachadas necessárias. |
| MATURIDADE TECNOLÓGICA | Pode-se afirmar que o TRL do sistema está no nível 7, caminhando para 8. O prédio é um protótipo para o estudo de diversas tecnologias, portanto em constante desenvolvimento. Dessa forma, é possível dizer que há a possibilidade de, em breve, o sistema estar qualificado com os ajustes provenientes desta experiência, podendo então ser utilizado em outras edificações. |

Fonte: Autores

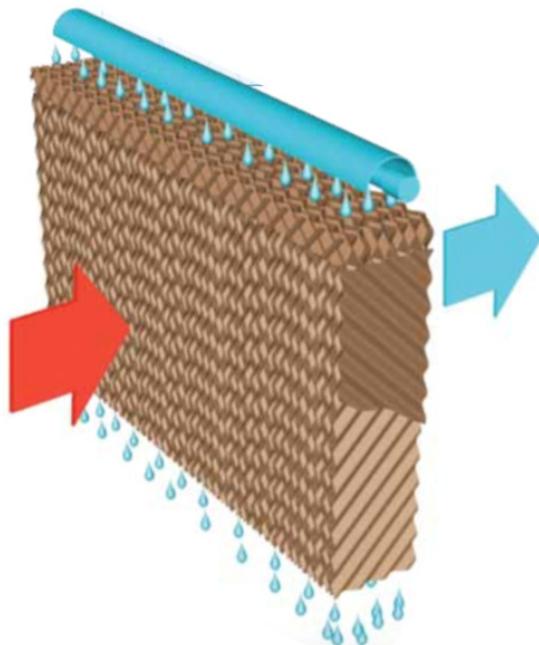
3.5 Sistemas evaporativos

A evaporação passiva oferece uma solução com baixos recursos e baixo impacto ambiental de resfriamento das edificações, podendo ser classificada como direta ou indireta. O resfriamento por evaporação direta faz a temperatura do ambiente baixar enquanto a umidade sobe, mantendo uma temperatura de bulbo molhado constante. Em oposição ao sistema de resfriamento por evaporação direta, os sistemas indiretos fazem o resfriamento sem aumentar a umidade do ar interno, utilizando-se de troca de calor entre as partes (CHEN; LIU; LIN, 2015).

A empresa norte americana Nature Cool oferece um produto feito a partir de celulose especial e fibra de vidro para aplicação em fachadas. Os módulos ilustrados na Figura 7 recebem tratamento para resistir tanto à degradação mecânica quanto à biológica, trazendo assim maior durabilidade. Com aplicação em edifícios industriais, o sistema conta com o resfriamento evaporativo para atingir uma significativa queda de

temperatura. O desenho das peças potencializa a superfície de contato do ar com o substrato úmido, otimizando assim o resfriamento do ar que adentra o ambiente. As superfícies onduladas contribuem também para que o ar mude de direção quando está atravessando o painel, fazendo com que seja mais garantido que entrará em contato com uma superfície úmida.

Figura 7: painel de celulose e fibra de vidro



Fonte: www.nature-cool.com

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa desenvolvida mostra que as fachadas ativas já são uma realidade da arquitetura e engenharia mundiais. Com o mesmo objetivo de otimização de recursos, os diferentes estudos de caso puderam reunir as diversas estratégias já desenvolvidas. É interessante perceber que, dentre tanta diversidade tecnológica, a busca por maior eficiência do desempenho térmico é um fator comum. Ao se tratar de fachadas de edifícios isso pode ser esperado, já que a principal função destes subsistemas das edificações é a de mediar os meios externo e interno

Para estudos posteriores nota-se a necessidade de abordagem mais aprofundada da vida útil dos sistemas apresentados. O primeiro caso estudado é o único com maior tempo de existência, enquanto que com os demais não é possível concluir por quanto tempo seria possível manter a qualidade dos ganhos de desempenho.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15.575: Edificações habitacionais - Desempenho.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ANDERSON, L. **Biologist-Turned-Architect Invents “Breathing” Metal Building Skin - Architizer.** Disponível em: <<http://architizer.com/blog/doris-kim-sung-thermo-bimetal/>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

CHEN, W.; LIU, S.; LIN, J. Analysis on the passive evaporative cooling wall constructed of porous ceramic pipes with water sucking ability. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 541–549, jan. 2015.

DELAQUA, V. **RMIT Design Hub / Sean Godsell | ArchDaily Brasil.** Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/01-102382/rmit-design-hub-slash-sean-godsell>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

Embrapii. Disponível em: <<http://embrapii.org.br>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

FORTMEYER, R.; LINN, C. D. **Kinetic Architecture: designs for active envelopes.** Australia: Images Publishing, 2014.

KLEIN, T. **Integral Façade Construction: towards a new product architecture for curtain walls.** Alemanha: Delft University of Technology, 2013.

KNOL, A.; KNEEPKENS, S.; ZVINONAITÉ, K. Kinetica: A playful way through the world of moving facades. **University of Technology Delft**, [s.d.].

LÓPEZ, M. et al. Active materials for adaptive architectural envelopes based on plant adaptation principles. **Journal of Facade Design and Engineering**, p. 27–38, 2015.

MASRI, Y. Intelligent Building Envelopes: design and applications. **Proceedings of the International Conference on Building Envelope Design and Technology - Advanced Building Skins 2015**, 2015.

MEAGHER, M. Responsive Architecture and the Problem of Obsolescence. **International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR**, v. 8, n. 3, p. 95–104, 30 nov. 2014.

MEAGHER, M. Designing for change: The poetic potential of responsive architecture. **Frontiers of Architectural Research**, v. 4, n. 2, p. 159–165, jun. 2015.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios.** Dissertação de mestrado—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

SUNG, D. K. **Doris Kim Sung: O metal que respira**, [s.d.]. Disponível em:
<https://www.ted.com/talks/doris_kim_sung_metal_that_breathes?language=pt>. Acesso em: 22 fev. 2016