

ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA ESCOLHA DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO: estudo de caso em três obras de Pernambuco.

MULTICRITARY APPROACH FOR CHOOSING CONSTRUCTIVE VENEERING MASONRY SYSTEMS: case study in three works in Pernambuco.

Rayara Sirlei Mauricio de Oliveira

rayara.sirlei@gmail.com

Annielli Araújo Rangel Cunha

annielli.rangel@yahoo.com.br

RESUMO

O setor da construção civil, especialmente em períodos de crise, enfrenta desafios e cobranças na busca por aumentar a produtividade, diminuir os custos e cumprir prazos de entrega cada vez menores. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo aplicar um modelo multicritério híbrido, em três empreendimentos, para escolha do sistema construtivo de alvenaria de vedação, sendo os sistemas comparados: o de bloco cerâmico, o de bloco de concreto sem função estrutural e o de drywall. A partir da revisão bibliográfica foi desenvolvido um questionário, respondido pelos gestores de cada construção, para auxiliar na identificação de critérios e sua respectiva importância, para diferentes segmentos de obras civis, sobre a escolha de sistemas construtivos. Os dados obtidos em entrevista foram utilizados no modelo híbrido proposto de apoio à decisão, que se baseia em dois métodos multicritérios: o AHP (Analytic Hierarchy Process) e o PROMETHEE II. Essa aplicação permitiu priorizar os critérios na escolha do sistema de alvenaria de vedação e selecionar a alternativa mais adequada. A contribuição desse trabalho é auxiliar gestores, na construção civil, a conhecer e aplicar métodos multicritério antes do início da obra, na fase de planejamento, com a finalidade de minimizar as chances de problemas oriundos da escolha tecnológica inadequada para o tipo da obra. Com isso, possibilitar uma decisão mais assertiva por estar alinhada aos objetivos estratégicos do empreendimento.

Palavras-chave: Alvenaria de vedação. Construção civil. Modelo híbrido de apoio à decisão. AHP. PROMETHEE II.

ABSTRACT

The civil construction sector, especially in times of crisis, faces challenges and demands in the quest to increase productivity, lower costs and meet shorter delivery times. In this context, the present work aims to apply a hybrid multicriteria model, in three projects, to choose the construction system of masonry of fence, being the systems compared: the one of ceramic block, the one of concrete block without structural function and the one of drywall. From the bibliographic review, a questionnaire was developed, answering the managers of each construction, to assist in the identification of criteria and their respective importance, for different segments of civil works, on the choice of construction systems. The data obtained in an interview were used in the proposed hybrid decision support model, which is based on two multi-criteria methods: the AHP (Analytic Hierarchy Process) and the PROMETHEE II. This application allowed to prioritize the criteria in the choice of the masonry system of fence and to select the most suitable alternative. The contribution of this work is to help managers, in the construction industry, to know and apply multicriteria methods before the beginning of the work, in the planning phase, in order to minimize the chances of problems arising from the inadequate technological choice for the type of work. With this, make possible a more assertive decision to be aligned with the strategic objectives of the enterprise.

Keywords: Masonry sealing. Construction. Hybrid Decision Support Model. AHP. PROMETHEE II.

1 INTRODUÇÃO

O processo de tomada de decisão na indústria da construção civil é de grande complexidade e a evolução tecnológica contribui ainda mais para isso. Além das tecnologias conhecidas e aplicadas pelas construtoras, é preciso monitorar tecnologias ainda não utilizadas comumente, a exemplo de concreto inteligente, contrapiso autonivelante, tinta que absorve a energia solar, tijolos inteligentes, Building Information Modeling (BIM) e etc., buscando trazer maior vantagem competitiva para as construtoras, sobretudo diante de cenários de crise enfrentados pelo setor.

A complexidade no processo de tomada de decisão ganha ainda mais força na indústria da construção, já que ela apresenta algumas peculiaridades, tais como: arranjo físico posicional; tempo elevado para produção de uma unidade do produto; produção sujeita às intempéries; o nível de padronização é de baixo a mediano; existência de uma grande variedade de insumos (em torno de 13.000 a 15.000 itens por produto executado); muitos processos ainda são artesanais com possibilidades limitadas de automatização; e existe a interferência e interdependência entre as tarefas, que as operações unitárias são executadas em paralelo, como as equipes de pedreiros, encanadores, eletricitas, marceneiros, entre outros (VIEIRA, 2006).

Entre várias etapas construtivas de uma edificação, no sistema de vedação vertical a busca se faz por soluções mais baratas, que aumentem a produtividade sem o aumento de gastos de mão de obra. Isso é um tipo de ação que necessita de um planejamento, para que se possa fazer as comparações necessárias. A atividade de planejamento impõe ao profissional, além do estudo de projetos, a análise de diversas variáveis que impactam nos processos construtivos, a identificação das produtividades consideradas no orçamento e a determinação do período necessário em cada frente ou tipo de serviço (MATTOS, 2010).

Polito (2015) ilustra um exemplo de *trade-off* no processo de decisão na escolha entre paredes de drywall em substituição à alvenaria convencional, por haver um conjunto de pontos positivos e negativos em cada sistema. Por ser uma nova tecnologia e utilizar materiais diferentes dos tradicionalmente conhecidos, possui um preço inicial mais alto que os sistemas de vedação convencionais. A falta de informação das vantagens e o receio da inovação no setor justificam seu pouco uso no segmento da construção civil. Embora as paredes de drywall aparentem maior custo, podem trazer vantagens tais como: redução de peso sobre a estrutura, redução de resíduos gerados, facilidade logística e de controle, melhoria de produtividade, facilidade proporcionada à realização das instalações, redução de mão de obra, aumento de área interna, redução de consumo de materiais de pintura e melhor desempenho técnico em relação à acústica.

Nesse contexto, destaca-se a relevância de maior atenção para a tomada de decisão, já que, geralmente, a escolha do sistema construtivo é decidida apenas de uma maneira informal, sem colocar em pauta os objetivos finais da empresa e da construção. Ou seja, a decisão é tomada por pessoas que, às vezes, nem são especializadas para tal atividade, como os incorporadores, por exemplo, e definem o processo apenas com base no que pode ser menos oneroso ou utilizam do empirismo. E no futuro, essa escolha que já não teve uma justificativa plausível, pode não ser reajustada para circunstâncias diferentes.

Já modelos formais de apoio à decisão, incluem a utilização de métodos estruturados, que sejam capazes de representar diferentes informações sobre o problema e suas inter-relações, análise sistemática de alternativas e um importante instrumento de registro e comunicação, que permite a análise e discussão com as diferentes partes envolvidas.

Como no processo de decisão na indústria na construção civil existe uma grande complexidade, uma vez que envolve grande quantidade de recursos aplicados e dificuldade de inversão das ações tomadas, o uso dos modelos formais de decisão se destacam como relevantes.

O método multicritério de apoio à decisão é uma dessas estruturas formais. E tem a função de facilitar o estudo das alternativas consideradas, onde as mesmas são avaliadas, considerando uma série de critérios, de maneira concomitante, onde intenta-se identificar uma ou um grupo de alternativa aplicável mais apropriada que resulte no melhor desempenho dos critérios considerados.

Esses métodos são indicados para utilização de decisões que são complexas, a resolução do problema é de extrema importância e quando existem muitos instrumentos em potenciais. O exemplo de escolha dos sistemas de alvenarias de vedação se encaixa nesses critérios, já que é um processo construtivo bastante relevante na construção, pois interfere diretamente em outros processos da construção civil, podendo gerar diversas patologias.

Logo, os métodos multicritérios de apoio à decisão podem ser aplicados para a escolha de qual tecnologia empregar nas alvenarias de vedação, visto que existem diversas alternativas. E dessa maneira, pode ser alcançado os diversos objetivos que foram considerados mais importantes e estratégicos para aquele empreendimento. O processo de escolha do sistema construtivo de alvenaria de vedação

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar como o processo de seleção de processos construtivos, especificamente para o caso alvenaria de vedação, pode ser conduzido sob uma ótica multicritério. Para isso, é proposto um modelo híbrido. A primeira parte utiliza o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para a análise dos pesos dos critérios. Devido a natureza não-compensatória do problema, a segunda parte é realizada a avaliação das alternativas e a indicação de uma alternativa a ser escolhida através da aplicação do método PROMETHEE II.

Segundo Turksin (2011) a utilização de partes desses dois métodos é interessante, pois pode ser utilizado os pontos fortes de ambas as metodologias combinando em uma única ferramenta MDCA. Utilizando o AHP apenas para configurar a árvore de decisão hierárquica e para determinar a ponderação de critérios e, portanto representar os trade-offs entre os critérios no PROMETHEE II, visto que este último não apresenta diretrizes formais para configuração dos pesos até agora. E por outro lado, o PROMETHEE II enriquece o AHP ao associar uma função de preferência para cada critério, fornecendo uma classificação completa das alternativas do melhor para o pior.

Nesse contexto, foi realizada, então, a aplicação do modelo em três empresas e feita uma análise comparativa do sistema de vedação vertical escolhido e os sistemas mais indicados para suas respectivas obras, considerando a aplicação do modelo híbrido proposto, usando informações obtidas através das respostas do questionário aplicado. Os sistemas de vedação vertical escolhidos para a comparação foram: o de blocos cerâmicos (convencional), o de blocos de concreto sem função estrutural e o de drywall.

Esse trabalho visa contribuir com a disseminação de técnicas que possibilitem a tomada de decisão racional, que garantam a realização de objetivos preestabelecidos e escopo, para os quais meios e recursos foram reservados, considerando critérios técnicos (desempenho, durabilidade, capacitação de mão de obra e assistência técnica) e econômicos simultaneamente.

2 MÉTODOS MULTICRÉRIOS DE APOIO À DECISÃO

O processo de tomada de decisão é muito complexo, sobretudo na construção civil, pois uma decisão envolve diversas alternativas com consequências diferentes e vários critérios que devem ser analisados. De acordo com Almeida (2010), um problema de decisão multicritério consiste numa situação, em que há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher, e essa escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si.

Na abordagem multicriteria decision analysis (MCDA) existem alguns termos importantes a serem destacados, como o conjunto de alternativas, ou seja, um conjunto de possibilidade de escolhas. Há também os atributos, que permitem diferenciar um objeto de outro através das características, e os critérios, que destacam as preferências do decisor em relação ao atributo (ALMEIDA, 2013). As estruturas de preferência são importantes para a escolha do método MCDA, uma vez que tem a função de modelagem de preferências para o decisor. Elas podem ser expressas na forma de relações binárias para estabelecer um conjunto de pares ordenados, ou seja, fazendo a comparação entre duas alternativas, com base no conhecimento técnico a priori do decisor.

Os métodos multicritérios, apesar de serem de amplo uso nas áreas da Administração e Engenharia de Produção, vem sendo utilizados na área de Engenharia Civil. A exemplo temos o trabalho de Bollella et al. (2013) que utilizaram o AHP para decisão de sistemas de lajes, o de Neumann (2008) que fez uso do PROMETHEE para ajudar na seleção de subempreiteiros, o de Alexandrini et al. (2010) que usou mapas cognitivos para estabelecer melhorias no processo de planejamento e controle de produção de obras pré-fabricadas.

Ainda temos, mais recente o Zeule e Serra (2015) que fizeram uso do Choosing by Advantages (CBA) para auxiliar na escolha do tipo de telha que seriam empregadas em instalações provisórias. Araújo et al. (2015) fizeram uma adaptação do PROMETHEE_GDSS para seleção de contratados, na qual o PROMETHEE III é utilizado nas fases de avaliação

individual e global e o trabalho de Lima et al. (2015) que propôs e avaliou um modelo de apoio a decisão para auxiliar na classificação de empresas em processos licitatórios, fazendo uso de um questionário estruturado segundo o AHP.

A seguir, é feita uma apresentação sucinta dos métodos AHP e PROMETHEE II, escolhidos para compor o modelo de apoio à decisão utilizado nesse trabalho. O modelo foi aplicado em três obras de segmentos distintos, comercial, industrial e residencial, localizadas em Pernambuco.

O AHP tem como função estabelecer a relação de comparação e dominância de preferência entre os pares de elementos estudados, quando os julgamentos desses elementos possuem subjetividade, o que se aplica na avaliação de critérios. Este método tem como objetivo definir quantitativamente a relação de dominância entre pares de elementos por meio de uma escala de razão (ENSSLIN et al., 2001). Entre as vantagens do AHP têm-se a quantificação de critérios complexos e subjetivos, possibilidade de utilização de vários critérios na análise de um problema ou no processo de alcance de um objetivo de forma hierárquica e possibilidade de verificação da consistência dos julgamentos realizados. O AHP é um método compensatório.

O PROMETHEE, é utilizado nesse modelo, pois produz uma relação de sobreclassificação valorada, com base em conceitos que podem ser interpretados de forma física ou econômica pelo decisor (ALMEIDA, 2013), além de ser um método não compensatório. Uma relação de sobreclassificação (outranking) é uma relação binária que permite ao decisor avaliar a força do caráter excessivo de uma alternativa a sobre uma alternativa b. Essa força aumenta se houver argumentos suficientes (coalizão dos critérios) para confirmar que a é, pelo menos, tão bom quanto b, enquanto não há evidências fortes para recusar essa afirmação (ALMEIDA, 2013).

Dessa forma, o método AHP foi escolhido, porque possibilita estabelecer o peso de cada critério e o PROMETHEE foi utilizado, porque possibilitou a análise multicritério das alternativas. Com isso, é possível fazer uma recomendação da alternativa mais indicada para cada obra.

2.1 Método AHP (*Analytic Hierarchy Process*)

O AHP pode ser utilizado seguindo as três etapas descritas a seguir.

(i) Definição e estruturação da hierarquia do problema, na qual são definidos os objetivos do problema, os critérios e os subcritérios a serem avaliados.

(ii) Construção das matrizes de decisão por meio de comparações par a par dos elementos estudados. Para sua construção é solicitado aos participantes da tomada de decisão a comparação par a par dos seus elementos, conforme escala previamente estabelecida.

A comparação par a par é útil para analisar a possibilidade de inconsistências, que podem ocorrer devido a erros no julgamento de valor. Supondo uma matriz de comparação entre critérios W e o peso de cada critério como sendo $(w_1; w_2; w_3... w_n)$, obtém-se a igualdade abaixo (Equação 1).

$$\begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \dots \\ nw_n \end{pmatrix} \Leftrightarrow Ww = nw \quad (1)$$

Com o objetivo de se obter peso para os critérios, é preciso encontrar uma matriz que seja o mais consistente possível. Para avaliar essa condição é usada a relação $Ww = \lambda w$, onde, se $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ são números que satisfazem a equação matricial, então λ é o autovalor da matriz W .

Se a matriz W é consistente, mas não w , pode-se resolver a igualdade acima por meio do vetor w . Assim, o problema do autovalor é dado por $Ww = \lambda w$. Cada linha da matriz W é um múltiplo de uma constante da primeira linha. Uma vez que a soma dos autovalores da matriz positiva é igual à soma dos elementos da diagonal, o autovalor é igual a n , número de ordem da matriz. Uma vez que $Ww = nw$, w é o autovetor de W correspondendo ao máximo autovalor n (ADAMCSEK, 2008)

A inconsistência de julgamentos, pode levar a condição $w_{ij} = w_{ik}w_{kj}$ não se manter, em maior ou menor grau. Mas se w_{ij} for estimado por meio de a_{ij} (relação de dominância entre os critérios analisados), tem que $A = [a_{ij}]$, ou seja, a matriz A é composta pelas comparações par a par entre os critérios. Nessa matriz a propriedade da forte consistência não se sustenta, pois, pequenas perturbações nos julgamentos impactam no autovalor. Assim, o problema do autovalor em caso de inconstância é dado por: $Aw = \lambda_{\max} w$ (ADAMCSEK, 2008). Na qual λ_{\max} é próximo de n (na verdade, maior ou igual a n) e os autovalores serão próximos de zero. Com isso, os pesos estimados podem ser obtidos por meio da normalização do autovetor do correspondente autovalor em $Aw = \lambda_{\max} w$.

(iii) Elaboração da análise de consistência das opiniões para verificar a consistência dos julgamentos realizados. A inconsistência surge quando algumas opiniões da matriz de comparação se contradizem com outras. Essa é calculada com base no lambda máximo, demonstrado na fase anterior.

2.2 Método PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*)

As técnicas desse método funcionam em duas etapas. A primeira etapa envolve o desenvolvimento de uma relação de sobreclassificação entre as alternativas consideradas, enquanto a segunda etapa envolve a exploração dessa relação desenvolvida para escolher as melhores alternativas (problemática α), classificá-las em grupos homogêneos (problemática β) ou para classificá-los entre os menos preferidos (problemático γ) (ZOPOUNIDIS, 1999).

Nos métodos da família PROMETHEE, para um determinado conjunto de alternativas A (que para o caso são os sistemas de alvenarias avaliados), o processo de avaliação envolve comparações par a par (a, b) para determinar o índice de preferências $P(a, b)$ que mede o grau de preferência para a sobre b (Equação 2). A obtenção dos índices de preferências é tida por meio da elicitacão do decisor, isto é, por meio da avaliação de cada alternativa sob a perspectiva de cada um dos critérios considerados.

$$P(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^m w_i P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^m w_i} \in [0, 1] \quad (2)$$

Quanto maior for o índice de preferências, maior será a força da preferência por a sobre b . O cálculo do índice de preferência depende dos pesos dos critérios w_i ($\sum w_i = 1$, $w_i \geq 0$) e das funções de preferência, P_i , para cada critério g_i . As funções de preferência são

funções crescentes da diferença $g_i(a) - g_i(b)$ entre as performances de a e b no critério g_i . As funções de preferência são normalizadas entre 0 e 1. O caso $P_i(a, b) \approx 1$ indica uma forte preferência por a sobre b em termos do critério g_i , enquanto o caso $P_i(a, b) \approx 0$ indica uma preferência fraca. Geralmente, as funções de preferência podem ter formas diferentes, dependendo da política de julgamento do tomador de decisão (BRANS; VINCKE, 1985; VINCKE, 1992; ALMEIDA, 2013).

Após as etapas anteriores, existe a exploração da relação de sobreclassificação onde são utilizados os conceitos de fluxos de saída das alternativas, que representam a intensidade de preferência de uma alternativa sobre as demais de um mesmo conjunto. Enquanto o fluxo de entrada representa a intensidade de preferência de todas as alternativas sobre uma determinada alternativa do grupo. A diferença entre os fluxos de saída e de entrada representa o fluxo de sobreclassificação líquido, que serve de base para ranquear as alternativas no PROMETHEE II.

Após o cálculo dos fluxos de entrada e saída, obtidos a partir da elicitación das preferências do decisor diante dos critérios, um fluxo líquido de cada alternativa é obtido por meio da subtração dos fluxos de entrada e saída.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Gil (2002) aponta três grandes grupos de pesquisa: exploratórias, descritivas e explicativas. A pesquisa exploratória tem o objetivo de explorar um tema pouco conhecido. A pesquisa descritiva busca analisar minuciosamente um objeto de estudo específico. Já a pesquisa explicativa busca mostrar os motivos/causas do tema abordado (seu funcionamento).

Considerando o objetivo desse trabalho em mostrar a contribuição e aplicar o modelo híbrido de métodos multicritérios de apoio à decisão no processo de seleção de processos construtivos, especificamente na escolha de um sistema de alvenaria de vedação na construção civil, esse trabalho pode ser definido como exploratório. Uma vez que possui uma escassez de pesquisas nessa área e a metodologia ainda não é muito difundida para escolhas de sistemas construtivos. Os sistemas de alvenaria de vedação escolhidos para comparação foram: o de blocos cerâmicos (convencional), o de blocos de concreto e o de drywall.

Nas metodologias modernas de construção foi implantada a alvenaria estrutural, onde a mesma desempenhará a função estrutural da construção, fazendo a função dos pilares e das vigas, ou seja, ela terá demasiada importância na construção. Mas isso não quer dizer que a alvenaria de vedação tem menos importância quando utilizada, pois a alvenaria é amarrada em cima, pelo chamado encunhamento, embaixo, pelo atrito, lateralmente, por ligação a pilares de concreto armado, essa alvenaria ajuda no funcionamento da estrutura, já que aumenta o seu grau de hiperestaticidade (interfuncionalidade estrutural de toda a estrutura) (BOTELHO et al., 2016).

A metodologia, aplicada nessa pesquisa, foi dividida em duas partes. Na primeira, foi realizada um levantamento bibliográfico, através da análise de livros, artigos e dissertações, para permitir um maior conhecimento sobre o tema e averiguar a caracterização das alternativas de decisão e quais critérios poderiam ser considerados para a elaboração do questionário. Esse questionário foi aplicado em 3 obras, cada uma pertencente a uma empresa e com segmentos diferentes, sendo uma comercial, uma industrial e uma residencial, sendo, então, empregada a segunda metodologia para a obtenção dos resultados desse trabalho.

A obra comercial é um shopping center com 137 mil m² de construção, tendo cinco pisos de lojas e estacionamento com 2.300 vagas. A obra industrial é uma indústria de água

com apenas dois andares. E a obra residencial está sendo construída um terreno de 10 mil m² dos quais 25% serão destinados à área verde e abriga três torres com opções de apartamentos de dois ou três quartos e tamanhos de 57 ou 80m².

Com base na revisão bibliográfica, também, foi possível analisar métodos multicritérios adequados para a problemática trabalhada e propor um modelo híbrido. O qual foi empregado em três análises reais utilizando o modelo híbrido baseado no método AHP e no PROMETHEE II. Esses métodos foram escolhidos de acordo com a problemática em questão (escolha), modelagem da preferência do decisor, considerando o tipo de compensação entre critérios e a facilidade didática e explicativa de exposição de seus resultados.

A definição dos pesos dos critérios é uma das partes mais complexas quando se pretende aplicar métodos multicritérios de apoio à decisão, o AHP consegue suprir essa necessidade, já que seu modelo é um modelo compensatório. Além de também ser possível com esse método medir a consistência dos dados colocados, para assim, ter uma resposta mais concreta e assertiva. Então, foi utilizado essa estratégia do método AHP para auxiliar o método do PROMETHEE II na colocação dos pesos e dessa forma, não foi necessário colocar os pesos aleatoriamente, sendo possível, então, uma existência de uma metodologia menos empírica. O PROMETHEE II é um método não compensatório e ainda não consegue fazer o levantamento dos pesos de uma forma menos aleatória, por isso foi utilizado o modelo híbrido, já que esse método consegue sobreclassificar as alternativas par a par, ordenando-as das mais a menos relevantes.

Após a indicação do sistema construtivo mais conveniente para cada obra, foi possível, também, fazer uma comparação entre o sistema que foi de fato escolhido pela empresa para a execução da obra e o sistema sugerido como resultado da aplicação do modelo de apoio à decisão proposto.

Dessa forma, os procedimentos metodológicos utilizados foram, pesquisa bibliográfica e estudo de caso, com uso de questionário estruturado, sendo uma pesquisa de natureza quantitativa, já que foi utilizado as entrevistas, a partir do questionário, com os gestores das obras para classificação da importância dos critérios e em seguida aplicado os dos métodos multicritérios para cada obra. Foi utilizado o estudo de caso (YIN, 2015), descrevendo a situação vivenciada em cada empresa/obra, localizada no estado de Pernambuco, visando a avaliação dos sistemas de alvenarias sob 3 alternativas e 8 critérios, a partir da experiência técnica e formação acadêmica do gestor da obra.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As etapas necessárias para aplicação do modelo híbrido aplicado são: (1) Identificação das alternativas e critérios mais relevantes junto ao gestor, com a aplicação do questionário e revisão da literatura, (2) Estabelecimento do peso de cada critério pelo método AHP e (3) Sobreclassificação das alternativas por meio do método PROMETHEE II.

Dessa forma, segue o passo a passo executado para aplicação do modelo híbrido em questão. Temos então:

Etapa 1: Nesta etapa foi aplicado o questionário ao engenheiro/gestor responsável de cada obra, verificando então, os objetivos finais e uma classificação crescente dos critérios considerados mais relevantes. Foram atribuídas notas de 1 a 5, a cada subcritério, permitindo a identificação de uma nota para os critérios. Essa nota foi obtida através da moda das respostas dos gestores, por critério. A partir disso, os critérios foram definidos de uma escala do mais ao menos importante (Quadro 1) e, com isso, a aplicação do modelo híbrido proposto,

permitiu fazer uma comparação real do sistema que foi escolhido pelo gestor com suas declarações de preferências.

Etapa 2: Neste momento construiu-se, a partir das respostas de cada questionário, a matriz de decisão a ser utilizada no método AHP para definição da importância dos critérios analisados, sendo necessário transformar as respostas dos gestores em escala numérica. Para isso foi utilizada a escala de razão apresentada na Tabela 1, obtendo, então as Tabelas 2, 3 e 4, que a partir da relativização dos critérios, conseguem mostrar a ponderação dos critérios por meio do método AHP. O autovetor de Eigen foi utilizado para cálculo dos pesos dos critérios.

Quadro 1 – Relevância dos critérios de cada obra.

Objetivos	Obras					
	*	Comercial	*	Industrial	*	Residencial
Planejamento	3°	3,00	2°	4,00	6°	1,00
Demanda de material	3°	3,00	4°	2,00	5°	1,00
Demanda de mão de obra	3°	3,00	4°	2,00	3°	3,00
Qualidade	4°	2,00	5°	1,00	4°	2,00
Produtividade	1°	5,00	4°	2,00	3°	3,00
Custo	2°	4,00	3°	3,00	2°	4,00
Tempo de entrega	1°	5,00	1°	5,00	1°	5,00
Segurança	5°	1,00	4°	2,00	1°	5,00

Fonte: Autor (2018).

* Classificação de relevância dos critérios, segundo o gestor de cada obra.

Tabela 1 - Escala numérica adotada nesta pesquisa.

Escala Numérica	Escala Recíproca	Escala Verbal
1	1	Ambos elementos são de igual importância
3	1/3	Moderada importância de um elemento sobre o outro
5	1/5	Forte importância de um elemento sobre o outro
7	1/7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro
9	1/9	Extrema importância de um elemento sobre o outro
2, 4, 6 e 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Valores intermediários

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Tabela 2 – Matriz de decisão para ponderação dos critérios por meio do método AHP para a obra comercial.

Critérios	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Planejamento	1,00	1,00	1,00	3,00	0,20	0,33	0,20	5,00
Material	1,00	1,00	1,00	3,00	0,20	0,33	0,20	5,00
Mão de obra	1,00	1,00	1,00	3,00	0,20	0,33	0,20	5,00
Qualidade	0,33	0,33	0,33	1,00	0,14	0,20	0,14	3,00
Produtividade	5,00	5,00	5,00	7,00	1,00	3,00	1,00	9,00
Custo	3,00	3,00	3,00	5,00	0,33	1,00	0,33	7,00

Entrega	5,00	5,00	5,00	7,00	1,00	3,00	1,00	9,00
Segurança	0,20	0,20	0,20	0,33	0,11	0,14	0,11	1,00

Fonte: Autor (2018).

Tabela 3 – Matriz de decisão para ponderação dos critérios por meio do método AHP para a obra industrial.

Critérios	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Planejamento	1,00	5,00	5,00	7,00	5,00	3,00	0,33	5,00
Material	0,20	1,00	1,00	3,00	1,00	0,33	0,14	1,00
Mão de obra	0,20	1,00	1,00	3,00	1,00	0,33	0,14	1,00
Qualidade	0,14	0,33	0,33	1,00	0,33	0,20	0,11	0,33
Produtividade	0,20	1,00	1,00	3,00	1,00	0,33	0,14	1,00
Custo	0,33	3,00	3,00	5,00	3,00	1,00	0,20	3,00
Entrega	3,00	7,00	7,00	9,00	7,00	5,00	1,00	7,00
Segurança	0,20	1,00	1,00	3,00	1,00	0,33	0,14	1,00

Fonte: Autor (2018).

Tabela 4 – Matriz de decisão para ponderação dos critérios por meio do método AHP para a obra residencial.

Critérios	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Planejamento	1,00	1,00	0,20	0,33	0,17	0,13	0,11	0,11
Material	1,00	1,00	0,20	0,33	0,17	0,13	0,11	0,11
Mão de obra	5,00	5,00	1,00	3,00	1,00	0,25	0,20	0,20
Qualidade	3,00	3,00	0,33	1,00	0,50	0,20	0,14	0,14
Produtividade	6,00	6,00	1,00	2,00	1,00	0,50	0,20	0,20
Custo	8,00	8,00	4,00	5,00	2,00	1,00	0,33	0,33
Entrega	9,00	9,00	5,00	7,00	5,00	3,00	1,00	1,00
Segurança	9,00	9,00	5,00	7,00	5,00	3,00	1,00	1,00

Fonte: Autor (2018).

Em seguida, foi realizada a normalização da matriz, para cada obra, como mostrado nas Tabela 5, 6 e 7.

Tabela 5 – Matriz normalizada pela soma da obra comercial.

Critérios	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Planejamento	0,06	0,06	0,06	0,10	0,06	0,04	0,06	0,11
Material	0,06	0,06	0,06	0,10	0,06	0,04	0,06	0,11
Mão de obra	0,06	0,06	0,06	0,10	0,06	0,04	0,06	0,11
Qualidade	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,04	0,07
Produtividade	0,30	0,30	0,30	0,24	0,31	0,36	0,31	0,20
Custo	0,18	0,18	0,18	0,17	0,10	0,12	0,10	0,16
Entrega	0,30	0,30	0,30	0,24	0,31	0,36	0,31	0,20
Segurança	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02

Fonte: Autor (2018).

Tabela 6 – Matriz normalizada pela soma da obra industrial.

Critérios	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Planejamento	0,19	0,26	0,26	0,21	0,26	0,28	0,15	0,26
Material	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,03	0,06	0,05

Mão de obra	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,03	0,06	0,05
Qualidade	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,02
Produtividade	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,03	0,06	0,05
Custo	0,06	0,16	0,16	0,15	0,16	0,09	0,09	0,16
Entrega	0,57	0,36	0,36	0,26	0,36	0,47	0,45	0,36
Segurança	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,03	0,06	0,05

Fonte: Autor (2018).

Tabela 7 – Matriz normalizada pela soma da obra residencial.

Critérios	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Planejamento	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04
Material	0,07	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04
Mão de obra	0,11	0,09	0,06	0,12	0,07	0,03	0,06	0,06
Qualidade	0,09	0,09	0,02	0,04	0,03	0,02	0,05	0,05
Produtividade	0,13	0,12	0,06	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06
Custo	0,18	0,18	0,24	0,20	0,13	0,12	0,11	0,11
Entrega	0,20	0,24	0,30	0,27	0,34	0,36	0,32	0,32
Segurança	0,20	0,24	0,30	0,27	0,34	0,36	0,32	0,32

Fonte: Autor (2018).

Nessa mesma fase, a partir das Tabelas 2, 3 e 4 foi realizado o cálculo para o autovetor, como mostrado na Tabela 8, onde esses vetores serão os pesos considerados para cada critério.

Tabela 8 – Vetor de Eigen (pesos dos critérios) de cada obra.

Critérios	Auto Vetor de Eigen (Pesos das variáveis)		
	Comercial	Industrial	Residencial
Planejamento	0,07	0,23	0,02
Demanda de material	0,07	0,05	0,02
Demanda de mão de obra	0,07	0,05	0,08
Qualidade	0,03	0,02	0,04
Produtividade	0,29	0,05	0,09
Custo	0,15	0,13	0,16
Tempo de entrega	0,29	0,40	0,29
Segurança	0,02	0,05	0,29

Fonte: Autor (2018).

Buscando verificar se os julgamentos eram consistentes, a razão de consistência (RC) dos julgamentos foi calculada por meio da Equação 3.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

Onde IR = índice de consistência randômico, obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não negativos, este fator é gerado aleatoriamente e está apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Índices de consistência randômico (IR).

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Saaty (1980).

E, o índice de consistência (IC) é dado pela Equação 4.

$$IC = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Onde: lambda máximo = maior valor de autovetor da matriz de julgamentos.

n = número de ordem da matriz.

Segundo Saaty (1980), caso o IC seja menor ou igual a 10% os julgamentos obtidos são consistentes, caso contrário não são. Nesse último caso, se faz necessário a construção de uma nova matriz.

Dessa forma, a partir da aquisição dos pesos as matrizes de análise de consistência podem ser elaboradas, como mostrado nas Tabelas 10, 11 e 12, onde faz-se uso do autovetor de Eigen multiplicado pela soma dos critérios da matriz decisão, tendo como resultado os valores de consistência. Como obteve-se um RC < 0,10, as matrizes foram identificadas como consistentes.

Tabela 10 – Análise de consistência da matriz de decisão da obra comercial.

Auto Vetor de Eigen (P)	Soma dos critérios na matriz de decisão (S)	P x S
0,070352	16,533333	1,163147
0,070352	16,533333	1,163147
0,070352	16,533333	1,163147
0,034546	29,333333	1,013359
0,292190	3,187302	0,931297
0,150366	8,342857	1,254481
0,292190	3,187302	0,931297
0,019653	44,000000	0,864741
	Total	8,484616
	IC	0,069231
	IR	1,410000
	RC	0,049100

Fonte: Autor (2018).

Tabela 11 – Análise de consistência da matriz de decisão da obra industrial.

Auto Vetor de Eigen (P)	Soma dos critérios na matriz de decisão (S)	P x S
0,233142	5,276190	1,230101
0,053644	19,333333	1,037121
0,053644	19,333333	1,037121
0,024323	34,000000	0,826981
0,053644	19,333333	1,037121

0,127015	10,533333	1,337891
0,400943	2,215873	0,888440
0,053644	19,333333	1,037121
	Total	8,431896
	IC	0,061699
	IR	1,410000
	RC	0,043759

Fonte: Autor (2018).

Tabela 12 – Análise de consistência da matriz de decisão da obra residencial.

Auto Vetor de Eigen (P)	Soma dos critérios na matriz de decisão (S)	P x S
0,021345	42,000000	0,896487
0,021345	42,000000	0,896487
0,080218	16,733333	1,342300
0,044006	25,666667	1,129493
0,085111	14,833333	1,262478
0,160844	8,200000	1,318917
0,293566	3,098413	0,909588
0,293566	3,098413	0,909588
	Total	8,665347
	IC	0,095050
	IR	1,410000
	RC	0,067411

Fonte: Autor (2018).

Etapa 3: Após estabelecer os pesos dos critérios, foram construídas as segundas matrizes de decisão, que serviram de entrada para o método PROMETHEE II.

Para a obtenção do grau de sobreclassificação foi utilizada a Equação 5, a partir da comparação de cada alternativa para os 8 critérios.

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n p_i F_i(a, b) \quad (5)$$

Onde:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

Sendo:

$F_i(a, b)$: é definido pela função de preferência usual, considerando as diferenças no nível de performance de duas alternativas para um determinado critério, cujo valor dependerá do formato da função preferencial, que nesta pesquisa foi o critério usual, em que, por exemplo, quando se tem uma alternativa a , para um critério i , melhor avaliada pelo decisor do que a alternativa b , para o mesmo critério i , tem-se um $F_i(a, b) = 1$, caso contrário, tem-se $F_i(a, b) = 0$;

$\Pi(a, b)$: é o grau de sobreclassificação de uma alternativa em relação a outra, considerando todos os critérios;

p_i : o peso do critério i .

Nesta etapa, tem-se a exploração da relação de sobreclassificação entre as alternativas por meio do cálculo de dois indicadores, o fluxo de sobreclassificação de saída (Equação 6) e o fluxo de sobreclassificação de entrada (Equação 7), em outras palavras, nesta etapa são geradas duas pré-ordens, uma decrescente (com os fluxos de entrada ϕ^-) e uma crescente (com os fluxos de saída ϕ^+), a partir da qual é gerada uma pré-ordem parcial, que leva em consideração as relações de incomparabilidade.

$$\phi^+(a) = \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (6)$$

$$\phi^-(a) = \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (7)$$

Em seguida é gerada uma pré-ordem completa a partir do fluxo líquido de sobreclassificação. Esse é dado por meio da Equação 8.

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (8)$$

Os pesos encontrados no método AHP, mostrado na Tabela 8, foram utilizados como parâmetro para auxiliar o cálculo do PROMETHEE II, fazendo com que seja calculado da forma menos empírica possível, uma vez que os pesos são obtidos através de uma análise anterior, onde puderam ser considerados os coeficientes para cada taxa de consumo dos critérios utilizados.

Em seguida, as matrizes de decisão para a aplicação do método PROMETHEE II, com a utilização dos pesos, foram construídas, com base nos parâmetros do Quadro 2. Essas matrizes estão ilustradas nas Tabelas 13, 14 e 15 e as preferências indicadas pelo engenheiro responsável e dos respectivos pesos para cada critério, em base numérica.

Essas matrizes foram construídas da seguinte forma, primeiramente, foi utilizada a tabela do SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil) e TCPO (Tabela de Composição de Custos de Obra) para uma parametrização melhor dos critérios de material, mão de obra, produtividade e custo. Para o restante dos critérios foi realizada uma pesquisa bibliográfica onde verificou-se as vantagens e desvantagens em relação a cada sistema para os critérios de planejamento, qualidade, tempo de entrega e segurança, sendo possível, então fazer uma ponderação.

Quadro 2 – Critérios utilizados nesta pesquisa.

Código	Critérios
C1	Maximizar o planejamento
C2	Minimizar o uso de material
C3	Minimizar a necessidade da mão de obra
C4	Maximizar a qualidade
C5	Maximizar a produtividade
C6	Minimizar o custo
C7	Minimizar o tempo de entrega
C8	Maximizar a segurança

Fonte: Autor (2018).

Tabela 13 – Matriz de decisão para aplicação do método PROMETHEE II com todos os seus elementos em base numérica para a obra comercial.

Critérios								
Pesos	0,07	0,07	0,07	0,03	0,29	0,15	0,29	0,02
Objetivo	Max.	Min.	Min.	Max.	Max.	Min.	Min.	Max.
Alternativas	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Blocos cerâmicos	2,80	7,00	7,50	7,50	3,50	9,00	2,25	7,50
Blocos de concreto	4,00	8,00	8,50	7,50	4,50	6,00	7,88	10,00
Sistema Drywall	8,00	6,00	4,50	10,00	9,00	4,50	10,00	7,50

Fonte: Autor (2018).

Tabela 14 – Matriz de decisão para aplicação do método PROMETHEE II com todos os seus elementos em base numérica para a obra industrial.

Critérios								
Pesos	0,23	0,05	0,05	0,02	0,05	0,13	0,40	0,05
Objetivo	Max.	Min.	Min.	Max.	Max.	Min.	Min.	Max.
Alternativas	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Blocos cerâmicos	3,50	7,00	5,50	7,50	4,50	9,00	4,50	9,00
Blocos de concreto	5,00	6,00	9,00	7,50	6,50	7,00	8,00	9,00
Sistema Drywall	10,00	5,00	3,70	9,00	8,00	5,15	9,00	9,00

Fonte: Autor (2018).

Tabela 15 – Matriz de decisão para aplicação do método PROMETHEE II com todos os seus elementos em base numérica para a obra residencial.

Critérios								
Pesos	0,02	0,02	0,08	0,04	0,09	0,16	0,29	0,29
Objetivo	Max.	Min.	Min.	Max.	Max.	Min.	Min.	Max.
Alternativas	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Blocos cerâmicos	2,10	8,00	6,50	7,50	5,00	10,00	1,90	8,00
Blocos de concreto	3,00	7,00	9,00	7,50	7,00	7,00	4,15	8,50
Sistema Drywall	6,00	10,00	4,50	9,00	10,00	3,00	10,00	9,00

Fonte: Autor (2018).

Em seguida, montou-se as matrizes de decisão invertida para atender ao objetivo de minimização dos critérios, como mostrado nas Tabelas 16, 17 e 18.

Tabela 16 – Matriz de decisão invertida para a obra comercial.

Critérios								
Alternativas	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Blocos	0,36	0,14	0,13	0,13	0,29	0,11	0,44	0,13

cerâmicos								
Blocos de concreto	0,25	0,13	0,12	0,13	0,22	0,17	0,13	0,10
Sistema Drywall	0,13	0,17	0,22	0,10	0,11	0,22	0,10	0,13

Fonte: Autor (2018).

Tabela 17 – Matriz de decisão invertida para a obra industrial.

Alternativas	Critérios							
	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Blocos cerâmicos	0,29	0,14	0,18	0,13	0,22	0,11	0,22	0,11
Blocos de concreto	0,20	0,17	0,11	0,13	0,15	0,14	0,13	0,11
Sistema Drywall	0,10	0,20	0,27	0,11	0,13	0,19	0,11	0,11

Fonte: Autor (2018).

Tabela 18 – Matriz de decisão invertida para a obra residencial.

Alternativas	Critérios							
	Planej.	Material	MO	Qual.	Produt.	Custo	Entrega	Segurança
Blocos cerâmicos	0,48	0,13	0,15	0,13	0,20	0,10	0,53	0,13
Blocos de concreto	0,33	0,14	0,11	0,13	0,14	0,14	0,24	0,12
Sistema Drywall	0,17	0,10	0,22	0,11	0,10	0,33	0,10	0,11

Fonte: Autor (2018).

Com base no critério usual, foram realizadas comparações das alternativas, para cada um dos critérios analisados, e as matrizes resultantes estão apresentadas nos Quadros 3, 4 e 5.

Quadro 3 – comparação das alternativas para cada um dos critérios analisados para a obra comercial.

C1				C2				C3				C4			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3
A1	0	1	1	A1	0	1	0	A1	0	1	0	A1	0	0	1
A2	0	0	1	A2	0	0	0	A2	0	0	0	A2	0	0	1
A3	0	0	0	A3	1	1	0	A3	1	1	0	A3	0	0	0
C5				C6				C7				C8			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3
A1	0	1	1	A1	0	1	1	A1	0	0	0	A1	0	0	0
A2	0	0	1	A2	1	0	1	A2	1	0	0	A2	0	0	1
A3	0	0	0	A3	1	1	0	A3	0	0	0	A3	0	1	0

Fonte: Autor (2018).

Quadro 4 – comparação das alternativas para cada um dos critérios analisados para a obra industrial.

C1				C2				C3				C4			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3
A1	0	1	1	A1	0	0	0	A1	0	1	0	A1	0	0	1
A2	0	0	1	A2	1	0	0	A2	0	0	0	A2	0	0	1
A3	0	0	0	A3	1	1	0	A3	1	1	0	A3	0	0	0

C5				C6				C7				C8			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3
A1	0	1	1	A1	0	1	1	A1	0	0	0	A1	0	0	0
A2	0	0	1	A2	1	0	1	A2	1	0	0	A2	0	0	0
A3	0	0	0	A3	1	1	0	A3	0	0	0	A3	0	0	0

Fonte: Autor (2018).

Quadro 5 – comparação das alternativas para cada um dos critérios analisados para a obra residencial.

C1				C2				C3				C4			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3
A1	0	1	1	A1	0	0	1	A1	0	1	0	A1	0	0	1
A2	0	0	1	A2	1	0	1	A2	0	0	0	A2	0	0	1
A3	0	0	0	A3	0	0	0	A3	1	1	0	A3	0	0	0

C5				C6				C7				C8			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3		A1	A2	A3
A1	0	1	1	A1	0	1	1	A1	0	0	0	A1	0	0	0
A2	0	0	1	A2	1	0	1	A2	1	1	0	A2	0	0	0
A3	0	0	0	A3	1	1	0	A3	0	0	0	A3	0	0	0

Fonte: Autor (2018).

Aplicando a Equação 5, obteve-se a matrizes de preferências, e por meio das Equações 6 e 7 os fluxos de entrada e saída foram obtidos, como mostrado nas Tabelas 19, 20 e 21.

Tabela 19 – Matriz de preferências e fluxos de entrada e saída para a obra comercial.

	A1	A2	A3	Fluxo Positivo
A1	0,00	0,65	0,55	1,20
A2	0,44	0,00	0,57	1,01
A3	0,29	0,31	0,00	0,60
Fluxo Negativo	0,73	0,96	1,12	

Fonte: Autor (2018).

Tabela 20 – Matriz de preferências e fluxos de entrada e saída para a obra industrial.

	A1	A2	A3	Fluxo Positivo
A1	0,00	0,47	0,44	0,91

A2	0,58	0,00	0,44	1,02
A3	0,23	0,23	0,00	0,47
Fluxo Negativo	0,82	0,70	0,88	

Fonte: Autor (2018).

Tabela 21 – Matriz de preferências e fluxos de entrada e saída para a obra residencial.

	A1	A2	A3	Fluxo Positivo
A1	0,00	0,35	0,33	0,68
A2	0,48	0,29	0,33	1,10
A3	0,24	0,24	0,00	0,48
Fluxo Negativo	0,72	0,88	0,67	

Fonte: Autor (2018).

E, finalmente, na última etapa, consegue-se calcular as matrizes de sobreclassificação dos sistemas de alvenarias analisados, obtendo-se o resultado de uma pré-ordem completa a partir do fluxo líquido (Equação 8), como mostram as Tabelas 22, 23 e 24.

Tabela 22 – Sobreclassificação dos sistemas de alvenarias analisados para a obra comercial.

		Fluxo positivo	Fluxo negativo	Fluxo líquido	Sobreclassificação
Bloco cerâmico	A1	1,20	0,73	0,47	1°
Bloco de concreto	A2	1,01	0,96	0,05	2°
Sistema drywall	A3	0,60	1,11	-0,51	3°

Fonte: Autor (2018).

Tabela 23 – Sobreclassificação dos sistemas de alvenarias analisados para a obra industrial.

		Fluxo positivo	Fluxo negativo	Fluxo líquido	Sobreclassificação
Bloco cerâmico	A1	0,91	0,82	0,09	2°
Bloco de concreto	A2	1,02	0,70	0,32	1°
Sistema drywall	A3	0,47	0,88	-0,41	3°

Fonte: Autor (2018).

Tabela 24 – Sobreclassificação dos sistemas de alvenarias analisados para a obra residencial.

		Fluxo positivo	Fluxo negativo	Fluxo líquido	Sobreclassificação
Bloco cerâmico	A1	0,68	0,72	-0,04	2°
Bloco de concreto	A2	1,10	0,88	0,22	1°
Sistema drywall	A3	0,48	0,67	-0,18	3°

Fonte: Autor (2018).

A partir do cálculo do fluxo líquido para cada uma das alternativas estudadas, aquela que obtiver o maior valor de ϕ é aquela mais bem avaliada pelo decisor, considerando os critérios analisados. Nesse contexto o resultado mais indicado seria o de maior valor do fluxo líquido.

Observa-se que para a obra comercial o sistema mais indicado seria o convencional, de blocos cerâmicos, como mostra a Tabela 22, contrapondo, então o sistema escolhido pela empresa, que foi o sistema com blocos de concreto.

Já na obra industrial e na obra residencial, o sistema mais adequado seria o de blocos de concreto, como mostram as Tabelas 23 e 24, contrapondo, então o sistema escolhido pelas respectivas empresas, que foi o sistema convencional com blocos cerâmicos.

Porém, todas essas indicações de sistemas a partir do modelo híbrido são realizadas com base das relevâncias dos critérios e objetivos estratégicos do gestor para cada obra. Ou seja, a partir que essas situações mudam, a classificação final dos sistemas também pode mudar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo aplicar a abordagem multicritério na avaliação de três possíveis sistemas de alvenaria a serem adotados, em cada uma das obras visitadas em Pernambuco. Para atingir esse objetivo, foi utilizada uma abordagem quantitativa, por meio do emprego do modelo híbrido proposto, com a utilização do AHP e do PROMETHEE II.

Conclui-se que esse modelo é flexível e didaticamente compreensível. E, ainda, permite que a modelagem seja mais amigável, além de fornecer um acervo ferramental para análises das relações das alternativas e seus respectivos critérios. O modelo apresentado pode ser aplicado para a seleção de outros sistemas construtivos. Sendo essa uma sugestão para a continuidade desse trabalho.

A utilização de ferramentas voltadas a melhoria das práticas de planejamento e gestão na construção civil dão oportunidade de conduzir a decisões que levem a melhores resultados e ganhos, em um mercado em que a competitividade e exigências dos consumidores obrigam as empresas a tomarem decisões racionais almejando rentabilidade e sobrevivência.

A aplicação do modelo tem o potencial de auxiliar decisores ao fornecer uma ferramenta específica e matemática de apoio à decisão, que suporta e qualifica as decisões, além de permitir justificar as escolhas e simular os resultados. Com isso, evita-se situações, como a apresentada nessas aplicações, em que a tecnologia empregada não está em acordo com os objetivos estratégicos e o escopo da obra, indicados pelo gestor/empresa para o empreendimento.

Além disso, é possível agregar as eliciações das preferências dos responsáveis técnicos pela obra em um único modelo de decisão, fazendo com que haja no modelo uma maior incorporação do conhecimento técnico dos especialistas, o que contribui para uma maior robustez na análise.

De acordo com as respostas do gestor para a obra comercial, os objetivos mais prioritários eram o tempo de entrega, produtividade e o custo. Nesse caso, o sistema mais indicado foi o convencional de blocos cerâmicos, pois apesar de o tempo de entrega e a produtividade não ser uma vantagem muito grande, o custo desse sistema quando comparado aos outros dois é muito inferior. E o sistema aplicado foi o de blocos de concreto que apresenta desempenho inferior em relação ao convencional em questão de custo.

Já na obra industrial, os objetivos mais prioritários do gestor foram tempo de entrega, planejamento e custo. O sistema escolhido pela empresa foi o convencional com blocos cerâmicos. No entanto, ele possui desempenho desfavorável quanto aos objetivos mais valorados, principalmente na questão de maximizar o planejamento. Então, o sistema mais indicado foi o de blocos de concreto.

E na obra residencial, os objetivos apresentados pelo gestor foram tempos de entrega, segurança, custo e minimizar a utilização da mão de obra. Dessa forma, o sistema mais indicado, foi também o de blocos de concreto, já que o sistema aplicado de blocos cerâmicos é desfavorável na utilização de mão de obra e no tempo de entrega, apresentando desempenho desfavorável em alguns dos principais objetivos.

Dessa forma, é notório que uma aplicação dos métodos multicritério para verificar qual sistema poderia ser mais vantajoso para a obra seria interessante, já que mostraria outros resultados como o mais benéfico.

Para trabalhos futuros espera-se incorporar outros tipos de alvenaria de vedação na análise comparativa, como também, elaborar outros questionários onde possa ser realizada a análise de outros sistemas construtivos. Já que a construção civil possui diversos processos, todos possuindo certa importância para que haja qualidade e segurança na obra. A alvenaria de vedação, mesmo não se comprando com a importância de uma alvenaria estrutural (a que tece função de estrutura na obra), pode influenciar e gerar patologias diversas nas estruturas da construção, nos revestimentos e etc.. Dessa forma, torna-se um sistema construtivo de extrema importância para ser analisado, por isso pode ser colocado em pauta outros sistemas para comparação.

REFERÊNCIAS

ADAMCSECK, E. **The analytic hierarchy process and its generalizations**. Eotvos Loránd University, 2008.

ALEXANDRINI, F. *et al.* Melhoria no processo de planejamento e controle de produção de obras pré-fabricadas usando multicritério e apoio a decisão. *In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, 9, 2010, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: AEDB, 2010. P 1-10.

ALMEIDA, A. T. **O Conhecimento e o Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2010.

ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações**. São Paulo: Atlas, 2013.

ARAÚJO, M. C. B. *et al.* Modelo multicritério para seleção de contratados em projetos de construção civil. *In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2015, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: SOBRAPO, 2015.

BOLLELLA, A. F. *et al.* O uso do método AHP na tomada de decisão para seleção de sistemas de lajes de edifícios comerciais. **Engenharia Estudo e Pesquisa**, Rio de Janeiro, v. 13, nº 1, p. 39-52, 2013.

BOTELHO, M. H. C.; FERRAZ, N. N. **Concreto Armado – eu te amo – vai para a obra**. São Paulo: Blucher, 2016.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. A preference ranking organization method. **Management Science**, v. 31, n. 6, p. 647–656, 1985.

ENSSLIN, L. *et al.* **Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.

GIL, ANTONIO CARLOS. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo, Editora Atlas, 2002.

LIMA, D. F. *et al.* Proposição e avaliação de um método multicritério em licitações: estudo de caso na construção civil. *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 35, 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABEPRO, 2015.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Pini, 2010.

NEUMANN, A. G. **Modelo multicritério no processo de seleção de subempreiteiros na construção civil**. 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

POLITO, G. **Gerenciamento de Obras: boas práticas para a melhoria da qualidade e da produtividade**. São Paulo: Pini, 2015.

SATTY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

TURKSIN, L., BERNARDINI, A., MACHARIS, C. A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, Belgium, v. 20, p. 954-965, 2011.

VIEIRA, H. F. **Logística aplicada à construção civil: como melhorar o fluxo de produção nas obras**. São Paulo: Pini, 2006.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. New York: John Wiley, 1992.

YIN, R. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZEULE, L. O.; SERRA, S. M. B. O uso de método de tomada de decisão para selecionar materiais sustentáveis. *In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção - Inovação e Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção - Inovação e Sustentabilidade*, 9, 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SIBRAGEC, 2015.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. A multicriteria decision aid methodology for sorting decision problems: the case of financial distress. **Computational Economics**, v. 14, n° 3, p. 197-218, 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário utilizado na entrevista aos gestores/engenheiros das respectivas obras.

QUESTIONÁRIO SOBRE CRITÉRIOS UTILIZADOS PARA APOIO À DECISÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL: SISTEMA DE ALVENARIAS

Roteiro de coleta de dados

O objetivo desse questionário é captar informações sobre os aspectos considerados por essa obra e que culminaram na escolha do sistema de alvenaria utilizado. Para isso, a investigação se baseia na identificação dos critérios que foram adotados para essa obra em específico ou se a empresa tem uma série de critérios que segue como padrão para todas as suas obras. Além disso, busca-se saber se o sistema escolhido está sendo satisfatório, se houve alguma mudança de escolha durante o período construtivo, se houve mudanças de escolhas ainda na fase do projeto, devido a algum motivo, se houve algum tipo de planejamento, de fato, anterior. Sendo assim, seguiremos.

- Nome da obra: _____
 - Local da obra: _____
 - Nome da empresa: _____
 - Tempo no mercado: _____
 - Porte da empresa: _____
 - Respondente: _____
 - Cargo do respondente: _____
 - Tempo de experiência do respondente: _____
- Assinale o tipo da obra:
- a) Residencial
 - b) Comercial
 - c) Industrial
 - d) Pública
 - e) Habitação popular

Perguntas sobre o sistema de construção e metodologia da empresa

- 1) Existem projetos específicos para o sistema ou que se relacione com o sistema?
 - a) Sim
 - b) Não
- 2) Quais critérios foram selecionados para escolha do sistema de alvenaria? Ordene dentro de uma escala de mais para o menos importante, dentro das opções abaixo.

- a) Planejamento
 - b) Demanda de material
 - c) Demanda de mão de obra
 - d) Qualidade
 - e) Produtividade
 - f) Custo
 - g) Tempo de entrega
 - h) Segurança
 - i) Outros: _____
- 3) Qual o sistema de alvenaria foi escolhido?
- a) Convencional (com tijolo cerâmico)
 - b) Estrutural
 - c) Paredes de concreto
 - d) Drywall
 - e) Stell frame
 - f) Outros: _____
- 4) O sistema foi escolhido porque realmente era necessário para esse tipo de construção?
- a) Sim
 - b) Não
- 5) E o sistema escolhido está correspondendo às expectativas esperadas? Justifique.
- a) Sim
 - b) Não, justifique:

- 6) Ocorreu algum incidente diante da escolha?
- a) Inadequação ao ambiente
 - b) Dimensionamento incorreto
 - c) Má qualidade dos materiais
 - d) Despreparo da mão-de-obra
 - e) Má interpretação do projeto
 - f) Ausência ou deficiência de fiscalização
 - g) Fissuras, devido a:

- h) Outros: _____
- 7) Houve mudanças no sistema? Se sim, justifique.
- a) Sim, justifique:

- b) Não

Responder de acordo com a política de trabalho da empresa, relacionando os itens de acordo com a usabilidade para esta obra. Use a seguinte escala:

(1) Muito baixo (2) Baixo (3) Médio (4) Alto (5) Muito alto

Em relação ao critério de planejamento

	Critérios	Atribuição da avaliação				
		1	2	3	4	5
Planejamento	Qual a relevância, nesta obra, do planejamento (viabilidade de construção) anterior a execução do projeto?					
	Qual a relevância, nesta obra, da existência e do detalhamento do projeto, como também do método construtivo escolhido?					
	Qual a relevância, nesta obra, da compatibilidade de todos os projetos?					
	Qual a relevância, nesta obra, do uso de novas tecnologias de gestão?					

Em relação ao critério de demanda de material

	Critérios	Atribuição da avaliação				
		1	2	3	4	5
Demanda de material	Qual a relevância, nesta obra, da variedade de fornecedores para que haja competição no preço?					
	Qual a relevância, nesta obra, do grau de dependência do sistema construtivo em relação ao mercado fornecedor?					
	Como classifica a aceitação no mercado?					

Em relação ao critério de demanda de mão de obra

	Critérios	Atribuição da avaliação				
		1	2	3	4	5
Demanda de mão de obra	Qual a relevância, nesta obra, da necessidade de supervisor técnico?					
	Qual a relevância, nesta obra, do aproveitamento de mão de obra pouco especializada?					

Em relação ao critério de qualidade

	Critérios	Atribuição da avaliação				
		1	2	3	4	5
Qualidade	Qual a relevância, nesta obra, da vida útil dos componentes utilizados no sistema, juntamente com a durabilidade do sistema para um melhor atendimento a sociedade?					
	Qual a relevância, nesta obra, do grau de industrialização dos componentes do sistema?					
	Qual a relevância, nesta obra, da utilização das melhores opções tecnológicas ou de novos produtos e processos?					
	Qual a relevância, nesta obra, dos desejos dos clientes (caso o cliente tenha como opinar ou escolher aplicação de outro material, por exemplo)?					
	Qual a relevância, nesta obra, do funcionamento e resistências das articulações?					
	Como classifica as eficiências dos materiais e componentes?					
	Como classifica o conforto térmico?					
	Como classifica o conforto visual?					
	Como classifica o conforto acústico?					

Em relação ao critério de produtividade

	Critérios	Atribuição da avaliação				
		1	2	3	4	5
Produtividade	Qual a relevância, nesta obra, da existência de flexibilidade de execução do sistema escolhido?					
	Qual a relevância, nesta obra, da flexibilidade de aplicação ou do sistema ser auto construtivo?					
	Qual a relevância, nesta obra, do transporte (distância dos locais de produção, uso de equipamentos pesados e outros) – Planejamento da atividade de movimentação interna?					
	Qual a relevância, nesta obra, da rapidez de montagem?					
	Qual a relevância, nesta obra, da construtibilidade?					
	Qual a relevância, nesta obra, da medição da produtividade?					

Em relação ao critério de custo

	Critérios	Atribuição da avaliação				
		1	2	3	4	5
Custo	Qual a relevância, nesta obra, de evitar prejuízos, ou seja, da eliminação de perdas, quebras ou defeitos?					
	Qual a relevância, nesta obra, da facilidade do transporte dos materiais solicitados (percurso até a obra)? (Frete)					
	Qual a relevância, nesta obra, da não geração de resíduo ou poluente, ou seja, do sistema escolhido não gerar poluição ambiental?					
	Qual a relevância, nesta obra, da redução do custo de mão de obra (trabalho reduzido à montagem e eliminação de tempos mortos)?					
	Qual a relevância, nesta obra, da redução de atividades que não agregam valor?					
	Como classifica a necessidade de acabamento?					
	Qual a relevância, nesta obra, da economia dos recursos naturais?					
	Como classifica a economia do sistema produtivo escolhido em relação as demais opções que poderiam ter sido aplicadas?					

Em relação ao critério de tempo de entrega

	Critérios	Atribuição da avaliação				
		1	2	3	4	5
Tempo de entrega	Qual a relevância, nesta obra, do cumprimento dos prazos de entrega do sistema, que consta no planejamento?					

Em relação ao critério de segurança

	Critérios	Atribuição da avaliação				
		1	2	3	4	5
Segurança	Como classifica a existência da segurança estrutural?					
	Como classifica a existência da segurança ao fogo?					

AGRADECIMENTO

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades e fazer com que eu chegasse até aqui e poder concluir o curso.

Em especial a minha avó que batalhou muito para me oferecer uma educação de qualidade e, mesmo assim, nunca deixou faltar amor, a ela expresso toda a minha gratidão!

A minha orientadora Annielli Rangel pelo suporte, incentivo, estímulos, como também, pelas suas orientações.

Ao meu tio Bruno e aos meus pais pelo amor, incentivo e apoio.

A Heitor pelo total apoio emocional nessa reta final do curso.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.