

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

DIEGO NAVARRO MENDES

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E SOCIOAMBIENTAL DE
SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA A BASE DE PAINÉIS CIMENTÍCIOS
PELO MÉTODO MULTICRITÉRIO DE TOMADA DE DECISÃO AHP

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2014

DIEGO NAVARRO MENDES

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E SOCIOAMBIENTAL DE
SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA A BASE DE PAINÉIS CIMENTÍCIOS
PELO MÉTODO MULTICRITÉRIO DE TOMADA DE DECISÃO AHP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia de Produção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Curitiba, sede Ecoville, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Produção Civil.

Orientador: Prof. Carlos Alberto da Costa,
M.Sc

CURITIBA

2014



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Campus Curitiba – Sede Ecoville
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Curso de Engenharia de Produção Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E SOCIOAMBIENTAL DE
SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA A BASE DE PAINÉIS CIMENTÍCIOS
PELO MÉTODO MULTICRITÉRIO DE TOMADA DE DECISÃO AHP

Por

Diego Navarro Mendes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 28 de agosto de 2014, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Carlos Alberto da Costa, M. Eng.

UTFPR

Prof. José Alberto Cerri, Dr..

UTFPR

Prof. Wellington Mazer, Dr

UTFPR

RESUMO

MENDES, Diego Navarro. Estudo de viabilidade técnica, econômica e socioambiental de sistema de vedação vertical externa a base de painéis cimentícios pelo método multicritério de tomada de decisão AHP. Pág. 70. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

O objetivo do trabalho é estudar a viabilidade técnica, econômica e socioambiental de sistema vertical de painéis delgados a base cimentícia pelo método de tomada de decisão AHP *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Hoje em dia têm-se a tendência das inovações tecnológicas para vedações verticais como é o caso dos painéis cimentícios. No Brasil, esse tipo de material requer aprovação para obter uma linha de financiamento da Caixa Econômica, mas antes disso, os painéis precisam ter os desempenhos avaliados. A metodologia do presente trabalho visa comparar desempenhos técnicos e econômicos dos produtos e socioambientais de cada fornecedor de painéis cimentícios para obter o melhor custo-benefício por meio de um modelo multicritério de tomada de decisão. Constata-se que nem sempre o de menor custo é o mais viável considerando outros fatores como a qualidade técnica dos painéis e também a responsabilidade socioambiental dos fornecedores.

Palavras-chaves: Vedações verticais, painéis cimentícios, AHP, modelo multicritério de tomada de decisão.

ABSTRACT

MENDES, Diego Navarro. Study of technical, economic and environmental viability of external vertical seal at the base of cementitious multicriteria decision making method AHP panel system. Page 70. Civil Engineering Production, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2014.

The objective is to study the technical, economic and environmental feasibility of vertical system of thin cement based panels by decision-making method AHP Analytic Hierarchy Process (AHP). Nowadays have become the trend of technological innovations for partition walls as is the case of cementitious panels. In Brazil, this type of material requires approval for a credit line of Caixa Economica, but before that, the panels need to have the performances evaluated. The methodology of this study is to compare technical and economic, social and environmental performances of products from each supplier of cementitious panels to get the best value for money through a multi-criteria decision-making model. It appears that whenever the lowest cost is not the most feasible considering other factors such as the technical quality of the panels and also the environmental responsibility of suppliers.

Keywords: vertical seals, cementitious panels, AHP, multicriteria decision-making model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Alvenaria de blocos vazados	13
Figura 2 - Alvenaria de blocos de concreto.....	13
Figura 3 - À esquerda, tijolo maciço, do meio, tijolo furado e à direita, bloco cerâmico	14
Figura 4 - Fôrma sendo preenchida por concreto.....	14
Figura 5 - Painel pré-modado sendo transportado por grua	15
Figura 6 - Fibra de amianto em estado natural.....	16
Figura 7 - Placa cimento-madeira.	17
Figura 8 - Impacto de corpo mole transmitido por saco de couro com massa de 40kg	19
Figura 9 - Cura de crescimento da temperatura e forno de resistência ao fogo.	23
Figura 10 - Equipamentos para ensaios de ignibilidade, propagação superficial de chamas e densidade óptica de fumaça.	24
Figura 11 - Ensaio SBI - Single Burning Item de acordo com a EN 13823.....	26
Figura 12 - Zoneamento bioclimático brasileiro	27
Figura 13 - Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano.	30
Figura 14 - Regiões brasileiras para efeito de estanqueidade a água	33
Figura 15 - Painel radiante para ensaio de choque térmico em parede de fachada.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desempenho sob impactos de corpo mole de vedações verticais externas com função estrutural.....	19
Tabela 2 - Impactos de corpo mole para vedações verticais externas de casas térreas com função estrutural.....	20
Tabela 3 - Critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro na face externa de vedações verticais localizadas na fachada da edificação	21
Tabela 4 - Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas fixadas em paredes com ou sem função estrutural por meio de mãos-francesas padrão.	22
Tabela 5 - Classificação dos materiais tendo como base o método EM 13823.	25
Tabela 6 - Valores máximos admitidos para a transmitância térmica de paredes externas.....	28
Tabela 7 - Valores mínimos admitidos para a capacidade térmica de paredes externas.	28
Tabela 8 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório	31
Tabela 9 - Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas.....	31
Tabela 10 - Condições de ensaio de estanqueidade à água de paredes de fachada.	33
Tabela 11 - Níveis de desempenho para estanqueidade à água de paredes de fachada.....	34
Tabela 12 - Prazos de vida útil de projeto	35
Tabela 13 - Escala linear de comparações.....	41
Tabela 14 - Matriz de Prioridades de Itens.....	43
Tabela 15 - Matriz de Prioridades de Critérios	44
Tabela 16 - Matriz decisão, vetor pesos e vetor decisão.	44
Tabela 17 - Itens/subcritérios de caráter eliminatórios..	45
Tabela 18 - Itens/subcritérios para seleção dos painéis delgados de base cimentícia	46
Tabela 19 - Questionário para atribuição de notas no critério social.	48
Tabela 20 - Matriz de ponderação dos itens/subcritérios técnicos e respectivo autovetor pesos	50
Tabela 21 Questionário para atribuição de notas no critério econômico.	51
Tabela 22 - Matriz de ponderação dos itens econômicos e respectivo autovetor pesos.....	51
Tabela 23 - Questionário para atribuição de notas no critério socioambiental	52
Tabela 24 - Matriz de ponderação dos itens socioambientais e respectivo autovetor pesos.	53
Tabela 25 - Matriz de ponderação das categorias de critérios técnicos, econômicos e socioambientais e respectivo vetor pesos.	56
Tabela 26 - Matriz decisão, vetor pesos e vetor decisão.	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Contextualização	10
1.2. Objetivo Geral	10
2. REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1. Sistemas Verticais de Vedação	12
2.1.1. Alvenaria de blocos	12
2.1.1.1 Blocos cerâmicos vazados	12
2.1.1.2 Blocos de concreto	13
2.1.2 Painéis	14
2.1.2.1 Painel moldado in loco	14
2.1.2.2 Painel pré-moldado	15
2.1.2.3 Painéis delgados de base cimentícia	15
2.1.2.4 Painéis de fibrocimento	16
2.1.2.5 Painéis de cimento-madeira	17
2.2. Norma de Desempenho de Edificações	17
2.3. Norma ABNT NBR 15575-4/2013 - parte 4: Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE)	18
2.3.1 Desempenho estrutural	18
2.3.1.1 Impactos de Corpo mole	18
2.3.1.2 Impactos de corpo duro	20
2.3.2 Segurança contra incêndio	22
2.3.2.1 Resistência ao fogo de elementos estruturais e de compartimentação	23
2.3.3 Propagação do fogo	24
2.3.3.1 Reação ao fogo – fachadas	26
2.3.4 Desempenho térmico	26
2.3.4.1 Transmitância térmica de paredes externas	28
2.3.4.2 Capacidade térmica de paredes externas	28
2.3.5 Desempenho acústico	28
2.3.5.1 Limites do ouvido humano	29
2.3.5.3 Isolação sonora de fachadas – ensaio de laboratório	31
2.3.6 Estanqueidade à água	32
2.3.6.1 Estanqueidade à água de fachadas	32
2.3.6.2 Estanqueidade à água de chuva de parede de fachada	34

2.3.6.3	Estanqueidade de fachadas em áreas molháveis	35
2.3.7.	Durabilidade	35
2.3.7.1	Vida útil de projeto da edificação habitacional e de suas partes	35
2.3.8.	Ação de calor e choque térmico em paredes de fachada	36
2.3.9.	Manutenibilidade.....	37
2.3.10.	Manual de uso, operação e manutenção.....	37
2.4.	Seleção de fornecedores com itens/subcritérios de socioambientais	37
2.5.	Método multicritério de tomada de decisão	39
3.	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	42
4.	RESULTADOS	45
4.1.	Catálogo dos fornecedores de painéis cimentícios	45
4.2.	Proposta para um modelo de decisão baseado no método multicritério AHP.....	45
4.2.1.	Critérios de avaliação	45
4.2.2	Modelo de tomada de decisão	47
4.3	Empresa A.....	47
4.3.1	Pontuação no critério técnico (T):.....	47
4.3.2	Pontuação no critério econômico (E):.....	51
4.3.3	Pontuação no critério socioambiental (SA):.....	52
4.4	Empresa B	53
4.4.1	Pontuação no critério técnico (T):.....	54
4.4.2	Pontuação no critério econômico (E):.....	54
4.4.3	Pontuação no critério socioambiental (SA):.....	54
4.5	Empresa C	54
4.5.1	Pontuação no critério técnico (T):.....	55
4.5.2	Pontuação no critério econômico (E):.....	55
4.5.3	Pontuação no critério socioambiental (SA):.....	55
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5.1.	Conclusões	57
5.2.	Sugestões para futuros trabalhos	58
6.	REFERÊNCIAS	59
	ANEXOS	62
	ANEXO 1 - Catálogo de informações técnicas, econômicas e socioambientais fornecedor de painéis. Fonte: elaborada pelo autor.	63
	ANEXO 2 - Catálogo de informações técnicas, econômicas e socioambientais fornecedor B de painéis. Fonte: elaborada pelo autor.	65

ANEXO 3 - Catálogo de informações técnicas, econômicas e socioambientais fornecedor C de painéis. Fonte: elaborada pelo autor.	67
--	----

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

No Brasil, a construção civil não é desenvolvida comparada a alguns países, mas é mais desenvolvida se comparada a outros países. A alvenaria de vedação e estrutural são predominantemente nas terras brasileiras enquanto em outros países já dominam com tecnologias como painéis para vedação externa e interna, inclusive estruturais por serem mais limpos e rápidos.

Segundo Éboli (2013), o setor da construção a seco só esteve ativo no mercado corporativo e poucas aplicações no setor residencial nos anos entre 1975 a 1995. A partir de 1995, o Brasil tomou outro rumo modernizando o parque fabril, porém nada se comparado aos outros países, mas que se trata de uma boa oportunidade de ampliar as opções com novas metodologias para atender as diversas facetas da sociedade brasileira.

Em se tratando do déficit habitacional, o Brasil se viu nessa posição com a urgência de sanar esse problema, o programa “Minha casa Minha vida” foi uma opção que visa equilibrar essa adversidade. Com isso teve-se grandes incentivos para compra de casas, especialmente casas populares, pois o programa foi feito para pessoas com rendimento de 3 a 10 salários mínimos. Segundo Laroca (2007), a Caixa Econômica é o principal órgão financiador de unidades habitacionais de interesse social o que exige que um determinado processo construtivo inovador ou não-convencional como é o caso dos painéis delgados para vedação externa e interna, passe por um processo de avaliação de desempenho. Não só para viabilizar a habitação popular como também visa abrir novos mercados com novas tecnologias a fim de aumentar a qualidade e a sustentabilidade desses processos construtivos.

1.2. Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é o estudo de viabilidade por análise multicritério de painéis delgados de base cimentícia para construção a seco.

1.2.1. Objetivo Específico

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Identificar as informações técnicas e econômicas dos painéis, e informações socioambientais dos fornecedores dos painéis.

- Aplicar método de tomada de decisão *Analytic Hierarchy Process (AHP)* para painéis e fornecedores

1.3. Justificativa

O Brasil possui um grande déficit habitacional e por isso faz-se necessário acelerar a construção de novas unidades residenciais, especialmente as populares por causa da maioria da população brasileira não ter condições de arcar os custos de construção de uma casa sem financiamento. Nesse cenário entra a Caixa Econômica com o seu programa “Minha Casa, Minha Vida” que ajuda esse segmento de baixa renda a fim de fornecer condições para comprar um imóvel financiado com novas linhas de crédito facilitando a vida desses futuros moradores. Com isso tem-se um problema, o processo construtivo, a alvenaria, gera muito entulho, emite poluentes por se tratar de material não renovável de baixa produtividade. Há outras alternativas mais atraentes com menos poluentes e de maior rapidez mas esses novos processos construtivos terão que passar pelo processo de avaliação de desempenho por parte da Caixa Econômica. Segundo o IPT (2011), o programa “Minha Casa, Minha Vida” do Governo Federal requer processo de avaliação para a integração da tecnologia nos programas oficiais de habitação. Conforme Gonçalves (2003), os requisitos, critérios e métodos de desempenhos são avaliados pelos agentes da habitação de interesse social e pela Caixa Econômica dando lhes o poder da sua resposta final.

Por outro lado, aqui no Brasil tem encontrado resistência e preconceito da população por novas tecnologias devido à sua própria cultura e preferência por alvenaria. O presente trabalho pode apresentar argumentos que podem sanar as dúvidas quanto aos produtos ofertados, nesse caso, os painéis cimentícios.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Sistemas Verticais de Vedação

Explicando melhor quanto à definição entre alvenaria e parede é que esta, ou seja, a parede, como um elemento de vedação vertical em qualquer espaço. Por outro lado, alvenaria refere-se ao tipo de vedação, constituída por tijolos ou blocos unidos por juntas de argamassa formando um conjunto rígido e coeso. Assim como os painéis, que também trata-se de um tipo de sistema vertical, diferentemente da alvenaria, pode ser moldado e pré-moldado por fôrmas.

2.1.1. Alvenaria de blocos

Alvenaria é a construção de estruturas utilizando blocos de cerâmica, de vidro, de concreto, de pedras e outros, entre si por argamassas. Esse sistema tem a principal função de separar o ambiente interno e externo a fim de atuar como barreira evitando uma série de ações externas como vento, chuva, impactos mecânicos, sons e transferência térmica (NASCIMENTO, 2003). A alvenaria de blocos é construída sem fôrmas e por meio de prumo. Podem ser auto-portantes (estruturais) ou de vedação.

Segundo o Otávio Luiz do Nascimento, engenheiro civil.

São denominadas por auto-portante as alvenarias destinadas a absorver as cargas das lajes e sobrecarga, sendo necessário para o seu dimensionamento à utilização da NBR 10837 e NBR 8798, observando que sua espessura nunca deverá ser inferior a 14,0 cm (espessura do bloco) e resistência à compressão mínima $f_{bk} \geq 4,5$ MPa.

São denominadas de alvenaria de vedação as montagens de elementos destinados às separações de ambientes; são consideradas apenas de vedação por trabalhar no fechamento de áreas sob estruturas, sendo necessário cuidados básicos para o seu dimensionamento e estabilidade (NASCIMENTO, 2003).

2.1.1.1 Blocos cerâmicos vazados

Estes blocos são obtidos a partir da queima de argilas, de emprego comum e técnica executiva de domínio público há muitos anos. Possuem baixa densidade (1300 kg/m^3) e facilidade de manuseio (mão-de-obra convencional), apresentando, ainda, custo competitivo e suas especificações estão na NBR-7171 (NASCIMENTO, 2003). Podem ser usados como vedação e estrutural. Na Figura 1 mostra uma construção de vedação de blocos cerâmicos vazados.



Figura 1 - Alvenaria de blocos vazados. Fonte: D2RENGENHARIA, 2014

2.1.1.2 Blocos de concreto

São obtidos por prensagem e vibração de concretos com consistência seca, dentro de formas de aço com dimensões regulares, devendo ser curados em ambiente com alta umidade por pelo menos 7 dias (NASCIMENTO, 2003).

Normalmente são assentados na posição em que os furos estejam na vertical, contribuindo para que pequenas áreas de argamassa entrem em contato para a colagem entre os blocos. Utilizados há muitos anos para alvenaria autoportante e de vedação, deve-se evitar o uso quando se apresentarem ainda com umidade elevada, devido ao alto índice de retração e variação dimensional, apresentam densidade maior que o tijolo furado (1800 kg/m^3) e sua técnica de assentamento requer mão-de-obra treinada (NASCIMENTO, 2003). Na Figura 2 mostra a vedação de blocos de concreto sendo preparada com argamassas.



Figura 2 - Alvenaria de blocos de concreto. Fonte: ARQUITECASA, 2014

É preciso ressaltar a diferença entre blocos, tijolos e tijolos furados. Blocos possuem medidas certas, são grandes e não precisam ser quebrados para embutir instalações elétricas e hidráulicas. Tijolos maciços são pequenos, sem furos e não têm precisão dimensional. Tijolos furados contém furos, são mais leves e maiores do que os tijolos maciços como mostra a Figura 3.



Figura 3 - À esquerda, tijolo maciço, do meio, tijolo furado e à direita, bloco cerâmico. Fonte: Construtorhr, 2014

2.1.2 Painéis

Painéis são elementos projetados por fôrmas a fim de receber o material que irá fornecer estrutura para vedação. Podem ser moldados in loco ou pré-moldados.

2.1.2.1 Painel moldado in loco

Os painéis moldados in loco, são produzidos diretamente no local da futura edificação. As fôrmas para fabricação desses painéis são fixadas em guias e moldam a futura parede. A espessura desses painéis varia de acordo com o material constituinte e com a distância entre as fôrmas (SALGADO, 2012). Um exemplo seriam as fôrmas das estruturas já preparadas para receber o concreto como na Figura 4 (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2011).



Figura 4 - Fôrma sendo preenchida por concreto. Fonte: Composte, 2014.

2.1.2.2 Painel pré-moldado

Segundo (ABNT, 1985), pré-moldado é um elemento executado fora do local definitivo de utilização, em condições menos rigorosas de controle de qualidade que o pré-fabricado. É uma tecnologia associada a sistema de formas: metálicas, de madeira, mistas, etc.. Um exemplo seria placas já prontas para serem colocadas como estruturas ou paredes na obra que está sendo construída podendo ser com a ajuda de guas para o transporte como mostra a Figura 5.

Esta classificação refere-se ao fato deles serem produzidos de acordo com o projeto de arquitetura, ou seja, a modulação que vai determinar a fabricação desses painéis é específica para o projeto que se está desenvolvendo (SALGADO, 2012).



Figura 5 - Painel pré-moldado sendo transportado por grua. Fonte: Composte, 2014.

2.1.2.3 Painéis delgados de base cimentícia

O sistema de construção a seco não necessita de argamassa para a sua construção como ocorre com a alvenaria. A parede seca é uma estrutura rígida composta por perfis, em que as placas cimentícias e de gesso são parafusadas vedando o ambiente interno. O isolamento acústico é feito pela lã de vidro ou de PET colocada entre dois painéis da parede juntamente com a tubulação elétrica e hidráulica. A fixação das placas é feita sobre a estrutura que pode ser de aço (Light Steel Frame) ou madeira (Wood Frame) e é definida em projeto (BRICKA, 2013).

2.1.2.4 Painéis de fibrocimento

É um material à base de cimento, com adições de fibras minerais ou vegetais ou sintéticas. As fibras de vidro são fibras cerâmicas que poderiam se enquadrar na categoria das fibras sintéticas, mas devido à sua importância no mercado e características particulares, são classificadas separadamente. As fibras sintéticas são aquelas produzidas pelo homem como polipropileno, polietileno, náilon, carbono e aramida. As fibras naturais são aquelas encontradas normalmente na natureza e podem ser utilizados como reforço nos materiais cimentícios com ou sem processamento prévio. Dentre as fibras naturais mais utilizadas pode-se citar: amianto, bambú, sisal, juta e fibra de côco (LAMEIRAS, 2007).

Amianto ou asbesto é considerado fibra mineral como mostra a Figura 6, é extraído de rochas compostas de silicatos de magnésio hidratados, tem muitas vantagens porém uma desvantagem de vital importância, ser prejudicial à saúde para o ser humano. O amianto anfibólio (amianto azul ou marrom) foi proibido por lei Federal desde 1995 no Brasil. O amianto crisotila (amianto branco) é regulamentados pela Lei Federal 9.055/95, Decreto 2.350/95 e NR 15, permitido de até 2 fibras/cm³ sendo em suspensão (VALDUGA, 2013). Hoje em dia, para conquistar o mercado e a confiança dos consumidores, as empresas optaram substituir o amianto por fibras sintéticas ou naturais como o polipropileno (PP) ou celulose.



Figura 6 - Fibra de amianto em estado natural. Fonte: Imbralit, 2010.

2.1.2.5 Painéis de cimento-madeira

Mostrando na Figura 7, esse tipo de painel apresenta basicamente de partículas ou fibras de madeira (agregado), cimento Portland (aglomerante) e água, numa proporção de 1:3:1,5 (com base no peso). Aditivos químicos têm sido empregados com o propósito de reduzir o tempo de endurecimento do cimento, acelerando o desenvolvimento da resistência (REVISTA DA MADEIRA/2003).



Figura 7 - Placa cimento-madeira. Fonte: Revista Madeira, 2003.

2.2. Norma de Desempenho de Edificações

Uma definição importante do desempenho é o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. Segundo Bôas (2013), normas de desempenho possuem linguagem simples, relacionado ao cliente, mostram quais seriam os comportamentos em uso referente ao material.

Normas prescritivas, ao contrário das normas de desempenho, possuem linguagem técnicas com dados matemáticos feitos pelos engenheiros, projetistas e construtores.

Até agora, as normas da ABNT destinadas à construção civil eram as chamadas normas prescritivas, séries de requisitos e critérios exigidos para um produto ou procedimento específico, estabelecidos pelo seu uso consagrado ao longo do tempo. A Norma de Desempenho determina as necessidades do usuário que o edifício inteiro deve atender. Enquanto normas prescritivas são quantitativas e referentes aos produtos, às partes de uma edificação, a norma de desempenho é tanto qualitativa mas também é prescritiva com relação à índices de desempenho, exemplo, térmico/acústico e outros. E diz respeito ao funcionamento de sistemas inteiros (CBIC, 2013).

2.3. Norma ABNT NBR 15575-4/2013 - parte 4: Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE)

Os trabalhos da Norma ABNT 15575 teve início no ano 2000 e, em fevereiro de 2013, teve a sua publicação final. Trata-se de norma de desempenho, mas também é prescritiva em relação à índices de desempenho, exemplo, térmico/acústico. Atualmente, teve a sua exigibilidade no dia 19/07/2013 juntamente com as implicações jurídicas (BÔAS, 2013). Hoje em dia, o consumidor está consciente de seus direitos e que a incorporadora e a construtora precisam tomar conhecimento das atualizações de desempenhos para evitar complicações no futuro, pois atualmente muitos projetistas não estão preparados por causa das novidades apresentadas pela Norma.

2.3.1 Desempenho estrutural

As normas de projeto e execução de estruturas enfocam normalmente a estabilidade e segurança de construção frente à ação do vento, impactos de corpo mole e corpo duro, capacidade de paredes suportarem cargas suspensas.

Conforme o (ABNT 15575, 2013), se o Sistema de Vedação Vertical Externo (SVVE) não for conhecido e consolidado por experimentação, indica que, para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, a resistência e a deformabilidade devem ser estabelecidas por meio de ensaios e do traçado do correspondente diagrama carga x deslocamento, considerando-se como deslocamento limite em cada ensaio aquele que primeiro estabelecer uma falha.

2.3.1.1 Impactos de Corpo mole

Impactos de corpo mole procuram representar choques acidentais gerados pela utilização da edificação, atos de vandalismo, tentativas de intrusão, etc (CBIC, 2013). As energias de impacto são expressas em Joules ($1J = N.m$ ou $1J = kgf \times dm$), sendo que as maiores energias referem-se ao estado-limite último (impactos de segurança) (ABNT 15575, 2013).

Conforme a Figura 8, nos ensaios os impactos são aplicados por um saco cilíndrico de couro, com diâmetro de 35 cm, altura de 70 cm e força de $400 \pm 4N$, produzindo-se por exemplo, impactos de 480J pelo movimento pendular do corpo a partir de $H = 1,20m$ ($480J = 400N \times 1,2m$; $480J = 40kgf \times 12dm$).

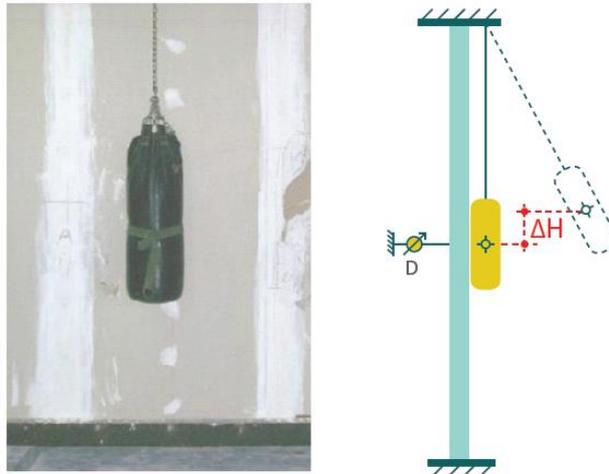


Figura 8 - Impacto de corpo mole transmitido por saco de couro com massa de 40kg. Fonte: CBIC, 2013.

Segundo (ABNT 15575/2013), sob ação de impactos progressivos de corpo mole, os elementos impactados não podem:

- a) ser transpassados, sofrer ruptura ou instabilidade sob ação de impactos de segurança com energias indicadas nas tabelas 1 e 2;
- b) apresentar fissuras, escamações, de laminações ou qualquer outro tipo de falha que possa comprometer o estado de utilização (impactos de utilização), observando-se ainda os limites de deslocamentos instantâneos e residuais indicados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Desempenho sob impactos de corpo mole de vedações verticais externas com função estrutural. Fonte: Combinação da Tabela D.1 da NBR 15575 – Parte 2 e Tabelas 3 e F.3 da NBR 15575 – Parte 4

Impacto	Energia de Impacto de corpo mole (J)	CrITÉrios de desempenho
Impacto externo (local com acesso externo do público, em geral andar térreo, impactos de fora p/dentro)	960	Não ocorrência de ruína (estado-limite último)
	720	
	480	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço)
	360	
	240	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/125$ e $d_{hr} \leq h/1250$
	180	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço)
120		

Legenda:

h é altura do elemento parede (em cm);
 dh é o deslocamento horizontal instantâneo;
 dhr é o deslocamento horizontal residual;

A Tabela 1 foi adaptada para painéis leves mostrando resultados para estruturas e vedações verticais externas com função estrutural de elementos leves ($G < 60 \text{ kg/m}^2$) para edifícios multipisos. Os impactos externos em pavimentos acessíveis ao público (de fora para dentro).

Tabela 2 - Impactos de corpo mole para vedações verticais externas de casas térreas com função estrutural. Fonte: CBIC

Impacto	Energia de Impacto de corpo mole (J)	Critérios de desempenho
Impacto externo (acesso externo do público)	720	Não ocorrência de ruína (estado-limite último)
	480	Não ocorrência de ruína (estado-limite último)
	360	
	240	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $dh \leq h/125$ (h em cm) $dhr \leq h/625$ (h em cm)
	180	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço)
	120	

A Tabela 2 mostra resultados para estruturas e vedações externas estruturais como casas térreas (fachadas), com função estrutural de elementos leves ($G < 60 \text{ kg/m}^2$). Tal condição também pode ser adotada no caso de sistemas destinados a sobrados unifamiliares.

2.3.1.2 Impactos de corpo duro

Segundo (ABNT 15575/2013), impactos de corpo duro procuram representar choques acidentais gerados por esferas de aço com diâmetro de 5cm/massa de 5N (impactos de utilização) e diâmetro de 6,25cm/massa de 10N (impactos de segurança), sendo que os elementos impactados não podem:

- ser transpassados, sofrer ruptura ou instabilidade sob ação de impactos de segurança com energias indicadas na Tabela 3;
- apresentar fissuras, escamações, de laminações ou outras falhas que comprometam o estado de utilização, sob ação dos impactos de utilização indicados na Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro na face externa de vedações verticais localizadas na fachada da edificação. Fonte: Tabela F.5, pág. 55 da NBR 15575 – Parte 4.

Energia de impacto (a) de corpo duro J	Critério de desempenho	Nível de desempenho
3,75	Não ocorrência de fissuras, destacamento, desagregações etc. Mossas com qualquer profundidade	M
20	Não ocorrência de ruínas e traspassamento Permitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	
3,75	Não ocorrência de fissuras, destacamento, desagregações etc. Profundidade das mossas: $p \leq 5\text{mm}$	I
20	Não ocorrência de ruínas e traspassamento Permitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	
3,75	Não ocorrência de fissuras, destacamento, desagregações etc. Profundidade das mossas: $p \leq 2\text{mm}$	S
20	Não ocorrência de ruínas e traspassamento Permitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	

(a) - Sentido do impacto de fora para dentro

A Tabela 3 apresenta impactos de corpo duro no exterior da estrutura e vedações verticais. O nível de desempenho M, I e S indicam que o desempenho é médio, inferior e superior respectivamente.

Capacidade de paredes suportarem cargas suspensas

As paredes da edificação habitacional, com ou sem função estrutural, sob ação de cargas devidas a peças suspensas aplicadas por meio de mãos-francesas padronizada não podem apresentar fissuras, lascamentos ou rupturas. Nem permitir a fragmentação dos dispositivos de fixação nem seu esmagamento (ABNT 15575, 2013). Os deslocamentos horizontais instantâneos (dh) e residuais (dhr) devem atender aos valores indicados na tabela 4.

Tabela 4 - Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas fixadas em paredes com ou sem função estrutural por meio de mãos-francesas padrão. Fonte: Tabela F.1, página 51 da NBR 15575 – Parte 4.

Carga de ensaio aplicada em cada ponto kN	Carga de ensaio aplicada na peça kN	Crítérios de desempenho	Nível de desempenho
0,4	0,8	Ocorrências de fissuras toleráveis. Limitação dos deslocamentos horizontais: $dh < h/500$ $dhr < h/2500$	M
0,5	1	Ocorrências de fissuras toleráveis. Limitação dos deslocamentos horizontais: $dh < h/500$ $dhr < h/2501$	I
0,6	1,2	Ocorrências de fissuras toleráveis. Limitação dos deslocamentos horizontais: $dh < h/500$ $dhr < h/2502$	S
Em que: h é altura do elemento parede (h em cm); dh é o deslocamento horizontal; dhr é o deslocamento residual;			

Em qualquer situação, o fornecedor da edificação ou do sistema construtivo deve especificar os acessórios de fixação de peça suspensas e a correspondente capacidade de carga por eles conferida, adotando-se coeficiente de minoração igual a 2,0 (carga atuando por 24 horas) ou 3,0 (aplicação contínua da carga até a ruptura). No caso de paredes ocas, painéis sanduíche e outros podem ser previstos reforços localizados dos pontos de fixação de peças suspensas, constando as necessárias instruções no Manual de Uso, Operação e Manutenção do imóvel. (CBIC, 2013).

2.3.2 Segurança contra incêndio

Com relação à segurança contra incêndio, a norma visa, em primeiro lugar, a integridade física das pessoas e, depois, a própria segurança patrimonial. Os critérios de desempenho contemplam recursos para dificultar o princípio de incêndio e a sua propagação (CBIC, 2013).

Na fase mais intensa do incêndio, a resistência ao fogo dos diferentes elementos da construção ganha importância, prescrevendo-se um tempo mínimo sem instabilizar ou ruína

para garantir razoável possibilidade de fuga das pessoas presentes na edificação atingida (CBIC, 2013).

Segundo a Norma NBR 14431/2001, os sistemas ou elementos de compartimentação que integram os edifícios habitacionais devem atender à norma para minimizar a propagação do incêndio, assegurando estanqueidade e isolamento. Conforme o (CBIC, 2013), deve-se determinar a distância mínima entre as unidades habitacionais, que será tanto maior quanto maior for o índice de propagação de chamas dos materiais das fachadas.

Desempenho estrutural em situações de incêndio

Conforme a norma NBR 14432/2001, os materiais empregados na estrutura e nas compartimentações devem estar em acordo com o TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo.

O tempo de resistência ao fogo de lajes, paredes, portas corta-fogo e outros elementos é normalmente determinado em fornos de ensaios horizontais ou verticais, obedecendo o crescimento da temperatura no interior do forno a uma curva padronizada (norma ISO 834), conforme ilustrado na Figura 9.

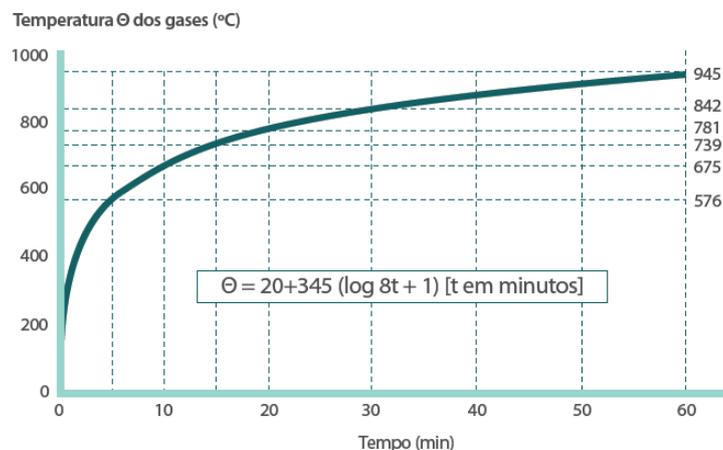


Figura 9 - Curva de crescimento da temperatura e forno de resistência ao fogo. Fonte: IPT.

2.3.2.1 Resistência ao fogo de elementos estruturais e de compartimentação

Segundo a NBR 14432/2001, as paredes estruturais, paredes de geminação e de unidades habitacionais isoladas de até dois pavimentos, devem apresentar resistência ao fogo por um período mínimo de 30 minutos, assegurando condições de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmica, no caso de edificações habitacionais de até cinco pavimentos.

2.3.3. Propagação do fogo

A inflamação generalizada e preponderantemente determinada pela natureza dos materiais presentes nas superfícies dos elementos construtivos. Estes podem sustentar a combustão e propagar o fogo (CBIC, 2013).

Segundo (ABNT NBR 9442, apud CBIC, 1988), a propagação superficial de chamas consiste em submeter amostra de material a um fluxo radiante padronizado, gerado por um painel radiante poroso, com uma chama piloto aplicada na extremidade superior do corpo de prova. Mede-se o tempo necessário para atingir distâncias padronizadas inseridas no suporte do corpo de prova e o fator de evolução do calor desenvolvido (por meio de termopares), computando-se o Índice de Propagação Superficial de Chamas pela multiplicação dos fatores resultantes do Tempo e do Calor gerado.

A geração de fumaça é avaliada pela Densidade Ótica de Fumaça, grandeza estabelecida como função de diversos fatores: área da superfície exposta, transmitância de luz com e sem a presença da fumaça etc. Em última instância, procura-se determinar a perda de transmitância de um feixe de luz padronizado que atravessa a fumaça gerada pelo corpo de prova simplesmente aquecido (decomposição pirolítica) ou em processo de combustão com chama. (CBIC, 2013).

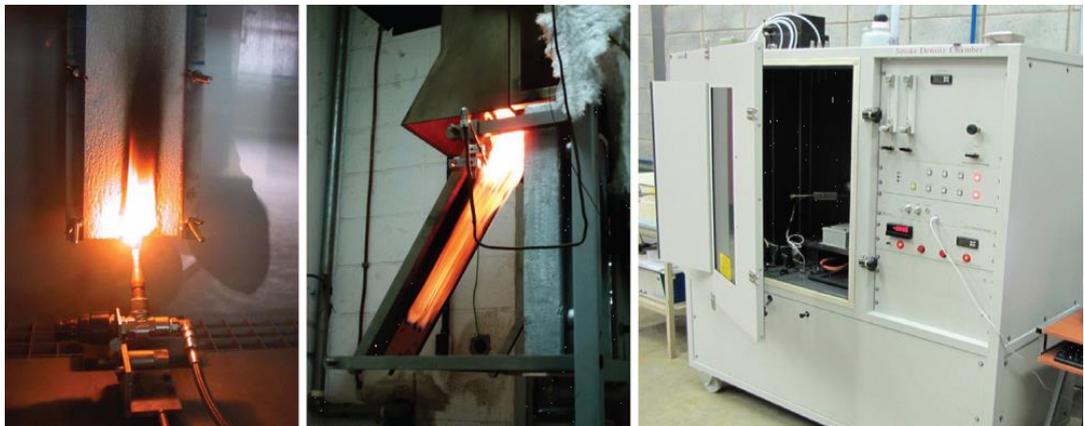


Figura 10 - Equipamentos para ensaios de ignibilidade, propagação superficial de chamas e densidade ótica de fumaça. Fonte: IPT.

Tabela 5 - Classificação dos materiais tendo como base o método EM 13823. Fonte: Tabela 3, página 12 da NBR 15575 – Parte 3; Tabela 8, página 22 da NBR 15575 – Parte 4 e Tabela 2, página 17 da NBR 15575 – Parte 5.

Classe		Método de ensaio		
		ISO 1182	EM 13823	ISO 11925-2 (esp. = 30s)
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^{\circ}\text{C}$; $\Delta m \leq 50\%$; $t_f \leq 10 \text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	FIGRA $\leq 120\text{W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 120\text{W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
III	A	Combustível	FIGRA $\leq 250\text{W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 250\text{W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
IV	A	Combustível	FIGRA $\leq 750\text{W/s}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 750\text{W/s}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
V	A	Combustível	FIGRA $> 750\text{W/s}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s
	B	Combustível	FIGRA $> 750\text{W/s}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s
VI		-	-	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s

FIGRA – Índice da taxa de desenvolvimento de calor; LFS – Propagação lateral da chama; THR600s – Liberação total de calor do corpo-de-prova nos primeiros 600 s de exposição às chamas; TSP600s – Produção total de fumaça do corpo-de-prova nos primeiros 600 s de exposição às chamas; SMOGRA – Taxa de desenvolvimento de fumaça, correspondendo ao máximo do quociente de produção de fumaça do corpo-de-prova e o tempo de sua ocorrência; FS – Tempo em que a frente da chama leva para atingir a marca de 150 mm indicada na face do material ensaiado;



Figura 11 - Ensaio SBI - Single Burning Item de acordo com a EN 13823. Fonte: IPT.

Segundo a norma (ABNT, 2013) a Tabela 5 só vale para os seguintes casos:

- a) quando ocorre derretimento ou o material sofre retração abrupta afastando-se da chama-piloto;
- b) quando o material é composto por miolo combustível protegido por barreira incombustível ou que pode se desagregar (painéis sanduíche, por exemplo);
- c) materiais compostos por diversas camadas de materiais combustíveis apresentando espessura total superior a 25 mm;
- d) materiais que na instalação conformam juntas através das quais, especialmente, o fogo pode propagar ou penetrar (situação típica de construção com painéis).

2.3.3.1 Reação ao fogo – fachadas

Com base na Tabela 9, as superfícies externas das fachadas devem classificar-se como I ou II B.

2.3.4. Desempenho térmico

O adequado desempenho térmico repercute no conforto das pessoas e em condições adequadas para o sono e atividades normais em uma habitação, contribuindo ainda para a economia de energia. A avaliação de desempenho pode ser feita de forma simplificada, com base em propriedades térmicas das fachadas.

Deve-se esclarecer que a norma NBR 15575/2013 não trata de condicionamento artificial (refrigeração ou calefação). Ou seja, todos os critérios de desempenho foram estabelecidos com base em condições naturais de insolação, ventilação e outras (CBIC, 2013).

Considerando a grande extensão do território brasileiro, as coordenadas geográficas da cidade onde se localiza a obra tem grande influência, sendo que a norma NBR 15.220-3 divide o país em oito regiões bioclimáticas, conforme ilustrado na Figura 12.

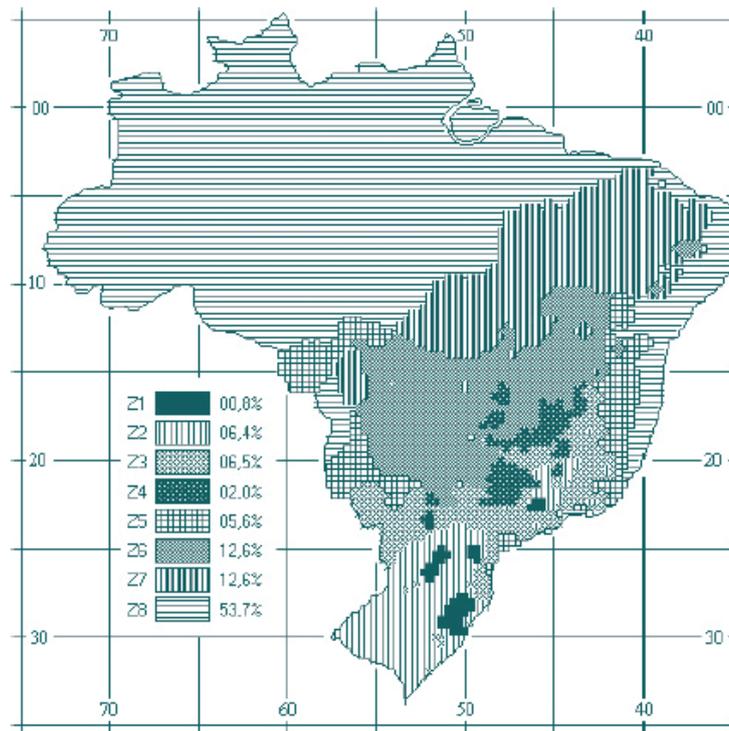


Figura 12 - Zoneamento bioclimático brasileiro. Fonte: ABNT NBR 15220/2003 - Parte 3.

Para cada uma dessas zonas climáticas é definido o dia típico de inverno e o dia típico de verão, estabelecidos com base na temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente para o dia mais frio e para o dia mais quente do ano respectivamente, segundo a média observada num número representativo de anos. (CBIC, 2013).

Conceitos:

- transmitância térmica: fluxo de calor que atravessa a área unitária de um componente ou elemento quando existe um gradiente térmico de 1K entre suas faces opostas, sendo o fluxo expresso em $\text{Watts/m}^2\cdot\text{K}$. Inverso da resistência térmica (ABNT, 2013).
- capacidade térmica: quantidade de calor por área unitária necessária para variar em uma unidade a temperatura de um componente ou elemento. Expressa em $\text{kJ/ m}^2\cdot\text{K}$ (ABNT, 2013).

2.3.4.1 Transmitância térmica de paredes externas

Os valores máximos para a transmitância térmica (U) das paredes externas são apresentados na Tabela 6. No caso de paredes que não atendam a esse critério simplificado, a verificação do atendimento ou não do desempenho térmico da edificação como um todo deve ser realizada por simulação computacional / análise detalhada, de acordo com a NBR 15575-1/2013.

Tabela 6 - Valores máximos admitidos para a transmitância térmica de paredes externas. Fonte: CBIC, 2013.

Transmitância térmica U		
W/m².K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha(a) \leq 0,6$	$\alpha(a) > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
(a) - α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede		

As zonas são especificadas pela Figura 12.

2.3.4.2 Capacidade térmica de paredes externas

Os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas são apresentados na Tabela 7. No caso de paredes que não atendam a esse critério simplificado, a verificação do atendimento ou não do desempenho térmico da edificação como um todo deve ser realizada por simulação computacional / análise detalhada, de acordo com a NBR 15575-1/2013.

Tabela 7 - Valores mínimos admitidos para a capacidade térmica de paredes externas. Fonte: Tabela 12, página 29 da NBR 15575 – Parte 4.

Capacidade térmica (CT)	Kj/m².K
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

2.3.5 Desempenho acústico

O ruído gerado pela circulação de veículos, crianças brincando no *playground* e música alta no apartamento vizinho são causas de desentendimentos e de estresse. Por isso,

faz-se necessária a adequada isolamento acústica por parte de fachadas, coberturas, entrepisos e paredes de geminação (CBIC, 2013).

Pelo conceito, os sons resultam de movimentos vibratórios que se propagam pelo ar ou outros meios segundo ondas com amplitudes e frequências variadas. Essas ondas pressionam o tímpano das pessoas numa escala logarítmica. Com base dessa escala logarítmica, foi criada uma equação para expressar em Decibel (símbolo dB) uma certa intensidade sonora (CBIC, 2013).

$$dB = 10 \times \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

Em que p é a pressão acústica da onda (em Pascal) e p_0 é a pressão de referência ($2 \times 10^5 Pa$).

Segundo (ABNT, 2013), existem três métodos de verificação de ensaios: método de precisão, realizado em laboratório, servem como referência para os projetistas, método de engenharia, realizado em campo e método simplificado, realizado em campo também. Sendo que o método de engenharia é mais preciso que o método simplificado. E as normas ISO-140-5 e ISO 717-1/2013 são parâmetros de verificação para fachadas, em edificação (múltiplos) e para fachadas e coberturas em casas térreas e sobrados. Os resultados obtidos restringem-se somente às medições efetuadas e são expressos em dB, adotando-se o símbolo: $D_{nT,w}$ - diferença padronizada de nível ponderada (para o método de engenharia) para ambientes internos e $D_{2m,nT,w}$ - diferença padronizada de nível ponderada a 2m (para o método simplificado) para ambientes externos (fachadas).

2.3.5.1 Limites do ouvido humano

A intensidade sonora “captada” pelo ouvido humano varia com o ruído residual (“ruído de fundo”) e com as diferentes frequências. Além disso, o ouvido humano é menos sensível para sons abaixo de 1000Hz e acima de 4000Hz, conforme se pode também observar nas curvas da Figura 13.

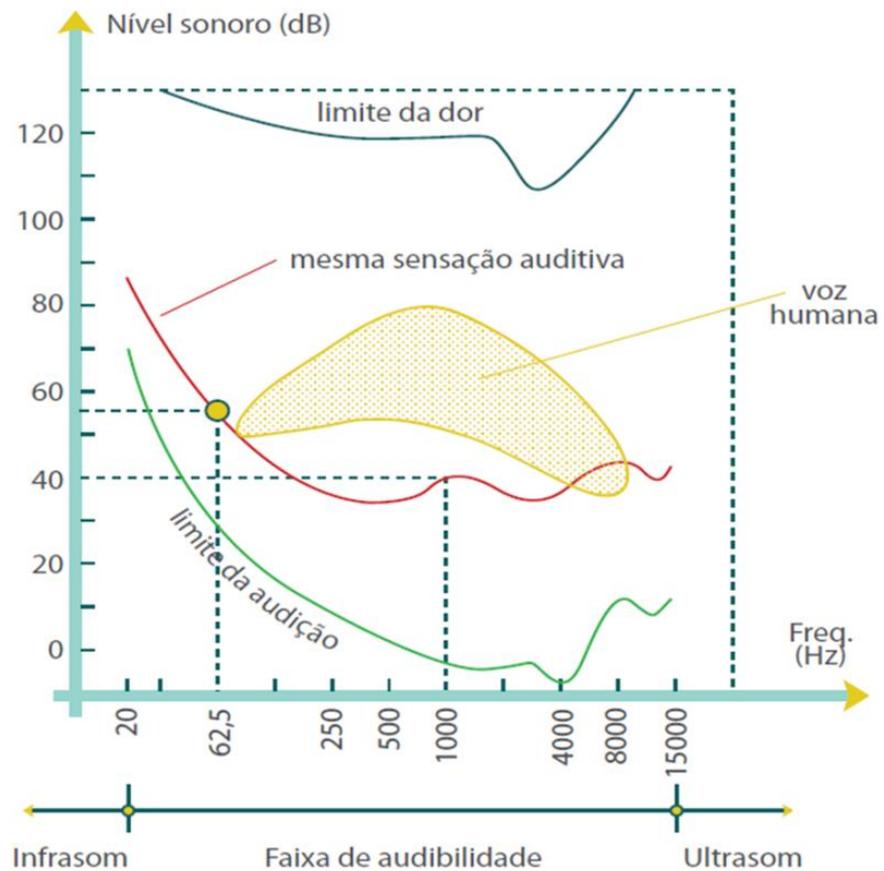


Figura 13 - Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano. Fonte: IPT.

2.3.5.2 Isolação sonora das fachadas e da cobertura – ensaios de campo

As medições são efetuadas em campo com portas e janelas fechadas. A atenuação acústica entre o ruído padrão gerado externamente e a intensidade sonora registrada no interior da construção, em área de dormitório, devem atender aos limites indicados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório. Fonte: Tabela F.9, pág. 57 da NBR 15575-4, Tabela I.5 pág. 56 da NBR 15575-5

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30
Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.		
Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos.		

A presença de frestas nas coberturas e nas fachadas altera substancialmente o desempenho acústico da envoltória das edificações, sendo que pequenas frestas podem reduzir em mais de 30% a isolamento acústica (CBIC, 2013).

2.3.5.3 Isolamento sonora de fachadas – ensaio de laboratório

No caso da avaliação da isolamento acústica em laboratório, com ensaios realizados em componentes, elementos e sistemas construtivos utilizados para fachadas (paredes, janelas, paredes com janelas etc).

Tabela 9 - Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas. Fonte Tabela F.11, pág. 58 da NBR 15575-4.

Classe de ruído	Localização da habitação	R_w^* dB
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 25
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 35
(*) valores aproximados / ordem de grandeza para potencial atendimento na situação real de campo.		

Os valores da Tabela 9 referem-se ao sistema construtivo completo previsto para a fachada, ou seja, paredes + portas + janelas etc. Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos no campo ($D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$) são inferiores aos obtidos em laboratório (R_w).

2.3.6. Estanqueidade à água

As condições de saúde e higiene nas habitações podem ser comprometidas por uma série de fatores, sendo a umidade fonte potencial de doenças respiratórias, formação de fungos e outros. Além disso, a durabilidade da construção está diretamente associada à estanqueidade à água de seus elementos (CBIC, 2013).

Para perfeito entendimento das exigências, é importante entender a distinção entre áreas molháveis e áreas molhadas da edificação, conforme definições da NBR 15575-3 transcritas a seguir:

- Áreas molhadas:

Áreas da edificação cuja condição de uso e exposição pode resultar na formação de lamina d'água pelo uso normal a que o ambiente se destina (por exemplo, banheiro com chuveiro, área de serviço e áreas descobertas) (CBIC, 2013).

- Áreas molháveis:

Áreas da edificação que recebem respingos de água decorrentes da sua condição de uso e exposição e que não resulte na formação de lâmina d'água pelo uso normal a que o ambiente se destina (por exemplo, banheiro sem chuveiro, lavabo, cozinha e sacada coberta) (CBIC, 2013).

2.3.6.1 Estanqueidade à água de fachadas

A estanqueidade à água das paredes de fachada, janelas e coberturas é função não só dos índices pluviométricos do local da obra como também da velocidade característica e da direção do vento. Para as janelas, fachadas cortina e similares devem ser obedecidas as exigências contidas na norma NBR 10821/2011. Com relação às velocidades do vento, o território brasileiro é subdividido nas cinco regiões representadas na Figura 14.

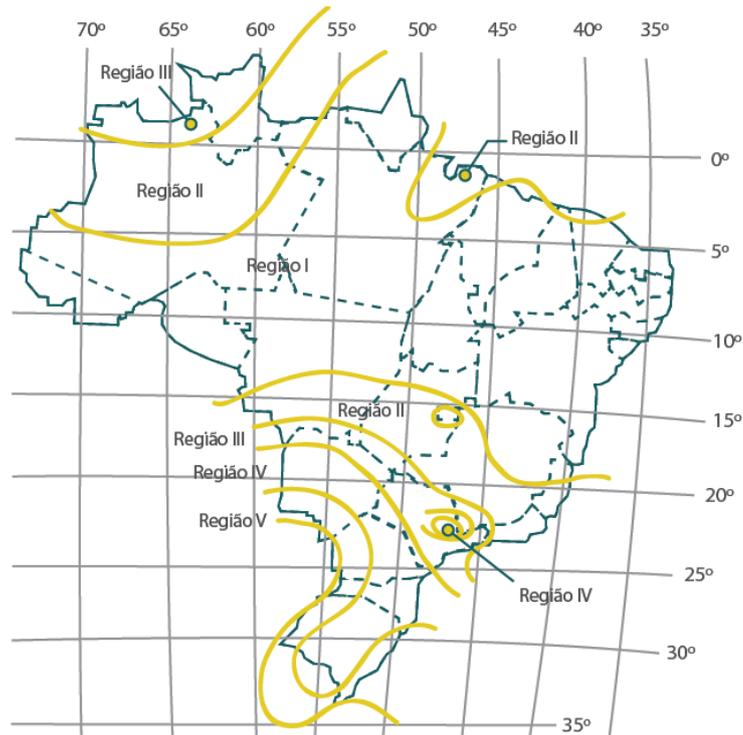


Figura 14 - Regiões brasileiras para efeito de estanqueidade a água. Fonte: NBR 15575-4/20013.

A Figura 14, com relação às velocidades do vento, o território brasileiro é subdividido nas cinco regiões representadas.

Como condições de ensaio, utilizando a câmara, os corpos de prova são submetidos durante sete horas a uma lâmina de água escorrendo a partir do seu topo, com vazão constante de 3 litros/minuto/m² de parede. Para simular a ação do vento, atua simultaneamente uma pressão de ar que varia com a região onde a obra será executada, conforme registrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Condições de ensaio de estanqueidade à água de paredes de fachada. Fonte: Tabela 11, pág. 24 da NBR 15575-4/2013.

Região do Brasil	Condições de ensaio de paredes	
	Pressão estática Pa	Vazão de água L/min/m ²
I	10	3
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

Nota: para edificações térreas, com beirais de no mínimo 0,50 m de projeção, a pressão estática do ensaio pode ser reduzida de 10 Pa nas regiões II a V

2.3.6.2 Estanqueidade à água de chuva de parede de fachada

Para as condições indicadas na Tabela 10, as paredes de fachada e suas junções com caixilhos eventualmente presentes devem permanecer estanques e não apresentar infiltrações que proporcionem borrifamentos, escorrimentos ou formação de gotas de água aderentes na face interna, podendo ocorrer pequenas manchas de umidade, com áreas limitadas aos valores indicados na Tabela 11.

Tabela 11 - Níveis de desempenho para estanqueidade à água de paredes de fachada. Fonte: Anexo F, Tabela F.7, pág. 55 da NBR 15575-4/2013

Edificação	Tempo de ensaio h	Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência da água, em relação à área total do corpo de prova submetido à aspersão de água, ao final do ensaio	Nível de desempenho
Térrea (somente a parede de vedação)	7	10	M
		Sem manchas	I; S
Com mais de um pavimento (somente a parede de vedação)	7	5	M
		Sem manchas	I; S
Esquadrias	Devem atender à ABNT NBR 10821-3		M

O índice de desempenho apresentado na Tabela 11 mostra as seguintes letras M, I e S referindo como médio, inferior e superior respectivamente.

A infiltração de água em fachadas ocorre normalmente através de fissuras ou destacamentos entre vedações e estrutura, falhas de rejuntamento entre paredes e caixilhos, empoçamento de água em peitoris, etc (CBIC, 2013).

Pode ser evitada com a adoção de detalhes construtivos apropriados, correta escolha e aplicação de sistema de pintura das fachadas, rejuntamentos flexíveis entre paredes e esquadrias (CBIC, 2013).

2.3.6.3 Estanqueidade de fachadas em áreas molháveis

Não pode ocorrer a presença de umidade perceptível nos ambientes contíguos, desde que respeitadas as condições de ocupação e manutenção previstas em projeto e descritas no Manual de Uso, Operação e Manutenção.

2.3.7. Durabilidade

A durabilidade das edificações depende de muitos fatores que interferem isolada ou conjuntamente, desde a concepção e projeto até os cuidados mais corriqueiros de limpeza, uso e conservação (CBIC, 2013).

2.3.7.1 Vida útil de projeto da edificação habitacional e de suas partes

O projeto deve especificar o valor teórico da Vida Útil de Projeto (VUP) previsto para cada um dos sistemas que o compõem, não inferior ao limite mínimo correspondente estabelecido na Tabela 12. Deve ser elaborado para que os sistemas tenham durabilidade potencial compatível com a correspondente VUP especificada. Na ausência de indicação em projeto da VUP dos sistemas, serão adotados os prazos da Tabela 12 para o desempenho Mínimo.

Tabela 12 - Prazos de vida útil de projeto. Fonte: Anexo C, Tabela C.5, pág. 56 da NBR 15575-1/2013.

Sistema	VUP anos		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30

* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificadas no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

Os prazos de vida útil iniciam-se na data de conclusão da edificação habitacional, a qual, para efeitos da NBR 15575/2013, é a data de expedição do Auto de Conclusão de Edificação, “Habite-se” ou outro documento legal que ateste a conclusão das obras. A norma ainda esclarece que:

Não existem materiais de construção “bons” ou “ruins”, apenas materiais com características próprias que precisam ser respeitadas no momento da aplicação. Salvo deficiências de fabricação, as falhas causadas pelos materiais decorrem de especificação ou emprego inadequados, quando não pela escolha do material de menor preço, incompatível com a situação de uso pretendida (CBIC, 2013).

Para proteção de paredes contra ação da água requer pinturas impermeáveis e resistentes aos raios solares em fachadas, coberturas com beirais, etc.

2.3.8. Ação de calor e choque térmico em paredes de fachada

As paredes externas, incluindo seus revestimentos, submetidas a dez ciclos sucessivos de exposição ao calor e resfriamento por meio de jato d’água, não podem apresentar:

- deslocamento horizontal instantâneo, no plano perpendicular ao corpo de prova, superior a $h/300$, onde h é a altura do corpo de prova (h em cm);
- ocorrência de falhas, como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a durabilidade da parede de fachada.

A avaliação é realizada mediante ensaio de laboratório, conforme método apresentado no Anexo E da NBR 15575-4/2013, utilizando-se painel radiante ilustrado na Figura 15.

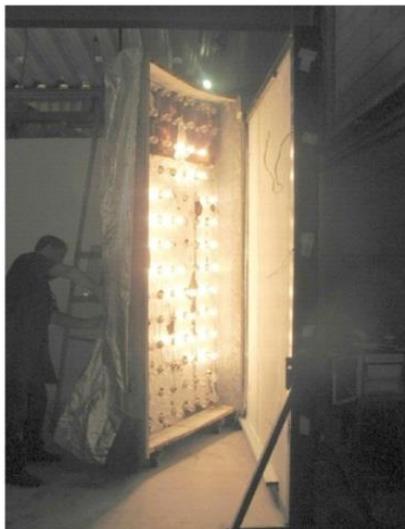


Figura 15 - Painel radiante para ensaio de choque térmico em parede de fachada. Fonte: IPT.

2.3.9. Manutenibilidade

A vida útil de qualquer produto, seja um automóvel ou uma edificação, depende da eficiência do projeto, da construção, das condições de agressividade do meio e dos cuidados no uso e manutenção. A vida útil prevista no projeto da habitação só poderá ser atingida no caso do seu uso correto e adoção de eficientes processos de manutenção, obedecendo-se fielmente ao que estiver estipulado no Manual de Uso, Operação e Manutenção. Com relação à preparação do manual e à gestão da manutenção, a norma de desempenho remete às regras ABNT específicas, ou seja, NBR 14037 e NBR 5674 (CBIC, 2013).

2.3.10. Manual de uso, operação e manutenção

A NBR 15575/2013 – Partes 1 a 6 – estabelece que todos os componentes, elementos e sistemas devem manter a capacidade funcional durante a vida útil de projeto. É necessário que sejam procedidas intervenções periódicas de manutenção especificadas pelos respectivos fornecedores. Devem ser realizadas manutenções preventivas e, sempre que necessário, manutenções corretivas, realizadas assim que algum problema se manifestar, a fim de impedir que pequenas falhas progridam as vezes rapidamente para extensas patologias.

As manutenções devem ser realizadas em obediência ao Manual de Uso, Operação e Manutenção fornecido pelo incorporador e/ou pela construtora.

2.4. Seleção de fornecedores com itens/subcritérios de socioambientais

Nesse presente trabalho segue-se os passos, segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014):

Passo 1: Verificação da formalidade da empresa fabricante e fornecedora.

A formalidade da empresa fabricante ou fornecedora de produtos e serviços pode ser verificada junto à Receita Federal por meio do número do CNPJ (Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica). Se o CNPJ de uma empresa não é válido significa que o imposto não está sendo recolhido ou que a empresa não tem existência legal. Em princípio o CNPJ deve estar impresso na embalagem, no produto ou na nota fiscal. Caso o CNPJ não esteja disponível (produtos vendidos em quantidades menores que a embalagem do fabricante ou a granel, por exemplo), é necessário consultar a revenda, o importador ou o fornecedor. Caso o CNPJ seja válido, o sistema retorna o nome completo da empresa e o estado da Federação onde a

unidade fabril está localizada. Caso o CNPJ não esteja ativo ou válido, o fornecedor deverá ser descartado (CBCS, 2014).

Passo 2: Verificação da licença ambiental.

Nenhuma atividade industrial pode operar legalmente sem licença ambiental, concedida pelo órgão ambiental estadual. A existência da licença não é garantia contra impactos ao meio ambiente, mas a sua ausência praticamente elimina qualquer possibilidade de respeito à lei. Alguns órgãos da federação possibilitam a consulta através do nome completo da empresa e da unidade da federação, enquanto outros órgãos exigem o fornecimento do número do processo de licenciamento. Caso o órgão da federação só possibilite a consulta da licença ambiental através do número do processo, solicite ao fabricante uma cópia da licença ou número do protocolo e confirme a validade (CBCS, 2014).

Passo 3: Verificação das questões sociais.

O trabalho infantil, o trabalho escravo, o trabalho em condições precárias de higiene, com jornadas excessivas e sem alimentação adequada devem ser combatidos. Produtos nacionais e importados que empreguem mão de obra nessas condições devem ser evitados e banidos do mercado. Esse critério é eliminatório no caso da empresa fabricante ser identificada em listas de empresas nacionais já autuadas (CBCS, 2014).

Passo 4: Qualidade e normas técnicas do produto.

A baixa qualidade dos produtos é uma fonte importante de desperdício. Produtos que não apresentam desempenho adequado acabam sendo substituídos, gerando custos e resíduos. As normas técnicas são o critério mínimo de qualidade vigente e seu respeito é obrigatório no Brasil. Verifique se o fornecedor está na lista de empresas qualificadas pelo PBQP-H, um programa do governo federal que acompanha a qualidade de um grande número de setores, a relação dos fabricantes que produzem em conformidade e não conformidade às normas técnicas da ABNT. Alguns produtos tradicionais ainda não fazem parte do PBQP-H. Caso o setor não conste no PBQP-H, as recomendações das Entidades Setoriais sobre o padrão de qualidade do produto devem ser consultadas (CBCS, 2014).

Passo 5: Consultar o perfil de responsabilidade socioambiental da empresa.

A Responsabilidade Social Empresarial (RSE) está além do que a empresa deve fazer por obrigação legal. A Responsabilidade Social é a tradução e incorporação dos valores e compromissos das empresas em todas suas formas de relações em seus negócios. Podemos dizer que a RSE pode promover negócios sustentáveis, que por sua vez, são conscientes dos impactos positivos e negativos no campo econômico, social e ambiental, sejam eles gerados pelo negócio ou pela sociedade, procurando gerenciar os riscos e as potencialidades ou oportunidades que estão presentes na empresa e na sociedade. A sustentabilidade não está só na empresa ou na sociedade, com os padrões ou com empregados, com as pessoas ou com o meio ambiente, mas nas relações que se estabelecem em todos os níveis e em toda cadeia do negócio. Portanto, a melhor forma de avaliar a RSE de fornecedores é através do relacionamento e de toda forma de realizar o negócio. É assumir uma co-responsabilidade dos insumos e serviços adquiridos, assim como tornar sua própria prática transparente para a sociedade (CBCS, 2014).

Passo 6: Identificar a existência de propaganda enganosa.

É necessário que o cliente confirme a consistência e relevância das afirmações de eco-eficiência dos produtos e processos declarados pelos fornecedores. Mesmo produtos certificados podem levar a equívocos: qual o critério da certificação? Estes critérios são públicos? Qual a seriedade do processo? (CBCS, 2014).

2.5. Método multicritério de tomada de decisão

Métodos multicritérios têm sido muito utilizados na solução de problemas de tomada de decisão, uma vez que procuram esclarecer aos tomadores de decisão as possibilidades de escolhas. Apoiam o processo decisório, embasado nas informações existentes, incorporando valores dos agentes, na busca da melhor solução (CARDOZO, 2014).

Têm-se necessidades constantes de tomar decisões e o faz por meio de comparações, classificações e ordenações de alternativas. Diferentes tomadores de decisão optam por diferentes caminhos, em problemas idênticos, uma vez que cada tomador de decisão atribui valores diferentes a cada critério.

Entre as vantagens da utilização da metodologia multicritério, menciona-se (Oliveira, 2003):

- a) uso fácil por não especialistas, preferencialmente transformada em um programa de computador que seja o mais amigável possível com o usuário, dispondo de recursos gráficos visuais;
- b) constituiu-se em um método lógico e transparente;
- c) provê liberdade de ambiguidade para interpretações dos dados de entrada;
- d) engloba tanto critérios quantitativos como qualitativos;
- e) os julgamentos de valor;
- f) permite ao tomador de decisão dispor de algoritmos que permitam a utilização de critérios independentes uns dos outros, como algoritmos que auxiliem em problemas em que os critérios de avaliação são interdependentes, bem como, analogamente, pode tratar com alternativas independentes umas das outras;
- g) incorpora questões do comportamento humano nos processos de decisão.

2.5.1. Método multicritério de tomada de decisão AHP (Analytic Hierarchy Process)

Um dos métodos mais utilizados mundialmente e com mais artigos publicados em periódicos científicos é o AHP (SALOMON, apud CARDOZO, 2010). Conforme explica (TRENTIM, apud CARDOZO, 2012):

“O AHP fornece um procedimento compreensivo e racional para modelar um problema de decisão, representando e quantificando as variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferências (pesos). O resultado é um modelo que permite analisar várias alternativas e as compara rapidamente, por isso é conhecido como um método de decisão e utilizado para justificar a decisão.”

“A hierarquia de critérios e pesos da AHP é definida pelos tomadores de decisão à medida que se constrói o modelo. Os critérios são comparados entre si dois a dois, o que introduz um componente subjetivo no modelo. É um modelo que converte as preferências, ou julgamentos humanos, em valores numéricos para construir um modelo de tomada de decisão. Os pesos representam a prioridade dada a cada elemento ou critério, que podem ser organizados em hierarquias. A hierarquia do AHP permite que elementos distintos, ou mesmo incomensuráveis, sejam comparados entre si de maneira racional e consistente. A racionalidade provém da quantificação enquanto que a consistência é assegurada pelo modelo, utilizando auto-vetores.”

“Considerando que a percepção humana não é capaz de analisar simultaneamente todos os critérios e preferências, o AHP permite a construção de um modelo hierárquico de pesos e critérios para auxiliar na tomada de decisão. Além disso, em problemas complexos, por existir uma grande variedade de alternativas, não é humanamente possível analisar todas as soluções individualmente nem as comparar. Uma vez modeladas as preferências, critérios e pesos, o método AHP permite analisar muitas alternativas.”

Em aplicações de AHP, a matriz de decisão é, geralmente, estocástica quanto às colunas, ou seja, os componentes de suas colunas são normalizados. O vetor de pesos dos critérios e o vetor de decisão também são normalizados. Aplicações de AHP não necessitam de um software proprietário (CARDOZO, 2014). Esta abertura no conhecimento é uma das

justificativas para o maior número de aplicações do AHP e também por ter sido adotado no presente trabalho.

Em aplicações de AHP, os pesos dos critérios são obtidos com um procedimento mais sofisticado do que a simples atribuição direta de valores. Uma matriz de comparações entre os critérios, dois a dois, deve ser preenchida. Para as comparações, geralmente, se adota uma escala linear de 1 a 9 (SAATY, apud CARDOZO, 1977), conforme a Tabela 13.

Os pesos dos critérios são obtidos baseando-se em uma teoria bem conhecida da Álgebra Linear. Dada uma matriz de comparações, A , os pesos dos elementos comparados podem ser obtidos como o autovetor direito da matriz, v , conforme a Equação (1), onde λ é o maior autovalor da matriz.

$$A.v = \lambda.v \quad (1)$$

Tabela 13 - Escala linear de comparações. Fonte: Adaptada de Saaty, apud CARDOZO, 1977.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Fraca importância de um sobre outro	Experiência e julgamento favorecem levemente uma atividade sobre a outra
5	Forte ou essencial importância de um sobre o outro	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre a outra
7	Demonstrada importância de um sobre o outro	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática
9	Absoluta importância de um sobre o outro	A evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é da mais alta ordem de afirmação possível
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	

A Tabela 13 define a importância de determinados critérios dependendo do consumidor ou tomador de decisão.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Os relatórios de desempenhos de um mesmo produto podem variar dependendo do local onde foram realizados os testes de desempenho. No trabalho despreza-se essas diferenças.

A comparação só deve restringir ao produto em si, excluindo assim as características dos fornecedores dos produtos, pois os mesmos não foram avaliados durante a compra pelo cliente ou tomador de decisão. Além disso, desconsidera-se os painéis duplos ou triplos e não estruturais, considerando-se somente um único painel com função estrutural para a comparação.

Por meio do catálogo de seleção dos painéis de cada fornecedor, em Anexo 1, é colocado os resultados obtidos pelos relatórios de desempenho de cada painel e esses resultados serão avaliados pela Norma NBR 15.575 pela classificação S, M e I, Superior, Mínimo e Intermediário, respectivamente, em cada item de avaliação. Vale ressaltar que na Norma não possui todos os itens de desempenho com notas S, M ou I, então nesse caso, vai depender do bom senso do tomador de decisão em relação à Norma NBR 15.575 para colocar as notas. Esses itens são subcritérios de cada critério, seja técnico, econômico e socioambiental. Depois, em cada item é avaliado concedendo-lhe notas escolhidas de 0 a 1 pelo tomador de decisão a fim de determinar a nota final de cada critério, seja técnico, econômico e socioambiental com a classificação T, E e SA, respectivamente. Um exemplo, se for S (superior), a nota será o máximo possível para o seguinte item, ou seja, nota 1 ou 0,9, se for I (inferior), a nota será o mínimo possível, ou seja, 0 ou 0,1 dependendo do tomador de decisão ou certas preferências do consumidor. Essas preferências do consumidor não implicam na escolha de maneira técnica e sim no objetivo final, ou seja, se quer maior isolamento acústico ou térmico, entre outros. Com essas informações, o tomador de decisão decide aumentar ou diminuir as notas de cada itens dos seguintes critérios técnicos, econômicos e socioambientais que julgar importantes atendendo preferências do consumidor ou não.

Na prática, nem sempre é fácil adotar tais critérios ao se adquirir um produto, e uma das barreiras mais comuns é a falta de informação e de experiência do consumidor para fazer a comparação das características de um produto específico.

Primeiramente devem-se definir os itens que serão comparados para auxiliar na escolha das alternativas. Com os itens definidos, monta-se a Matriz de Prioridades de Itens como mostra a Tabela 14, tendo como base a regra sugerida por (SAATY, 1991): preenche-se

a matriz comparando-se os itens que aparecem na coluna da esquerda em relação às características que aparecem na linha superior. Para simplificação chamaremos os itens ou subcritérios de I1 e I2, por tanto, se os itens a serem comparados, I1 e I2, forem iguais em importância, coloca-se o valor 1; se I1 for um pouco mais importante do que I2, colocar-se o valor 3; se I1 for muito mais importante do que I2, coloca-se o valor 5; se I1 for claramente ou muito fortemente mais importante do que I2, coloca-se o valor 7; se I1 for absolutamente mais importante do que I2, coloca-se o valor 9. Qualquer relação entre os critérios I1 e I2 intermediária às relações de importância apresentadas, deve ser dado o valor intermediário correspondente.

Como a Tabela 14 mostra, um elemento é igualmente importante quando comparado com ele próprio, isto é, onde a linha 1 encontra a coluna 1, na posição (1,1), coloca-se 1. Logo, a diagonal principal de uma matriz deve consistir em 1. Se os valores são obtidos comparando-se I1 com I2, quando há a comparação de I2 com I1 na matriz os valores são, por tanto, os recíprocos apropriados 1, 1/3, ..., ou 1/9 (SAATY, 1991).

Tabela 14 - Matriz de Prioridades de Itens. Fonte: elaborada pelo autor.

Itens	I1	I2	I3	I4	Autovetor peso (Wt)
I1	1	3	...	...	W1
I2	1/3	1	...	...	W2
I3	...	...	1	...	W3
I4	...	...	...	1	W4

Os resultados da intensidade de importância fazem parte da subjetividade que será transformada em objetividade expressando em autovetor peso Wt. A alteração dos pesos de cada item é realizada dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização), e posteriormente somando-se os elementos em cada linha resultante e dividindo-se esta soma pelo número de elementos na linha (SAATY, 1991).

Para descrever a equação da nota final do critério técnico, econômico e socioambiental:

$$C1 = I1.W1 + I2.W2 + \dots + It.Wt;$$

C1 é um critério que contém vários subcritérios ou itens, nesse caso, It. Em que t é o número de cada item.

A Tabela 14 é aplicada para itens de cada critério. Depois dessa etapa, será aplicado o mesmo modelo da Tabela 14 para critérios como mostra a Tabela 15.

Tabela 15 - Matriz de Prioridades de Critérios. Fonte: elaborada pelo autor.

Critério	C1	C2	C3	Autovetor peso (Zt)
C1	1	3	...	Z1
C2	1/3	1	...	Z2
C3	...	...	1	Z3

A Tabela 15 define a prioridade dos seguintes critérios C1, C2 e C3 dependendo da situação do projeto e capital disponível. Trata-se de uma segunda etapa do modelo de tomada de decisão a fim de decidir o que é mais importante de modo geral, ou seja, o preço final vai importar mais no fim? Ou o aspecto socioambiental pode ser mais importante? Esse modelo aliado com o conhecimento por parte do tomador de decisão ou até mesmo da preferência do cliente se depender daquele, pode influenciar na Tabela 15.

Por fim, tem-se a última etapa, o ranking de notas finais de cada alternativa avaliada. As notas finais das alternativas são obtidas multiplicando-se a matriz **D**, que contém as notas nos 4 critérios para cada alternativa, pelo vetor pesos da Tabela 15. Como resultado obtém-se o vetor de decisão **x**.

Tabela 16 - Matriz decisão, vetor pesos e vetor decisão. Fonte: elaborada pelo autor.

D	Nota C1	Nota C2	Nota C3		Vetor pesos W		Nota final - Vetor x
Alternativa a	C1a	C2a	C3a	·	Z1	=	xa
Alternativa b	C1b	C2b	C3b		Z2		xb
Alternativa c	C1c	C3c	C3c		Z3		xc
Alternativa d	C1d	C4d	C4d				xd

Simplificadamente, podemos obter a nota final (x) de uma determinada alternativa **m** pela equação abaixo:

$$x_m = Z1.C1m + Z2.C2m + Z3.C3m$$

A alternativa que obter maior nota será a mais viável. Mas antes de realizar tais procedimentos, as alternativas terão que passar pelos critérios de caráter eliminatórios para continuar com o procedimento, pois uma vez reprovado pelo critério eliminatório não haveria motivos para usar o método aplicado.

4. RESULTADOS

4.1. Catálogo dos fornecedores de painéis cimentícios

Os Anexos 1, 2 e 3 mostram catálogos de informações técnicas, econômicas e socioambientais de empresa A, B e C respectivamente como objetos de estudo para a comparação por meio do método multicritério de tomada de decisão.

Nesse presente trabalho, a tabela é preenchida de acordo com o fornecedor, exemplo, a empresa A, com nome do produto, alternativa a. Este fornecedor situa-se a 200 km do local do comprador. Com esta tabela poderá catalogar informações técnicas, econômicas e socioambientais de cada fornecedor e posteriormente conceder notas para cada item ou subcritério da tabela 17 no modelo de tomada de decisão.

4.2. Proposta para um modelo de decisão baseado no método multicritério AHP

O método do presente trabalho visa uma comparação de desempenhos técnicos, socioambientais e custos de diferentes materiais de outras empresas pelo método multicritério de tomada de decisão AHP, a fim de decidir qual é o melhor custo/benefício para o cliente ou empresa.

4.2.1. Critérios de avaliação

Antes de seguir o procedimento, é preciso passar pelos itens/subcritérios de caráter eliminatório.

Tabela 17 - Itens/subcritérios de caráter eliminatórios. Fonte: elaborada pelo autor.

Critérios	Perguntas	Notas
Conformidade Legal (AS1)	Empresa é formal (CNPJ válido)?	Caráter eliminatório
Licença Ambiental (AS2)	Possui Licença Ambiental concedida pelo órgão ambiental estadual?	Caráter eliminatório
Questões sociais (AS3)	Empresa respeita a legislação trabalhista não empregando trabalho infantil, trabalho escravo ou trabalho em condições precárias de higiene, com jornadas excessivas e sem alimentação?	Caráter eliminatório

Se uma das respostas for negativa para as três perguntas da Tabela 17, a alternativa será eliminada partindo para outra opção dando a seguir o mesmo processo. Ao contrário, prosseguir o procedimento de aplicação do modelo. Os itens adotados foram divididos em três critérios: técnicos, econômicos e socioambientais conforme mostrado na Tabela 18.

Tabela 18 - Itens/subcritérios para seleção dos painéis delgados de base cimentícia. Fonte: elaborada pelo autor.

Critério	Itens/Subcritérios	Definição
Técnicos	Impactos de corpo mole	Houve ocorrência de ruína ou fissuras quando aplicada os 480 joules (J) de energia no impacto para multpisos? E os 240 joules para casas térreas?
	Impactos de corpo duro	Houve ocorrência de ruína ou fissuras quando aplicada os 3,75 joules (J) de energia no impacto? Qual a profundidade das moças (p)?
	Desempenho térmico	Qual é a capacidade térmica dos painéis (kj/m ² K)?
	Desempenho acústico	Qua é a capacidade de isolamento acústico (dB)?
	Estanqueidade à água	Qual a porcentagem de estanqueidade à água (%) ?
	Ação do calor e choque térmico	Houve ocorrências de falhas nos painéis ?
	Peças suspensas	Houve ocorrências de fissuras? Que carga foi aplicada na peça (N)?
	Resistência ao fogo	Qual tempo máximo de resistência ao fogo (min) ?
Econômicos	Durabilidade	Qual é a vida útil dos painéis (anos) ?
	Custo	Preço unitário dos painéis (em R\$/un) ?
	Proximidade do fornecedor	Distância do fornecedor/fabricante ao local da obra (Km) ?
Socioambientais	Prazo de entrega	Qual o prazo para entregar os produtos (dias) ?
	Conformidade Legal	Empresa é formal (CNPJ válido)? Possui certidões negativas de débitos?
	Licença Ambiental	Possui Licença Ambiental concedida pelo órgão ambiental estadual?
	Questões sociais	Empresa emprega trabalho infantil, trabalho escravo ou trabalho em condições precárias de higiene, com jornadas excessivas e sem alimentação?
	Qualidade e normas técnicas do produto	O fornecedor está na lista de empresas qualificadas pelo PBQP-H?

Responsabilidade Socioambiental	A empresa possui CIPA, serviços de segurança e de medicina de trabalho de acordo com o perfil e número de funcionário?
	Possui certificação ISO14001 ou outro Sistema de Gestão Ambiental?
	A empresa já realizou análise de ciclo de vida de seus produtos?
	A empresa possui política sobre medidas reparadoras em resposta às reclamações e manifestações da comunidade?
	A empresa possui uma carta de princípios éticos ou uma política socioambiental?
Propaganda Enganosa	Omite os problemas ambientais ou eventuais limitações de produto.

4.2.2 Modelo de tomada de decisão

Para permitir o preenchimento da matriz de decisão cada alternativa deve ser avaliada com relação aos critérios definidos no item 4.2.1, obtendo uma nota em cada item/subcritério. O sistema de pontuação foi desenvolvido através de respostas a questionários que atribuem notas de 0 a 1 para cada item/subcritério, conforme mostrado a seguir.

De modo a definir-se o autovetor pesos w com relação aos itens/subcritérios, estes foram comparados dois a dois, conforme o método AHP e a escala linear de Saaty, preenchendo-se assim uma matriz de comparação. Na sequência o autovetor da matriz é encontrado e normalizado, obtendo-se w .

4.3 Empresa A

Empresa de grande porte, atua no Brasil inteiro, situa-se a 1350 km do comprador. Catálogo em Anexo 1.

4.3.1 Pontuação no critério técnico (T):

Como mostra a Tabela 19, serão apresentadas as perguntas juntamente com as possíveis respostas e notas preestabelecidas da parte das características técnicas dos painéis cimentícios.

Tabela 19 - Questionário para atribuição de notas no critério social. Fonte: elaborada pelo autor.

Crítérios	Perguntas	Notas	Nota final
Impactos de corpo mole (T1)	Houve ocorrência de ruína ou fissuras quando aplicada os 480 joules (J) de energia no impacto para multipisos? E os 240 joules para casas térreas?	Para multipisos: Sim - T1 = 0; Poucas, quase impeceptíveis - T1 = 0,5; Não - T1 = 1; Sem resposta - T1 = 0,1; ... Para casas térreas: Sim - T1 = 0; Poucas, quase impeceptíveis - T1 = 0,5; Não - T1 = 1; Sem resposta - T1 = 0,1;	T1
Impactos de corpo duro (T2)	Houve ocorrência de ruína ou fissuras quando aplicada os 3,75 joules (J) de energia no impacto? Qual a profundidade das mossas (p)? (Mossas: sinal deixado por pancada).	Sim, $p > 5\text{mm}$ - T2 = 0; Poucas, quase impeceptíveis, $p \leq 5\text{mm}$ - T2 = 0,5; Não, $p \leq 2\text{mm}$ - T2 = 1; Sem resposta - T2 = 0,1;	T2
Desempenho térmico (T3)	Qual é a capacidade térmica dos painéis ($\text{kJ/m}^2\text{K}$)?	Para zona 8: sem requisito Para zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7: ≥ 130 - T3 = 1; < 130 - T3 = 0; Sem resposta - T3 = 0,1;	T3
Desempenho acústico (T4)	Qual é a capacidade de isolamento acústico (dB)? (Rw: índice de redução sonora ponderada)	$\geq 30\text{ dB}$ - T4 = 1; $\geq 25\text{ dB}$ - T4 = 0,6; $\geq 20\text{ dB}$ - T4 = 0,3; Sem resposta - T4 = 0,1;	T4
Estanqueidade à água (T5)	Qual a porcentagem de estanque à água (%) ?	0% - T5 = 1; $0\% < \text{porcent.} < 40\%$ - T5 = 0,5; $> 40\%$ - T5 = 0; Sem resposta - T5 = 0,1;	T5

Ação do calor e choque térmico (T6)	Houve ocorrências de falhas nos painéis ?	Sim Poucas, quase impeceptíveis Não Sem resposta	- T6 = 0; - T6 = 0,5; - T6 = 1; - T6 = 0,1;	T6
Peças suspensas (T7)	Quanta carga foi aplicada na peça (N)? Houve ocorrências de fissuras? (p/ dois ptos de fixação)	0,8N - ocorrências de fissuras toleráveis - T7 - 0,3; 1N - ocorrências de fissuras toleráveis - T7 - 0,7; 1,2N - Ocorrências de fissuras toleráveis - T7 - 1; Sem resposta - T7 = 0,1;		T7
Resistência ao fogo (T8)	Quanto tempo máximo de resistência ao fogo?	< 30 min ≥ 30 min Sem resposta	- T8 = 0; - T8 = 1; - T8 = 0,1;	T8
Durabilidade (T9)	Qual é a vida útil dos painéis (anos)?	< 40 anos 40 anos < durab. < 50 anos 50 anos < durab. < 60 anos > 60 anos Sem resposta	- T9 = 0; - T9 = 0,5; - T9 = 0,7; - T9 = 1; - T9 = 0,1;	T9

A grande vantagem do método AHP é permitir que o usuário atribua notas relativas para múltiplos itens/subcritérios, ou múltiplas alternativas para um dado critério, de forma intuitiva, ao mesmo tempo em que realiza uma comparação par a par entre os mesmos. Isso permite que, mesmo quando duas variáveis são incomparáveis, por exemplo, Impactos de corpo mole com Durabilidade, uma não tem a ver com a outra, mas pode-se atribuir a importância de uma em relação à outra. Por meio de conhecimentos e a experiência dos tomadores de decisão, pode-se reconhecer qual dos itens é mais importante (SAATY, 1991).

A Tabela 20 apresenta um modelo de Matriz de Prioridades para facilitar a apresentação de como é realizada a comparação entre os itens.

Tabela 20 - Matriz de ponderação dos itens/subcritérios técnicos e respectivo autovetor pesos.
Fonte: elaborada pelo autor.

	Impactos de corpo mole	Impactos de corpo duro	Desempenho térmico	Desempenho acústico	Estanqueidade à água	Ação do calor e choque térmico	Peças suspensas	Resistência ao fogo	Durabilidade	Autovetor Pesos Wt (autovetor normalizado)
Impactos de corpo mole (T1)	1	7	3	1/3	3	3	1/3	7	7	0,157
Impactos de corpo duro (T2)	1/7	1	1/3	5	7	1/5	9	5	1/7	0,115
Desempenho térmico (T3)	1/3	3	1	9	5	1/9	1/3	1/9	7	0,123
Desempenho acústico (T4)	3	1/5	1/9	1	1/5	3	3	3	7	0,127
Estanqueidade à água (T5)	1/3	1/7	1/5	5	1	1/3	1/3	1/3	1/7	0,041
Ação do calor e choque térmico (T6)	1/3	5	9	1/3	3	1	3	7	1/7	0,127
Peças suspensas (T7)	3	1/9	3	1/3	3	1/3	1	1/3	1/9	0,073
Resistência ao fogo (T8)	1/7	1/5	9	1/3	3	1/7	3	1	1/3	0,072
Durabilidade (T9)	1/7	7	1/7	1/7	7	7	9	3	1	0,164

A tabela 20 é determinada pelo tomador de decisão e também pelo cliente que quer comprar o produto com certas características, como um melhor isolamento termo acústico ou com boa resistência mecânica. A tabela combina dois itens, com isso obtém intensidades de importância de 1, 3, 5, 7 e 9, quanto maior a nota maior será a sua importância em relação às características dos painéis para o consumidor.

A nota total de uma determinada alternativa com relação ao critério técnico será:

$$T = w_{T1}.T1 + w_{T2}.T2 + w_{T3}.T3 + w_{T4}.T4 + w_{T5}.T5 + w_{T6}.T6 + w_{T7}.T7 + w_{T8}.T8 + w_{T9}.T9$$

$$T = 0,157.1,0 + 0,115.0,5 + 0,123.1,0 + 0,127.1,0 + 0,041.0,5 + 0,127.1,0 + 0,073.0,1 + 0,072.1,0 + 0,164.1,0$$

$$T = 0,921$$

4.3.2 Pontuação no critério econômico (E):

Nesse quesito reside as características econômicas dos painéis cimentícios considerando o custo unitário, proximidade do fornecedor e o prazo de entrega ao consumidor.

Tabela 21 Questionário para atribuição de notas no critério econômico. Fonte: adaptada pela CARDOZO, 2014.

Item/subcritério	Perguntas	Notas	Nota final
Custos (E1)	Preço unitário dos painéis (em R\$/un)?	P/ chapas de 10mm R\$<70 - E1 = 1; 70<R\$<90 - E1 = 0,5; R\$>90 - E1 = 0,2; P/ chapas de 12mm R\$<80 - E1 = 1; 80<R\$<100 - E1 = 0,5; R\$>100 - E1 = 0,2;	E1
Proximidade do fornecedor (E2)	Distância do fornecedor/fabricante ao local da obra (km)?	Dist < 200 - E2 = 1; 200 < Dist < 500 - E2 = 0,8; 500 < Dist < 1000 - E2 = 0,6; 1000 < Dist < 2000 - E2 = 0,4; Dist > 2000 - E2 = 0,2;	E2
Prazo de entrega (E3)	Quanto irá demorar para entregar os produtos (dias)?	< 3 dias - E3 = 1; 3 dias < tempo < 7 dias - E3 = 0,5; > 7 dias - E3 = 0;	E3

O item proximidade do fornecedor (E2) é relevante por se tratar do custo do frete encarecendo o custo final. Também tem um lado relevante no aspecto ambiental, quanto mais longe mais se queima os combustíveis fósseis prejudicando o meio ambiente. Impacto a ser minimizado pela seleção de empresas com processo produtivo próximo ao local de aplicação (CBCS, 2014).

Tabela 22 - Matriz de ponderação dos itens econômicos e respectivo autovetor pesos. Fonte: elaborada pelo autor.

	Custos (E1)	Proximidade do fornecedor (E2)	Prazo de entrega (E3)	Autovetor Pesos Wt (autovetor normalizado)
Custos (E1)	1	7	5	0,697
Proximidade do fornecedor (E2)	1/7	1	1/5	0,072
Prazo de entrega (E3)	1/5	5	1	0,232

A nota total de uma determinada alternativa com relação ao critério econômico será:

$$E = 0,697.E1 + 0,072.E2 + 0,232.E3;$$

$$E = 0,697.1,0 + 0,072.0,2 + 0,232.0,0;$$

$$E = 0,7114$$

4.3.3 Pontuação no critério socioambiental (SA):

Nessa pontuação é um pouco mais complexo pois pode envolver tanto para produtos quanto para o fornecedor. No escopo do trabalho envolve somente para o fornecedor no quesito critério socioambiental, que vai desde o aspecto ambiental até responsabilidade social.

Tabela 23 - Questionário para atribuição de notas no critério socioambiental. Fonte: elaborada pelo autor.

Itens	Perguntas	Notas	Nota final
Conformidade Legal	Empresa é formal (CNPJ válido)?	Caráter eliminatório	-
Licença Ambiental	Possui Licença Ambiental concedida pelo órgão ambiental estadual?	Caráter eliminatório	-
Questões sociais	Empresa emprega trabalho infantil, trabalho escravo ou trabalho em condições precárias de higiene, com jornadas excessivas e sem alimentação?	Caráter eliminatório	-
Qualidade e normas técnicas do produto (SA1)	O fornecedor está na lista de empresas qualificadas pelo PBQP-H?	Sim - SA1 = 1 Não - SA1 = 0,2	SA1
Responsabilidade Socioambiental (SA2)	A empresa possui CIPA, serviços de segurança e de medicina de trabalho de acordo com o perfil e número de funcionário?	Sim - SA2a = 1 Não - SA2a = 0 Sem resposta – SA2a = 0,1	SA2 = SA2a + SA2b + SA2c + SA2d + SA2e
	Possui certificação ISO14001 ou outro Sistema de Gestão Ambiental?	Sim - SA2b = 1 Não - SA2b = 0 Sem resposta – SA2b = 0,1	
	A empresa já realizou análise de ciclo de vida de seus produtos?	Sim - SA2c = 1 Não - SA2c = 1 Sem resposta – SA2c = 0,1	
	A empresa possui política sobre medidas reparadoras em resposta à reclamações e manifestações da comunidade?	Sim - SA2d = 1 Não - SA2d = 0 Sem resposta – SA2d = 0,1	

	A empresa possui uma carta de princípios éticos ou uma política socioambiental?	Sim - SA2e = 1 Não - SA2e = 0 Sem resposta – SA2e = 0,1	
Propaganda Enganosa (SA3)	Omite os problemas ambientais ou eventuais limitações de produto?	Sim - SA3 = 0; Sim, em alguns pontos - SA3 = 0,3; Não - SA3 = 1;	SA3

Tabela 24 - Matriz de ponderação dos itens socioambientais e respectivo autovetor pesos.
Fonte: elaborada pelo autor.

	Qualidade e normas técnicas do produto (SA1)	Responsabilidade Socioambiental (SA2)	Propaganda Enganosa (SA3)	Vetor Pesos Wt (autovetor normalizado)
Qualidade e normas técnicas do produto (SA1)	1	7	5	0,675
Responsabilidade Socioambiental (SA2)	1/7	1	1/7	0,065
Propaganda Enganosa (SA3)	1/5	7	1	0,259

A nota total de uma determinada alternativa com relação ao critério socioambiental será:

$$SA = 0,675.SA1 + 0,065.SA2 + 0,259.SA3$$

$$SA = 0,675.SA1 + 0,065.(SA2a+SA2b+SA2c+SA2d+SA2e) + 0,259.SA3$$

$$SA = 0,675.1,0 + 0,065.(1,0 + 1,0 + 0,1 + 0,1 + 1,0) + 0,259.1,0$$

$$SA = 1,1355$$

4.4 Empresa B

Empresa de médio porte, atua no estado Paraná, situa-se a 550 km do comprador. Catálogo em Anexo 2. Continuando com o mesmo procedimento seguindo as Tabelas 19, 20, 21, 22, 23 e 24.

4.4.1 Pontuação no critério técnico (T):

A nota total de uma determinada alternativa com relação ao critério técnico será:

$$T = w_{T1}.T1 + w_{T2}.T2 + w_{T3}.T3 + w_{T4}.T4 + w_{T5}.T5 + w_{T6}.T6 + w_{T7}.T7 + w_{T8}.T8 + w_{T9}.T9$$

$$T = 0,157.1,0 + 0,115.1,0 + 0,123.0,1 + 0,127.1,0 + 0,041.1,0 + 0,127.1,0 + 0,073.0,1 + 0,072.1,0 + 0,164.0,1$$

$$\mathbf{T = 0,675}$$

4.4.2 Pontuação no critério econômico (E):

A nota total de uma determinada alternativa com relação ao critério econômico será:

$$E = 0,697.E1 + 0,072.E2 + 0,232.E3;$$

$$E = 0,697.0,5 + 0,072.0,6 + 0,232.0,0;$$

$$\mathbf{E = 0,3917}$$

4.4.3 Pontuação no critério socioambiental (SA):

A nota total de uma determinada alternativa com relação ao critério socioambiental será:

$$SA = 0,675.SA1 + 0,065.SA2 + 0,259.SA3$$

$$SA = 0,675.SA1 + 0,065.(SA2a+SA2b+SA2c+SA2d+SA2e) + 0,259.SA3$$

$$SA = 0,675.1,0 + 0,065.(1,0 + 0,5 + 0,1 + 0,1 + 1,0) + 0,259.0,0$$

$$\mathbf{SA = 0,8505}$$

4.5 Empresa C

Empresa de pequeno porte, atua só em capital, situa-se a 25 km do comprador. Catálogo em Anexo 3.

4.5.1 Pontuação no critério técnico (T):

A nota total de uma determinada alternativa com relação ao critério técnico será:

$$T = w_{T1}.T1 + w_{T2}.T2 + w_{T3}.T3 + w_{T4}.T4 + w_{T5}.T5 + w_{T6}.T6 + w_{T7}.T7 + w_{T8}.T8 + w_{T9}.T9$$

$$T = 0,157.0,5 + 0,115.0,5 + 0,123.0,0 + 0,127.0,3 + 0,041.0,5 + 0,127.1,0 + 0,073.0,1 + 0,072.1,0 + 0,164.0,0$$

$$\mathbf{T = 0,4009}$$

4.5.2 Pontuação no critério econômico (E):

A nota total de uma determinada alternativa com relação ao critério econômico será:

$$E = 0,697.E1 + 0,072.E2 + 0,232.E3;$$

$$E = 0,697.1,0 + 0,072.1,0 + 0,232.1,0;$$

$$\mathbf{E = 1,001}$$

4.5.3 Pontuação no critério socioambiental (SA):

A nota total de uma determinada alternativa com relação ao critério socioambiental será:

$$SA = 0,675.SA1 + 0,065.SA2 + 0,259.SA3$$

$$SA = 0,675.SA1 + 0,065.(SA2a+SA2b+SA2c+SA2d+SA2e) + 0,259.SA3$$

$$SA = 0,675.0,0 + 0,065.(1,0 + 0,0 + 0,0 + 0,0 + 0,0) + 0,259.0,5$$

$$\mathbf{SA = 0.1945}$$

4.6 Pontuação final do método construtivo (x):

De modo a se obter a nota final de uma determinada alternativa fez-se também a ponderação das categorias de critérios, comparados dois a dois, obtendo-se o vetor pesos das categorias.

Tabela 25 - Matriz de ponderação das categorias de critérios técnicos, econômicos e socioambientais e respectivo vetor pesos. Fonte: elaborado pelo autor.

	Técnicos	Econômicos	Sociambiental	Autovetor Pesos (Z)
Técnicos	1	1/3	1/3	0,140
Econômicos	3	1	3	0,574
Socioambiental	3	1/3	1	0,286

As notas finais das alternativas são obtidas multiplicando-se a matriz **D**, que contém as notas nos 3 critérios para cada alternativa, pelo vetor pesos acima definido. Como resultado obtém-se o vetor de decisão **x**.

Tabela 26 - Matriz decisão, vetor pesos e vetor decisão. Fonte: elaborada pelo autor.

D	Nota técnico (T)	Nota econômico (E)	Nota socioambiental (SA)		AutoVetor pesos Z	Nota final - Vetor x
Alternativa a	0,921	0,7114	1,1355	·	0,140	0,8620366
Alternativa b	0,675	0,3917	0,8505		0,574	0,5625788
Alternativa c	0,4009	1,001	0,1945		0,286	0,686327
Alternativa d	...	...	...		...	...

Simplificadamente, podemos obter a nota final de uma determinada alternativa **m** pela equação abaixo:

$$x_a = 0,140.T_a + 0,574.E_a + 0,286.SA_a;$$

$$x_a = 0,140.0,921 + 0,574.0,7114 + 0,286.1,1355;$$

$$x_a = \mathbf{0,8620366}$$

$$x_b = 0,140.0,675 + 0,574.0,3917 + 0,286.0,8505;$$

$$x_b = \mathbf{0,5625788}$$

$$x_c = 0,140.0,4009 + 0,574.1,001 + 0,286.0,1945;$$

$$x_c = \mathbf{0,686327}$$

No presente trabalho só teve um estudo de caso, a empresa A como alternativa a. Para determinar um ranking possível teria que ter pelo menos duas empresas para aplicar o modelo e aquela que obter maior nota é a melhor alternativa de modo geral.

O objetivo principal do trabalho é apresentar um modelo de decisão que pautar a escolha entre painéis cimentícios de vedação vertical, em múltiplos critérios da parte técnica, econômica e socioambiental deixando de ser uma decisão baseada apenas no menor custo. A partir da escolha de critérios baseados na definição técnica, econômica e socioambiental e nas normas, um sistema de pontuação para as alternativas é apresentado, baseado no método AHP de decisão multicritério. A pontuação final de um determinado método construtivo é obtida através da soma das notas nas categorias técnica, econômica e socioambiental, multiplicadas por pesos obtidos através de uma matriz de comparação baseada na escala linear de Saaty.

Entende-se que o trabalho realizado atingiu os objetivos a que se propôs. Normas foram consultadas e um método multicritério de tomada de decisão foi sistematizado, baseado no método multicritério adotado, de modo a obter-se um ranking de notas de cada tipo de painel fabricado por cada empresa diferente, podendo ser usado como ferramenta para a tomada de decisão do empreendedor ou consumidor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusões

É bom ressaltar que a Norma NBR 15.575/2014 vale para qualquer sistema vertical, seja de alvenaria ou painéis. O foco dessa norma é o consumidor, pois se trata de norma de desempenho e também apresenta algumas partes prescritivas por existir tabelas técnicas. No presente trabalho, o tipo de sistema vertical são painéis cimentícios para fachadas e somente isso. Existem outras formas de recombinações de painéis para formar uma parede como painéis duplos, por exemplo, painéis OSB e cimentício acoplados e outras formas de junções, possuindo suas próprias características técnicas, econômicas e socioambientais, que depende da decisão do construtor ou cliente para a determinação do projeto de construção.

A demanda da sociedade pressiona pelas soluções de melhor custo/benefício do cliente, motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais. Se manejados adequadamente, os painéis adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de novos insumos. De acordo com a legislação vigente as empresas devem buscar reduzir ao mínimo os resíduos totalmente descartados devendo priorizar a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (CARDOZO, 2014).

As possíveis opções de painéis de cada fornecedor podem ser comparadas através do modelo apresentado, de modo a se obter a mais adequada em termos de sustentabilidade, considerando-se requisitos técnicos, econômicos e socioambientais.

O presente trabalho mostra que existem fornecedores no mercado nacional que oferecem painéis de vedação vertical do ponto de vista socioambiental, e ao mesmo tempo economicamente e tecnicamente viáveis. Tais painéis permitem a construção de sistema vertical sustentável a qual, terminada sua utilização, podem ser retiradas com reaproveitamento de materiais, relocadas, ou, mesmo quando demolidas, minimizada a geração de resíduos para descarte e o consumo de recursos naturais.

O modelo de decisão apresentado permite avaliar cada característica dos painéis de vedação vertical, com relação a critérios técnicos e econômicos e também avaliar os fornecedores em relação a critério socioambiental permitindo que se faça a escolha ótima para a construção de sistemas verticais, evitando que haja subjetividade na decisão ou que esta seja baseada apenas no fator custo.

5.2. Sugestões para futuros trabalhos

A ideia pode ser melhor se fossem re combinadas com outros painéis diferentes como OSB ou de gesso ou até mesmo o mesmo painel formando um duplo, possuindo

características diferentes. Ou ao invés de variar os painéis poderia variar os métodos de tomada de decisão para um mesmo painel.

O modelo de tomada de decisão aplicado no presente trabalho pode ser usado para quaisquer produtos, seja para diferentes métodos construtivos ou para tipos de pisos.

6. REFERÊNCIAS

ARTIGAS, Laila Valduga. **Apresentação de Materiais de Construção 3**. Ministério da Educação Universidade Federal do Paraná Setor de Tecnologia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI). **Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo, ABCI/PROJETO, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15930-2/2011 - Portas de madeira para edificações. Parte 2: Requisitos**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821/2011 - Esquadrias externas para edificações**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432/2001 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14913/2011 - Fechadura de embutir – Requisitos, classificação e métodos de ensaio.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220/2003 – Desempenho térmico de edificações.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - Edificações Habitacionais – Desempenho, parte 4: Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas – SVVIE.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9442/1988 - Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - Método de ensaio**

BÔAS, F. V., **apresentação da TECNISA**. São Paulo, 2013.

CARDOZO, Camila Verzenhassir. Monografia – **“Modelo multicritério de decisão entre sistemas construtivos sustentáveis para edificações provisórias”**. Curitiba, 2014.

CBCA - **Centro Brasileiro da Construção em Aço**. Rio de Janeiro, 2004.

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. São Paulo, 2014.
http://www.cbcs.org.br/selecaoem6passos/passo3.php?NO_LAYOUT=true. Visto no dia 22/08/2014

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria Civil, 2013 – **Desempenho de Edificações Habitacionais – Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.**

CUNHA, C. E. L. da, **Apresentação em power point pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, Arquitetura e Urbanismo.** São Paulo, 2010.

ÉBOLI, Eduardo, 24/07/2013 <http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-ultimas-ler.php?cod=5899>. Visto em 05/03/2014.

ETERNIT - <http://blogdaeternit.com.br/construcao-civil/afinal-o-que-e-crfs/>, 2011.
Grande História Universal, 2006, editora Fólio.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 717-1/2013 - Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation

LAMEIRAS, Rodrigo de Melo. Mestrado – “Contribuição ao estudo das propriedades dos materiais cimentícios reforçados com fibras de vidro (Glass Fibre Reinforced Cement – GRC).

LAROCA, Cristiane. Desenvolvimento de protótipo de habitação social em madeira de reflorestamento e avaliação do desempenho termo-acústico. 2007. Tese. UTFPR – Engenharia Florestal, Curitiba, 2007.

NASCIMENTO, Otávio L. **Manual de Construção em Aço.** Belo Horizonte, 2003.

PRIBERAM, Dicionário. <http://www.priberam.pt/dlpo/in%20loco>. Visto no dia 15/03/2014.

REIS, Pâmela. **Painéis pré-moldados x estrutura moldada in loco.**

REVISTA DA MADEIRA – edição N° 71 maio de 2003.
http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=323&subject=Cimento%2

0-%20Madeira&title=Pain%E9is%20de%20cimento-madeira:%20caracter%EDsticas%20e%20aplica%E7%F5es. Visto no dia 25/03/2014.

SAATY, Thomas L. **A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures**. *Journal Of Mathematical Psychology*, v.15, i.3, p. 234-281, Jun. 1977

SALGADO, Mônica Santos. **Racionalização da construção: caminhos para habitação popular no Município do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) PROARQ/UFRJ, 1992.

SALOMON, Valério Antonio Pamplona. **Contribuições para validação de tomada de decisão com múltiplos critérios**. 2010. 68f. Tese (Livre-Docência). – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010. Disponível em <http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfValerioSalomon367/tese-ld.pdf>.

SILVA, Maristela Gomes da, Painéis de vedação – **Série Manual de Construção em Aço**, IBS/CBCA, Rio de Janeiro, 2003.

TRENTIM, Mário. Tomada de decisão em projetos – o método AHP. **Blog Mundo Project Management**, 2012. Disponível em < <http://blog.mundopm.com.br/2012/05/02/tomada-de-decisao-em-projetos---metodo-ahp/>>. Acesso em 09 Abr. 2014.

ANEXO 1 - Catálogo de informações técnicas, econômicas e socioambientais fornecedor de painéis. Fonte: elaborada pelo autor.	63
ANEXO 2 - Catálogo de informações técnicas, econômicas e socioambientais fornecedor B de painéis. Fonte: elaborada pelo autor.	65
ANEXO 3 - Catálogo de informações técnicas, econômicas e socioambientais fornecedor C de painéis. Fonte: elaborada pelo autor.	67

ANEXO 1 - Catálogo de informações técnicas, econômicas e socioambientais fornecedor de painéis. Fonte: elaborada pelo autor.

Fornecedor

				A	
				Produto: alternativa a	
				Espessura	
				10mm	12mm
				2,40m (comp.)	2,40m (comp.)
PAINÉIS EXTERNOS (FACHADAS)	TÉCNICOS	Estanqueidade à água	-	5%	5%
		Ação do calor e choque térmico	-	Nenhuma alteração	Nenhuma alteração
		Resistência ao fogo	-	90 a 120 min	90 a 120 min
		Reação ao fogo	-	Incombustível	Incombustível
		Peças suspensas	-	Sem resposta	Sem resposta
		Impactos de corpo mole	Edifícios multipiso	Não	Não
			Casas térreas	Não	Não
		Impactos de corpo duro	Edifícios multipiso	Poucas	Poucas
			Casas térreas	Poucas	Poucas
	Desempenho térmico	-	140 kJ/m ² K	155kJ/m ² K	
	Desempenho acústico	-	4,5 dB/mm	5,9 dB/mm	
	Durabilidade	-	70 anos	70 anos	
	ECONÔMICOS	Custo (R\$/un)	-	R\$ 65,50	R\$ 81,80
		Prazo de entrega	-	14 a 21 dias	14 a 21 dias dias
		Frete (km)	-	1350	1350
Socioambientais	Empresa é formal (CNPJ válido)?		Sim	Sim	
	Possui Licença Ambiental concedida pelo órgão ambiental estadual?		Sim	Sim	
	Empresa respeita a legislação trabalhista não empregando trabalho infantil, trabalho escravo ou trabalho em condições precárias de higiene, com jornadas excessivas e sem alimentação?		Sim	Sim	
	O fornecedor está na lista de empresas qualificadas pelo PBQP-H?		Sim	Sim	
	A empresa possui CIPA, serviços de segurança e de medicina de trabalho de acordo com o perfil e número de funcionário?		Sim	Sim	

	Possui certificação ISO14001 ou outro Sistema de Gestão Ambiental?		Sim	Sim
	A empresa já realizou análise de ciclo de vida de seus produtos?		Sim	Sim
	A empresa possui política sobre medidas reparadoras em resposta à reclamações e manifestações da comunidade?		Sim	Sim
	A empresa possui uma carta de princípios éticos ou uma política socioambiental?		Sim	Sim
	Omite os problemas ambientais ou eventuais limitações de produto?		Não	Não

ANEXO 2 - Catálogo de informações técnicas, econômicas e socioambientais fornecedor B de painéis. Fonte: elaborada pelo autor.

Fornecedor

				B	
				Produto: alternativa b	
				Espessura	
				10mm	12mm
				2,40m (comp.)	2,40m (comp.)
PAINÉIS EXTERNOS (FACHADAS)	TÉCNICOS	Estanqueidade à água	-	0%	0%
		Ação do calor e choque térmico	-	Nenhuma alteração	Nenhuma alteração
		Resistência ao fogo	-	90 a 120 min	90 a 120 min
		Reação ao fogo	-	Incombustível	Incombustível
		Peças suspensas	-	Sem resposta	Sem resposta
		Impactos de corpo mole	Edifícios multipiso	Não	Não
			Casas térreas	Não	Não
		Impactos de corpo duro	Edifícios multipiso	Não	Não
			Casas térreas	Não	Não
	Desempenho térmico	-	Sem resposta	Sem resposta	
	Desempenho acústico	-	3,35 dB/mm	4,78 dB/mm	
	Durabilidade	-	Sem resposta	Sem resposta	
	ECONÔMICOS	Custo (R\$/un)	-	R\$ 75,56	R\$ 89,00
		Prazo de entrega	-	7 a 14 dias	7 a 14 dias dias
		Frete (km)	-	550	550
Socioambientais	Empresa é formal (CNPJ válido)?		Sim	Sim	
	Possui Licença Ambiental concedida pelo órgão ambiental estadual?		Processo em andamento junto com a Secretaria de Meio Ambiente - PR	Processo em andamento junto com a Secretaria de Meio Ambiente - PR	
	Empresa respeita a legislação trabalhista não empregando trabalho infantil, trabalho escravo ou trabalho em condições precárias de higiene, com jornadas excessivas e sem alimentação?		Sim	sim	
	O fornecedor está na lista de empresas qualificadas pelo PBQP-H?		Sim	sim	
	A empresa possui CIPA, serviços de segurança e de medicina de trabalho de acordo com o perfil e número de funcionário?		Sim	sim	

	Possui certificação ISO14001 ou outro Sistema de Gestão Ambiental?		Processo em andamento junto com a Secretaria de Meio Ambiente - PR	Processo em andamento junto com a Secretaria de Meio Ambiente - PR
	A empresa já realizou análise de ciclo de vida de seus produtos?		Sem resposta	Sem resposta
	A empresa possui política sobre medidas reparadoras em resposta à reclamações e manifestações da comunidade?		Sem resposta	Sem resposta
	A empresa possui uma carta de princípios éticos ou uma política socioambiental?		Sim	Sim
	Omite os problemas ambientais ou eventuais limitações de produto?		Sim	Sim

ANEXO 3 - Catálogo de informações técnicas, econômicas e socioambientais fornecedor C de painéis. Fonte: elaborada pelo autor.

Fornecedor

				C	
				Produto: alternativa c	
				Espessura	
				10mm	12mm
				2,40m (comp.)	2,40m (comp.)
PAINÉIS EXTERNOS (FACHADAS)	TÉCNICOS	Estanqueidade à água	-	10%	10%
		Ação do calor e choque térmico	-	Nenhuma alteração	Nenhuma alteração
		Resistência ao fogo	-	30 a 90 min	30 a 90 min
		Reação ao fogo	-	Incombustível	Incombustível
		Peças suspensas	-	Sem resposta	Sem resposta
		Impactos de corpo mole	Edifícios multipiso	Poucas	Poucas
			Casas térreas	Poucas	Poucas
		Impactos de corpo duro	Edifícios multipiso	Poucas	Poucas
			Casas térreas	Poucas	Poucas
	Desempenho térmico	-	90 kj/m ² K	102kj/m ² K	
	Desempenho acústico	-	2,2 dB/mm	2,9 dB/mm	
	Durabilidade	-	30 anos	30 anos	
	ECONÔMICOS	Custo (R\$/un)	-	R\$ 45,35	R\$ 55,00
		Prazo de entrega	-	1 a 2 dias	1 a 2 dias
		Frete (km)	-	Sem frete/25 km	Sem frete
Socioambientais	Empresa é formal (CNPJ válido)?		Sim	Sim	
	Possui Licença Ambiental concedida pelo órgão ambiental estadual?		Sim	Sim	
	Empresa respeita a legislação trabalhista não empregando trabalho infantil, trabalho escravo ou trabalho em condições precárias de higiene, com jornadas excessivas e sem alimentação?		Sim	Sim	
	O fornecedor está na lista de empresas qualificadas pelo PBQP-H?		Não	Não	
	A empresa possui CIPA, serviços de segurança e de medicina de trabalho de acordo com o perfil e número de funcionário?		Sim	Sim	

	Possui certificação ISO14001 ou outro Sistema de Gestão Ambiental?		Não	Não
	A empresa já realizou análise de ciclo de vida de seus produtos?		Não	Não
	A empresa possui política sobre medidas reparadoras em resposta à reclamações e manifestações da comunidade?		Não	Não
	A empresa possui uma carta de princípios éticos ou uma política socioambiental?		Não	Não
	Omite os problemas ambientais ou eventuais limitações de produto?		Em alguns pontos	Em alguns pontos