

ESCOLHAS SUSTENTÁVEIS EM SISTEMAS DE VEDAÇÃO: CONSTRUÇÃO DE UMA MÉTRICA DE AVALIAÇÃO RELATIVA

SUSTAINABLE SELECTION IN BUILDING ENVELOPE SYSTEMS: DEVELOPING A METRIC OF RELATIVE ASSESSMENT

Rafael Eduardo López Guerrero¹, Carlos Alejandro Nome²

RESUMO: A escolha de soluções eficientes para um sistema de vedação sustentável é um desafio exigente. Nesse sentido, esta pesquisa propõe desenvolver uma métrica de avaliação relativa que pondere, qualitativamente, o grau de sustentabilidade dos sistemas de vedação em projetos de habitação compacta e que sirva como método de escolha de tais tecnologias na etapa de projeto. O objeto de pesquisa justifica-se baseado na escassez de métodos simplificados a respeito e na iniciativa Casa Nordeste 1.0 de participação de uma competição internacional de projeto e execução de protótipos de casas sustentáveis operadas a energia solar, por parte da equipe do Laboratório de Modelos e Prototipagem (LM+P) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no qual está inserido este plano de trabalho. O método proposto contempla a revisão bibliográfica sistematizada na busca de procedimentos, técnicas de avaliação/seleção existentes, assim como na adoção de categorias, critérios e variáveis de avaliação de materiais e sistemas de vedação. Foram realizados estudos pilotos para desenvolver e testar a confiabilidade da construção preliminar da métrica proposta. Os resultados apontam que é possível diminuir parcialmente a complexidade de avaliar, de maneira simultânea, questões sociais, econômicas e ambientais, próprias da visão holística que orienta o paradigma adotado por esta pesquisa. Desse modo, por meio das estimativas comparativa e qualitativa de tecnologias construtivas, é possível obter subsídios para uma escolha mais criteriosa na etapa de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade; Sistemas Construtivos de Vedação; Habitação Compacta; Métrica de Avaliação.

ABSTRACT: Selection of efficient solutions for sustainable building envelope systems is a demanding challenge. In this sense, this research proposes to develop a metric of relative assessment, to qualitatively evaluate the degree of sustainability for building envelope systems in compact home design projects. This metric will serve as a building envelope system selection method in the design stage. The object of study is justified based on the lack of simplified methods regarding the subject, and the initiative Casa Nordeste 1.0 of participating in an international competition for the design and construction of prototypes for sustainable houses operated on solar energy, by the Lab team for Models and Prototypes (LM+P) of the Federal University of Paraíba (UFPB), within which this work plan is inserted. The proposed method encompasses systematic literature review on existing search procedures or methods for evaluation / selection, as well as the adoption of categories, criteria and variables used to assess building materials and building envelope systems. In order to test the reliability of the proposed metric, pilot studies were conducted. The results show that it is possible to partially reduce the complexity of evaluating, simultaneously, social, economic, and environmental issues inherent in the holistic vision that guides the adopted research paradigm. Thus, through comparative and qualitative estimation of building technologies, it is possible to acquire subsidies for performing more thorough selections in the design stage.

KEYWORDS: Sustainability; Building Sealing Systems; Compact Habitation; Assessment Metric.

How to cite this article:

GUERRERO, R. E. L.; NOME, C. A. Escolhas sustentáveis em sistemas de vedação: construção de uma métrica de avaliação relativa. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 81-94, 2018. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v13i2.137631>

¹ Faculdades Integradas de Patos

² Universidade Federal da Paraíba

Fonte de financiamento:
Bolsa Demanda Social/
CAPES

Conflito de interesse:
Declararam não haver

Submetido em: 01/09/2017
Aceito em: 21/03/2018



INTRODUÇÃO

O debate da sustentabilidade vem repercutindo nos diferentes campos de atividades humanas, principalmente naquelas em que a intervenção ambiental é considerada direta. Esse é o caso da arquitetura e da construção civil, cuja atuação na transformação do ambiente, natural e construído, lhes concede um papel fundamental nesse debate. Os avanços das discussões relativas ao impacto ambiental da construção culminam no conceito de construção sustentável (INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING, 1999). Assim ponderam-se, além dos impactos ambientais, os impactos tecnológicos, econômicos e sociais de toda a cadeia construtiva (AGOPYAN; JOHN, 2011; EDWARDS, 2008).

Segundo Edwards (2008), 60% dos recursos materiais retirados da natureza e 50% dos resíduos produzidos em cada país estão relacionados ao setor da construção. Igualmente, os edifícios são responsáveis por 50% do consumo de energia mundial, 50% de água potável, 80% do melhor solo cultivável e 60% dos produtos madeireiros mundiais (EDWARDS, 2008). A construção civil é uma das atividades de maior impacto no planeta e possui grande dependência de recursos naturais. Devido à condição finita desses recursos, são de suma importância a criação ou o resgate de estratégias que diminuam os impactos desse consumo.

Um importante número de pesquisas e iniciativas tem se desenvolvido como tentativa de diminuir tais impactos e buscar novas soluções para essas questões. Uma dessas iniciativas é uma competição internacional de projeto e execução de protótipos de casas sustentáveis operadas a energia solar, criada no ano 2002 pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE). O objetivo da competição é oferecer soluções de alto desempenho em habitações unifamiliares, energeticamente autossuficientes, operadas a energia solar e que impactos socioambientais sejam reduzidos em todas as etapas do seu ciclo de vida. Trata-se de uma contribuição educacional, tangível e multidisciplinar para o desenvolvimento e a divulgação de uma arquitetura sustentável, racionalizada e inovadora para o setor residencial (NAVARRO et al., 2014).

Considerando as diferentes abordagens do paradigma de sustentabilidade no ambiente construído, a seleção das partes que comporão a edificação representa a tarefa mais controversa do setor (SAGHAFI; TESHNIZI, 2011). Isso resulta das dificuldades inerentes a avaliações abrangentes e integradas, bem como das particularidades próprias de cada material, a exemplo da complexidade de processos produtivos e diferentes variáveis envolvidas ao longo do ciclo da vida dos mesmos (JOHN; DE OLIVEIRA; AGOPYAN, 2006).

Desse modo, esta pesquisa propõe uma métrica de avaliação que considere, qualitativamente, o grau de sustentabilidade de materiais e sistemas de vedação para projetos de habitação compacta. Além disso, objetiva-se que tal consideração atinja aspectos do impacto ambiental, econômico e social das tecnologias construtivas analisadas, abrangendo, desse modo, o tripé básico da sustentabilidade. Esses objetivos dão suporte direto à participação da equipe Casa Nordeste da Universidade Federal da Paraíba na competição internacional mencionada.

A métrica de avaliação proposta reconhece os impactos indicados como um método de orientação de escolhas durante a etapa de projeto, quando ainda podem ser previstos e minimizados os custos e danos ambientais (AGOPYAN; JOHN, 2011; DING, 2008). O objeto de estudo é justificado perante a escassez de literatura e de pesquisas disponíveis direcionadas à avaliação comparativa da qualidade dos sistemas de vedação. Isso representa uma busca por equilíbrio “entre exaustividade e simplicidade” (DING, 2008, p. 457) numa ferramenta de avaliação ambiental do ambiente construído.

MÉTODO

O desenvolvimento de métrica de avaliação relativa de sistemas de envoltória consistiu em um experimento composto por uma série de estudos pilotos. Foram adotados métodos quantitativos e qualitativos como questionários, entrevistas e procedimentos de análise formal de conteúdo, bem como estatística descritiva. Um questionário sobre diferentes opções construtivas passíveis de aplicação numa habitação compacta foi estruturado para esta finalidade. Partiu-se de uma revisão bibliográfica e documental aprofundada em relação aos temas abordados: critérios de sustentabilidade na seleção de materiais construtivos e na seleção de sistemas construtivos de vedação, assim como as provas da competição para a qual a Casa Nordeste 1.0 está sendo desenvolvida. A seguir foi estabelecida a estrutura básica da métrica aqui discutida, dividida em categorias relativas a distintos aspectos de sustentabilidade, critérios de avaliação relevantes, e as subsequentes variáveis passíveis de avaliação pelo usuário (Figura 1). Uma vez definida preliminarmente, a métrica foi testada por meio de cinco estudos pilotos durante os diferentes níveis de desenvolvimento da métrica, que possibilitaram verificar a confiabilidade e coerência do instrumento, aprimorando o seu funcionamento e diminuindo a complexidade na aplicação.

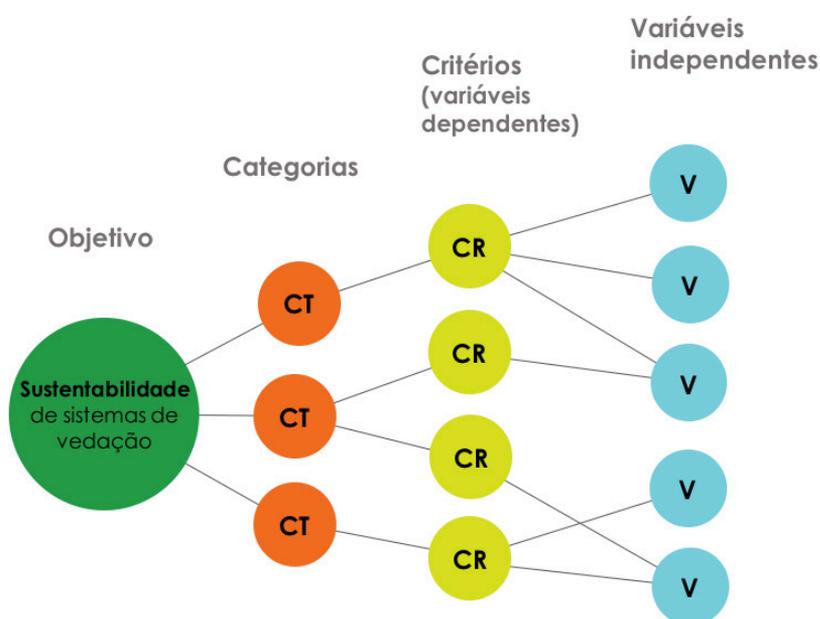


Figura 1: Diagrama conceitual das relações que estruturam a métrica de avaliação

Fonte: GUERRERO, 2016

A métrica foi definida para avaliar sistemas construtivos de vedação, mas, para conseguir tal objetivo, primeiramente devem ser avaliados os materiais que compõem tais sistemas. Desse modo, a métrica foi estruturada em dois escopos de análise, materiais e componentes (escopo MAT-COM) e elementos e sistemas de vedação (escopo ELE-SIS); pois ambos os escopos demandam critérios de avaliação diferenciados. A seguir, as etapas do método são apresentadas com maior detalhamento.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica aborda sistemas, métodos e conceitos, no tocante à escolha de materiais e construtivos de vedação. Primeiramente, foram

definidas as bases de periódicos científicos: *Science Direct*, *Emerald Insight*, *Scopus*, *Web of Science*, *Scielo*, *Google Scholar* e *Biblioteca Digital de Teses e Dissertações*. Foram adotados os seguintes procedimentos de busca e seleção nas bases de dados selecionadas:

- a) inserção das palavras-chave “buildings materials” + “selection” + “sustainable” para fontes estrangeiras; “Seleção materiais construtivos” + “avaliação materiais construtivos” + “sustentabilidade” para fontes nacionais;
- b) utilização de filtros para selecionar pesquisas entre os anos 1999 e 2015 (do ano de publicação da Agenda 21 para construção sustentável ao fim da revisão de literatura) publicadas em periódicos científicos;
- c) ordenação dos resultados por relevância a partir das opções oferecidas nas bases de dados;
- d) seleção dos primeiros 100 resultados listados;
- e) eliminação de artigos que não contemplavam o desenvolvimento da área ou aqueles que só apresentavam resumos;
- f) eliminação de duplicações listadas e selecionadas em mais de uma base de periódicos.

Seleção de critérios de avaliação

Todos os critérios foram extraídos da revisão bibliográfica. Primeiramente foram definidas diretrizes de revisão dos documentos selecionados, relacionadas a ambos escopos de análise e a propriedades atribuíveis às partes da edificação: propriedades físicas, propriedades físico-espaciais do conjunto, além dos atributos indiretos. Os documentos revisados abrangeram quatro categorias: normativas nacionais; selos e certificações de sustentabilidade na construção civil; obras e/ou autores destacados na área; e trabalhos acadêmicos nacionais e internacionais.

Os critérios foram tabulados em arquivo do Excel e selecionados em função da frequência de citação dos diferentes documentos ou autores. Assim, foram escolhidos os critérios cuja frequência fosse maior do que 50%, em qualquer dos seguintes três grupos bibliográficos e/ou documentais: (1) por autores e/ou documentos em geral, (2) por autores e/ou documentos nacionais, e (3) por autores e/ou documentos internacionais. Critérios mencionados por mais da metade dos autores ou documentos, em dois dos três grupos, foram adotados como critério para a métrica de avaliação. Esse procedimento foi adotado para ambos os escopos da métrica de avaliação.

Seleção de variáveis de avaliação

A métrica resulta da avaliação do questionário estruturado a partir das variáveis selecionadas da literatura. Uma vez adotados os critérios de avaliação, foi constatada a sua complexidade de mensuração em ambos os escopos da pesquisa. Isso devido à pouca informação disponibilizada pelos fornecedores para determinados materiais e sistemas de vedação no Brasil, bem como a dificuldade de reunir e rastrear tais informações dentro da cadeia produtiva nacional. Tais dificuldades são frequentemente expressas por diversos autores (AGOPYAN; JOHN, 2011; CAVALCANTE, 2011; OLIVEIRA, 2009).

Para facilitar a consideração dos critérios adotados no uso da métrica, foi proposta a investigação de processos que, direta ou indiretamente, fossem a eles determinantes. Para isso, novamente, foram utilizados os autores e documentos referenciados na adoção dos critérios, mas com a finalidade de identificar o que cada um deles considera relevante para a avaliação de cada critério específico. A partir dos autores considerados relevantes na área, critérios selecionados foram tabulados para revisão e extração de variáveis.

Assim, também foram tabuladas, para cada critério, as variáveis descritas por cada autor. Ainda foram realizados estudos pilotos para ajustar o processo de seleção de variáveis.

Apresentação dos resultados

Os resultados da métrica são apresentados através de um gráfico de radar dividido em sete eixos, que representam cada uma das categorias definidas (CT). Assim sendo, distintas variáveis, critérios e categorias foram enunciados como atributos diretos, com valores qualitativos maiores aos valores numéricos mais elevados. Isto é, quanto maior a área sombreada pelo gráfico, maior o desempenho positivo do produto avaliado (ver Figura 2).

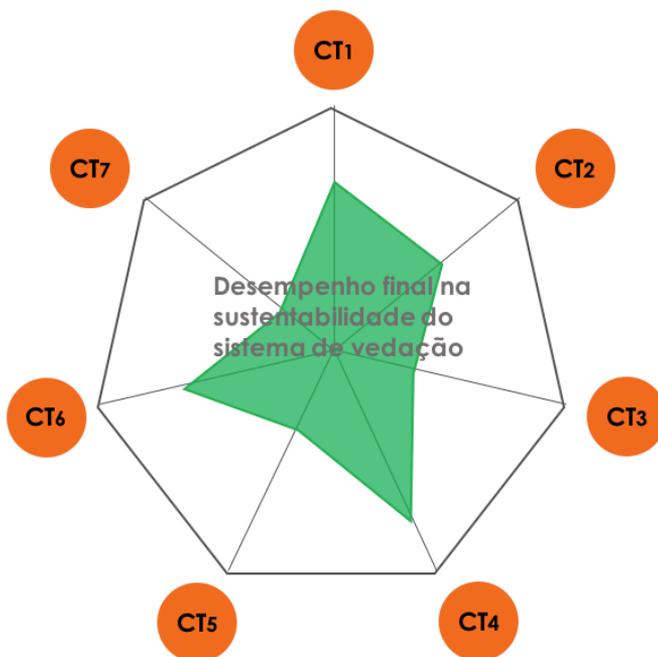


Figura 2: Representação gráfica dos resultados obtidos com a avaliação da métrica

Fonte: GUERRERO, 2016

Testes de verificação

A fim de verificar a confiabilidade e aplicabilidade da métrica foram realizados cinco estudos pilotos. Os estudos consistiram na utilização da ferramenta proposta considerando um sistema de envoltória predefinido. Em seguida os participantes respondiam perguntas sobre a estrutura da ferramenta, dinâmica de uso e relevância dos resultados.

Os primeiros dois estudos pilotos foram aplicados a cinco pesquisadores, formados em arquitetura e urbanismo ou design, integrantes do Laboratório de Modelagem e Prototipagem (LM+P), do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), e tinham como finalidade o aprimoramento da métrica preliminarmente estruturada. Os participantes responderam perguntas quanto a clareza dos procedimentos, bem como formato dos resultados. Desses estudos resultaram em eliminação de perguntas redundantes, ajustes nas escalas de avaliação, desenvolvimento de um glossário, bem como a preparação de material de suporte para o uso da métrica.

O terceiro foi aplicado a quatro avaliadores externos ao Laboratório: dois docentes da área de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); um docente de Engenharia Mecânica (com atuação

na avaliação de materiais e sustentabilidade) e um docente de Engenharia Civil e Ambiental, ambos pertencentes à UFPB. Todos eles atuam como professores em programas de pós-graduação. Foi solicitado avaliar só um sistema de vedação, pois esse estudo tinha como finalidade testar a compreensão e aplicabilidade das variáveis propostas. Perguntas abertas foram igualmente realizadas num questionário, visando coletar as dificuldades encontradas e recomendações propostas.

Uma vez aprimorado o instrumento, foi aplicado um quarto estudo piloto com a mesma finalidade do anterior, aplicado a projetistas (três arquitetos docentes da UFPB), pois a métrica foi desenvolvida para avaliação qualitativa durante a etapa de projeto arquitetônico.

O quinto e último estudo piloto foi aplicado a três estudantes do oitavo semestre da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPB. A finalidade foi verificar a compreensão das variáveis e a coerência dos resultados. Isso foi feito aplicando a ferramenta a usuários não especializados e com os mesmos sistemas de vedação sendo analisados. Desse modo, os resultados da aplicação da ferramenta foram comparados a fim de caracterizar as diferenças de uma mesma avaliação realizada por distintos avaliadores. Para os dois últimos testes foram avaliados sistemas construtivos de vedação passíveis de aplicação em protótipos de habitação compacta, análogos aos utilizados na Casa Nordeste 1.0.

RESULTADOS

Adoção das categorias de avaliação

Foram adotadas sete categorias para os dois escopos do estudo, Materiais e/ou Componentes (MAT-COM) e Elementos e/ou Sistemas de Vedação (ELE-SIS) (Figuras 3 e 4), baseadas na pesquisa de Oliveira (2009). A escolha desse trabalho deve-se à semelhança com a proposta deste artigo, tanto no tocante à sua abrangência e sistematização da informação como na definição de critérios de avaliação de materiais e componentes da construção civil.

Adoção de critérios e variáveis de avaliação

Após a revisão na literatura e tabulação para a seleção sistematizada, foram selecionados 18 critérios de avaliação de materiais construtivos para o escopo MAT-COM (Figura 3) e 10 critérios de avaliação para sistemas de vedação no escopo ELE-SIS (Figura 4).

Para a métrica de avaliação proposta foram adotadas 22 variáveis para o escopo MAT-COM (Figura 3), e 39 variáveis para sistemas de vedação no escopo ELE-SIS (Figura 4). É importante ressaltar que o escopo MAT-COM foi dividido em função do ciclo de vida da construção, sendo sintetizado em três etapas: (1) extração de matéria-prima, industrialização e manufatura; (2) instalação, uso e manutenção; e (3) disposição final. Algumas das 22 variáveis do escopo MAT-COM se repetem em diferentes etapas designadas. Desse modo, a avaliação dos materiais seria efetuada por variáveis de impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do material ou componente em questão. As etapas no ciclo da vida adotadas para o agrupamento são as propostas por Calkings (2009).

Ainda, no escopo ELE-SIS foram acrescentados aspectos socioeconômicos, os quais consideram os custos e possíveis impactos sociais dos sistemas de vedação. Para essa etapa foram adotadas variáveis de avaliação da ferramenta “seis passos” para seleção de insumos e fornecedores, proposta pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (2015).

Escalas de avaliação

Escalas de avaliação ordinal foram adotadas para as variáveis, sendo adaptadas e adequadas em função das questões postuladas na ferramenta. A escala ordinal permite medir ou classificar valores diferentes sem que a diferença entre esses valores seja necessariamente absoluta ou constante; portanto, tal categorização será sempre relativa aos problemas comparados (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). As escalas foram estruturadas em: cinco atributos ou opções de resposta (ex.: muito alto – alto – médio – baixo – muito baixo); em três atributos (ex.: inexistente – simples – de alto-forno); ou em dois atributos (ex.: existente – inexistente); além disso, cada questão contém a possibilidade da resposta “não sei”, caso o avaliador prefira. A escolha desse tipo de escala se deve à abordagem mista (qualitativo e quantitativo), na qual nem sempre é possível atribuir valores absolutos na avaliação.

Funcionamento da métrica

As Figuras 3 e 4 apresentam os critérios e as variáveis adotadas para a métrica de avaliação, além do funcionamento lógico de consideração e pontuação final. Nelas é demonstrada, graficamente, a relação entre as variáveis, os critérios e as categorias adotadas, com vistas a atingir o objetivo final, um indicativo do nível de sustentabilidade. Assim, por exemplo, para a variável ressaltada em vermelho na Figura 3 (quantidade de energia embutida), uma vez efetuada a avaliação na escala proposta para esta variável, são pontuados indiretamente os critérios 8 e 9 (energia embutida no ciclo da vida e emissão de gases de efeito estufa, respectivamente). Por sua vez, esses critérios transferem pontuação à categoria Energia Embutida (C), no caso do primeiro critério, e à categoria Emissões (D), no caso do segundo.

Isto é, para o exemplo posto, uma determinada quantidade de energia expressa na escala ordinal influencia positiva ou negativamente esses dois critérios e, conseqüentemente, as duas categorias, nas quais, finalmente, são expressos os resultados finais da avaliação. Cabe ressaltar que para cada critério e variável é proposto o mesmo peso relativo em termos da contribuição para a nota final do sistema avaliado. Para facilitar o entendimento da métrica proposta, como explicado nas Figuras 3 e 4, a relação entre os níveis da métrica é expressa por números (para referenciar os critérios) ou por letras (para referenciar as categorias), para ambos os escopos. A hierarquização das variáveis é de importância considerável para o refinamento da ferramenta. Esse desenvolvimento está previsto para um momento futuro do estudo.

Operacionalização e estrutura da métrica

A métrica foi estruturada em formato Excel e dividida em 9 folhas. A primeira folha representa as instruções de uso, as sete seguintes, a métrica propriamente dita, dividida nos dois escopos de avaliação, e a nona e última apresenta os resultados finais. O Quadro 1 apresenta essa estruturação.

No Quadro 1 consta o “boletim de desempenho parcial”, apresentado após o preenchimento do escopo MAT-COM. Este deve ser utilizado para avaliar cada um dos materiais constituintes do sistema de vedação. Desse modo, por exemplo, se um sistema de vedação for composto por três materiais, cada um deles é avaliado em separado nas folhas do escopo MAT-COM. No boletim de desempenho parcial, o avaliador deve indicar o percentual aproximado de cada material na composição do sistema de vedação. Da mesma forma, nesse estágio deve-se identificar camadas de ar presentes no sistema de vedação.

Quadro 1: Estrutura e apresentação da métrica de avaliação

Nº	Nome do questionário de avaliação	Etapas do ciclo de vida da construção	Variáveis avaliadas nas consultas/atividades realizadas	Escopo MAT-COM (Materiais e/ou Componentes)	Escopo ELE-SIS (Elementos e/ou Sistemas de Vedação)
1	Instruções de uso	-	-	-	-
2	MAT-COM1	Extração de matéria-prima + industrialização manufatura + embalagem e entrega + instalação, uso e manutenção + disposição final.	Referentes ao impacto socioambiental correspondente de todas as etapas do ciclo da vida.	22 variáveis	
3	MAT-COM2	Idem	Idem	Idem	
4	MAT-COM3	Idem	Idem	Idem	
5	MAT-COM4	Idem	Idem	Idem	
6	MAT-COM5	Idem	Idem	Idem	
7	Boletim de desempenho parcial	-	É equalizada a proporção quantitativa (dentro do sistema) de cada MAT-COM avaliado. Também é considerada a proporção aproximada da(s) camada(s) de ar presente(s) no sistema de vedação.	-	
8	ELE-SIS	-	Aspectos técnicos + socioambientais + socioeconômicos do conjunto.		39 variáveis
9	Desempenho total	Folha que apresenta o relatório de resultados finais			

Fonte: GUERRERO, 2016

A totalização da estimativa ocorre em paralelo com a estimativa da proporção dos materiais que compõem o sistema. Desse modo, a somatória dessas proporções deve ser igual a 100% do sistema de vedação ($\%Mat1 + \%Mat2 + \dots + \%Mat5 + \%camada\ de\ ar = 100\%$). As proporções são declaradas em intervalos de 10%, de modo a reduzir o tempo de declaração, simplificando o cálculo do volume de cada material e das camadas de ar no sistema. Essa discriminação das proporções de cada componente do sistema permite gerar um relatório de impactos produzidos por material em função da sua proporção em relação ao conjunto. Ainda, essa folha de avaliação apresenta os resultados parciais de impacto no nível de sustentabilidade. Ressalta-se que a métrica permite avaliar até cinco materiais que eventualmente compõem o sistema de vedação. Os percentuais dentro do sistema devem ser considerados só em função das folhas avaliadas, podendo ficar o restante em 0% se não forem utilizadas.

Guias de apoio

A fim de amparar o processo de resposta das variáveis, foram desenvolvidos e fornecidos guias de apoio junto das métricas. Esses são *links* associados a cada variável complexa, apresentando informações gerais, provenientes de pesquisas científicas, e que exemplificam a relação de impacto ou a importância da relação entre os produtos construtivos e a variável em questão. Assim, por exemplo, para a variável “quantidade de energia embutida”, o avaliador terá acesso a informações sucintas relativas à energia incorporada aos principais materiais construtivos, extraídas de pesquisas nacionais e internacionais especializadas no tema. É importante destacar que são priorizadas as bases nacionais e que a informação de procedência internacional é utilizada diante da carência de dados nacionais. Tais informações servirão como referência básica caso o avaliador desconheça totalmente a questão avaliada. Além dos guias de apoio, as variáveis apresentam legenda complementar explicativa caso o avaliador desconheça a pergunta formulada.

Avaliação relativa

A ferramenta proposta é caracterizada como uma métrica de avaliação relativa, de modo que as respostas devem estar relacionadas, exclusivamente, com as alternativas que o avaliador esteja examinando para o projeto arquitetônico específico. Desse modo, o resultado de uma avaliação nessa métrica limita-se a esse fim específico e depende de comparação com pelo menos uma alternativa.

Estudos pilotos

Os testes realizados durante o desenvolvimento da ferramenta foram determinantes para sua estruturação final, nos seus distintos momentos de construção. Após os primeiros estudos pilotos foram adotadas legendas complementares para variáveis e uma proposta de nova distribuição do escopo MAT-COM de acordo com princípios de ciclo da vida da construção. Aqui também foram realizadas eliminações de redundâncias, além de ajustes nas escalas de avaliação, desenvolvimento de um glossário e preparação de material introdutório para o uso da métrica.

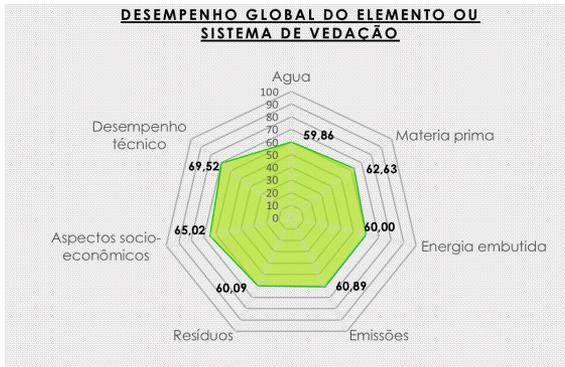
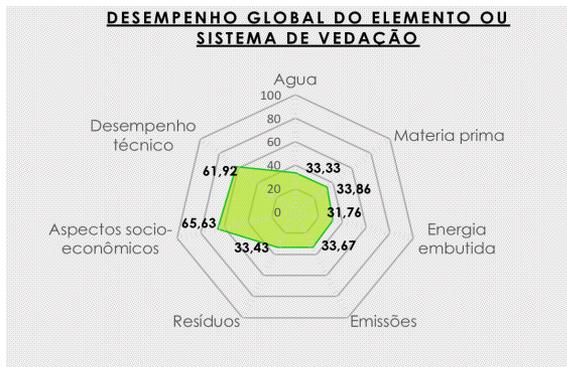
O terceiro, quarto e quinto estudos pilotos determinaram a seleção final das variáveis propostas para a métrica e o desenvolvimento das guias de apoio. Verificou-se através dos resultados desses estudos a viabilidade dos objetivos da métrica: a avaliação relativa, direcionada a projetistas. O relatório de resultados para apoio à decisão se mostrou adequado para avaliações de alternativas par a par, isto é, comparadas umas às outras. Avaliações sem alternativa para comparação, realizadas no terceiro estudo piloto, tiveram sua interpretação dificultada por falta de parâmetros prévios. Essa dificuldade foi relatada inclusive quando a métrica foi aplicada por especialistas da área.

O quarto e quinto estudos pilotos, realizados por projetistas não especializados na seleção de materiais e sistemas de vedação, reforçaram os resultados anteriores. Foi declarado que a métrica permitiu um nível de compreensão maior quando colocadas duas alternativas para avaliação. Por fim, foram aprimoradas as legendas complementares, assim como a apresentação e operacionalização da ferramenta no arquivo Excel.

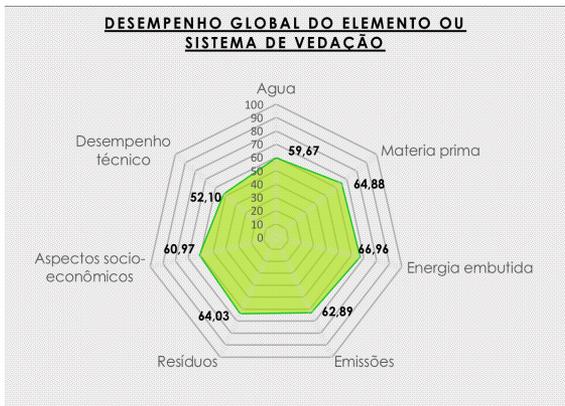
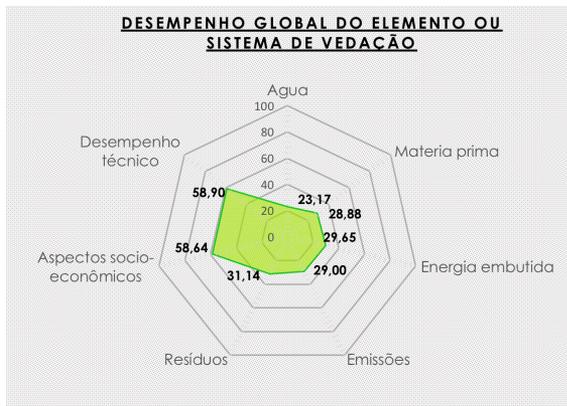
O resultado do último teste apontou um nível de complexidade considerado médio (4/10, 6/10 e 5/10 para os três avaliadores). O tempo de preenchimento foi considerado igualmente médio (6/10, 4/10 e 5/10) devido ao número e à abrangência das variáveis propostas. No entanto, é importante ressaltar que esse estudo piloto foi dirigido a estudantes de graduação inexperientes no assunto. Assim a mesma ferramenta foi fornecida aos participantes com a instrução de proceder com a avaliação dos sistemas de vedação como forma de avaliar o potencial autoexplicativo dela. Nesse sentido, a aplicabilidade da métrica foi considerada satisfatória, pois não foram relatadas dificuldades para a compreensão do uso da ferramenta ou interpretação dos resultados. A complexidade anteriormente declarada deve-se às variáveis inerentes à sustentabilidade quando materiais construtivos foram avaliados.

O relatório de resultados colocados na Figura 5 é uma representação parcial, pois a métrica fornece, ainda, dados e gráficos numéricos para cada material e fase do ciclo da vida. Note-se que, embora os resultados dos três avaliadores revelem, unanimemente, maiores benefícios de sustentabilidade para o mesmo sistema de vedação, as diferenças expressadas evidenciam que diversos fatores subjetivos contribuem para que cada usuário da ferramenta obtenha, em um mesmo projeto, resultados diferenciados para um mesmo conjunto de opções construtivas. Isso representa uma das principais potencialidades da métrica proposta, pois avaliações absolutas e objetivas demandam uma série de dados quantitativos, que estão fora do alcance da maioria dos projetistas e pesquisadores, especialmente para aplicações e estudos no Brasil.

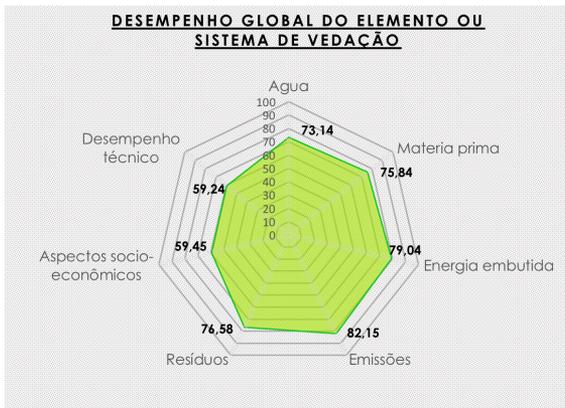
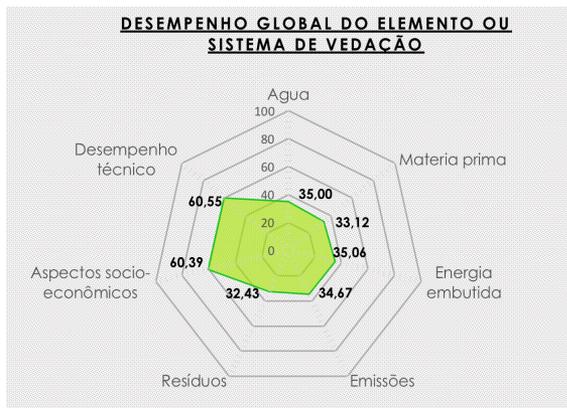
Avaliador 1



Avaliador 2



Avaliador 3



CONCLUSÕES

A métrica de avaliação proposta mostrou-se uma ferramenta útil para a seleção sistematizada de tecnologias construtivas, por parte de arquitetos e urbanistas, durante a fase inicial do projeto, especificamente quando se pretende alcançar altos desempenhos de sustentabilidade socioeconômica, ambiental e tecnológica. Para os propósitos da Equipe Casa Nordeste, a ferramenta está em sintonia com as demandas da competição internacional de projeto e execução de protótipos de casas sustentáveis operadas a energia solar. Além disso, a ferramenta se mostrou aplicável para projetistas tanto experientes como inexperientes e eficiente como instrumento de apoio na seleção de materiais e sistemas de vedação sustentáveis. Entende-se que a

Figura 5: Relatório de resultados do estudo piloto 5

Fonte: GUERRERO, 2016

ferramenta é viável, o que é reforçado por ter grau de compreensão e tempo de utilização considerados médio. A avaliação qualitativa e comparativa por meio das variáveis e escalas propostas na métrica se revelou eficaz para a escolha de sistemas de envoltória. Os fatores subjetivos inerentes a cada avaliador ainda permitem gerar gráficos e valores numéricos que servem como subsídio ao processo de tomada de decisões durante as etapas projetuais.

O moderado grau de complexidade expresso pelos participantes dos estudos pilotos resulta da abrangência do paradigma da sustentabilidade. Também se deve à quantidade limitada ou inexistente de dados, qualitativos e quantitativos, relativos ao ciclo de vida de materiais e sistemas de vedação produzidos no Brasil e associados a pesquisas nacionais. Essa falta dificultou a elaboração de guias de apoio para as variáveis da métrica. A falta de familiaridade dos projetistas com ferramentas sistematizadas de seleção de materiais e sistemas constituiu uma das principais oportunidades para a continuidade da aplicação e do desenvolvimento dessa métrica. Entende-se que estudos como esse aproximam tomadas de decisões projetuais de respostas condizentes com a problemática e complexidade atreladas às discussões de sustentabilidade.

A utilização do programa Excel mostrou-se eficaz para a estruturação preliminar e para os testes realizados no estudo piloto. Futuros aprimoramentos da ferramenta preveem a implantação de uma plataforma conectada a uma base de dados *online*. Espera-se assim que seja possível estruturar estudos sobre percepções de projetistas sobre distintos sistemas, bem como entender distinções e tendências regionais. Nesse sentido, compreende-se que esta pesquisa atingiu uma simplificação viável, dentro das condições de tempo e logística, para a inserção de discussões de sustentabilidade na escolha de sistemas de vedação. Espera-se que, na medida em que pesquisas nacionais enriqueçam as bases de dados existentes, iniciativas como esta permitam gradativamente a atenuação de impactos ambientais e socioeconômicos.

REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V.; JOHN, V. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.
- CALKINGS, M. **Materials for sustainable sites**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009.
- CAVALCANTE, L. G. **Materiais construtivos, sustentabilidade e complexidade: análise da relação entre especificação de materiais construtivos e desenvolvimento sustentável**. 2011. 248 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. 2015. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/selecaoDeFornecedores/>>. Acesso em: 10 set. 2015.
- DING, G. K. C. Sustainable construction: the role of environmental assessment tools. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 86, p. 451-464, 2008.
- EDWARDS, B. **O guia básico para a sustentabilidade**. Barcelona: Gustavo Gili, 2008. 226 p.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 120 p.
- GUERRERO, R. E. L. **Escolhas sustentáveis em sistemas de vedação: construção de uma métrica de avaliação relativa**. 2016. 202 p. Dissertação (Mestrado em Arquitura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo PPGAU, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.
- INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING. **Agenda 21: on sustainable construction**. Rotterdam, 1999. Disponível em: <<https://goo.gl/oXFliH>>. Acesso em: 1 out. 2014.
- JOHN, V. M.; DE OLIVEIRA, D. P.; AGOPYAN, V. Critérios de sustentabilidade para a seleção de materiais e componentes: uma perspectiva de países em desenvolvimento. **ResearchGate**, Berlim, 2006. Disponível em: <<https://goo.gl/t1hacs>>. Acesso em: 4 abr. 2015.

NAVARRO, I. et al. Experiences and methodology in a multidisciplinary energy and architecture competition: Solar Decathlon Europe 2012. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 83, p. 3-9, 2014.

OLIVEIRA, N. C. **O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações**. 2009.

198 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SAGHAFI, M. D.; TESHNIZI, Z. S. H. Recycling value of building materials in building assessment systems. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 43, p. 3181-3188, 2011.

Rafael Eduardo López Guerrero
rafaelguerrero@fiponline.edu.br

Carlos Alejandro Nome
carlos.nome@gmail.com

