

Pesos relativos entre indicadores de sustentabilidade e custos de construção de estruturas pré-fabricadas em plantas industriais

Relative weights between sustainability indicators and construction costs of prefabricated structures in industrial plants

Walber Paschoal da Silva^{1*}, Marco Antonio Soares¹

RESUMO

A indústria da construção civil é responsável por danos ambientais em várias fases de ciclo de vida de um projeto. Por outro lado, o aumento da conscientização sobre a importância do desenvolvimento sustentável tem produzido mudanças de paradigmas em várias atividades humanas. Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo definir os pesos relativos entre os indicadores de sustentabilidade e os custos, para os métodos construtivos com pré-fabricados de estruturas metálicas e em concreto armado, em projetos de plantas industriais. Para a estimativa desses pesos foi desenvolvida uma metodologia, baseada no método de Análise Hierárquica de Processos (AHP), capaz de auxiliar a tomada de decisão em ambientes de multicritérios. A metodologia proposta foi aplicada e testada a partir de uma pesquisa de campo, direcionada a gerentes de projetos industriais atuantes no estado do Rio de Janeiro. Os resultados revelaram que não há um consenso, entre os gerentes de projeto, sobre a importância relativa desses indicadores, e que o custo de execução da obra é considerado um fator mais importante do que aqueles relacionados à sustentabilidade, durante a tomada de decisão.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável; Construção industrial; Análise hierárquica de processos.

ABSTRACT

The construction industry is responsible for environmental damage at various stages of a project's life cycle. On the other hand, increased awareness of the importance of sustainable development has produced paradigm shifts in various human activities. In this context, this research aims to define the relative weights between sustainability indicators and costs, for construction methods with prefabricated steel and reinforced concrete structures, in industrial plant projects. To estimate these weights, a methodology was developed, based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, capable of assisting decision making in multicriteria environments. The proposed methodology was applied and tested based on field research, aimed at industrial project managers working in the state of Rio de Janeiro. The results revealed that there is no consensus, among project managers, about the relative importance of these indicators, and that the construction cost is considered a more important factor than those related to sustainability, during decision making.

Keywords: Sustainable development; Construction industry; Analytic hierarchy process.

¹ Universidade Federal Fluminense. *E-mail: walberpaschoal@id.uff.br

INTRODUÇÃO

A construção civil exerce grande impacto sobre o meio ambiente, consumindo recursos naturais extraídos do planeta. Ao mesmo tempo em que mantém ativo o crescimento e a transformação dos espaços e da infraestrutura, o setor é também percebido como ameaça ao desenvolvimento sustentável. Pesquisas recentes demonstram que a indústria da construção, assim como qualquer outra indústria nos dias de hoje, considera a sustentabilidade um fator central de crescimento local e global (AHN & PARK, 2012, p. 163).

O desenvolvimento sustentável busca atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias (BRUNDTLAND, 1987, p. 54). Portanto, limitar a degradação ambiental conciliando o crescimento econômico, social e ambiental é essencial para lidar com o desafio de propor uma qualidade de vida mais digna para a população do planeta sem esgotar seus recursos (UNEP, 2011, p. 7).

Segundo Chong et al. (2009, p. 337) o setor da indústria da construção consome 40% da produção total de energia em todo mundo, 40% de todas as matérias-primas e 25% de toda a madeira. Além disso, é responsável por 16% do consumo total de água e 35% das emissões de CO₂. Com isso, os impactos ambientais, sociais e econômicos resultantes acabam produzindo grandes desafios ao setor. Horman et al. (2006, p. 83) afirmam que a demanda por construções mais sustentáveis cresce, e a atração provém da capacidade de minimizar os impactos dos projetos sobre o ecossistema. Sendo assim, os autores propõem a necessidade de se promover uma utilização de materiais mais adequados, segundo um modelo de crescimento sustentável.

O *Construction Industry Institute* (CII) define que as práticas de desenvolvimento sustentável podem gerar menos resíduos industriais e energia consumida, especialmente na seleção de materiais reutilizáveis, recicláveis ou que exigem menos recursos para produzir e transportar (CII, 2009, p. 1). Quanto ao desempenho das construções de estruturas de concreto armado e em estruturas metálicas, os resultados podem ser distintos, se considerarem os aspectos de sustentabilidade econômica e ambiental, afirmam Wu & Zhong (2015, p. 1).

Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo definir os pesos relativos dos indicadores de sustentabilidade, de métodos construtivos com pré-fabricados de concreto armado e de estrutura metálica, em projetos industriais do setor de petróleo e gás natural. Tais pesos são estimados a partir da percepção de especialistas em gerenciamento de projetos, e de uma metodologia de análise baseada no Método de Análise Hierárquica de Processo (AHP).

REFERENCIAL TEÓRICO

A pré-fabricação tem suas origens no início do século XIX, com habitações de madeira construídas pelos colonizadores do território americano (Castro & Freitas, 2006, p. 12). Esse método consistia em estrutura composta de peças em madeira serrada de pequena seção transversal. Desde então, a construção em madeira, conhecida como woodframe, tornou-se a tipologia residencial mais comum dos EUA.

Para Fisher & Skibniewsky (1992, p. 42), os métodos de construção industrializados, que envolvem a pré-fabricação, a pré-montagem e a modularização, representam importantes opções tendo em vista a eficiência dos processos de fabricação. Richard (2003, p. 334) estima que a pré-fabricação pode reduzir os custos de construção em até 15%, em alguns casos envolvendo racionalização das tarefas relativas à linha de produção, ferramental especializado, trabalho semiespecializado, proteção climática, controle de qualidade, e compra otimizada de matéria-prima.

A adoção de pré-fabricação comparada à construção tradicional, em Hong Kong, apresentou vantagens significativas, entre as quais destacam-se: a melhoria do controle de qualidade; a redução de tempo de construção em 20%; a redução da geração de resíduos de construção em 56%; a redução de poeira e ruído no local da obra; a diminuição das ocorrências trabalhistas em 9,5% (Jaillon & Poon, 2009, p. 248). Com relação aos índices de aplicação dos pré-fabricados na indústria da construção, a participação nos Estados Unidos é de apenas 6%, enquanto que a média na União Europeia é de 18%, e o market share do sistema no mercado global é de aproximadamente 1,2 %, (CHEN et al. 2010, p. 665).

Segundo Lu & Yuan (2013, p. 804) “...a indústria da construção em todo o mundo tem defendido cada vez mais o uso de pré-fabricação para minimizar o desperdício e, assim, aliviar os impactos negativos associados sobre o meio ambiente e a sociedade”. Li

et al. (2014, p. 240) afirmam que é crescente o reconhecimento da importância da tecnologia dos pré-fabricados para o desenvolvimento da produtividade e a conservação do meio ambiente. Afirmam, ainda, que há um número significativo de estudos relacionados ao gerenciamento de pré-fabricados na construção, publicados nos jornais acadêmicos internacionais.

A *European Concrete Platform* (ECP) avalia o concreto como sendo um dos materiais de construção mais sustentáveis, quando são levados em conta o consumo de energia e suas propriedades de uso (ECP, 2009, p. 6). Isto porque as matérias-primas podem ser substituídas por agregados produzidos a partir do concreto reciclado. Também podem ser utilizados resíduos de outras indústrias, para adições como cinzas volantes, escórias e fumos de sílica.

Segundo o CII (2009, p.131) a indústria do aço nos Estados Unidos já atingiu altos níveis de sustentabilidade, utilizando aço reciclado em mais de 90% da produção. No Brasil, o Instituto Aço Brasil (IABr) afirma que o fato de ser 100% reciclável faz do aço um material altamente sustentável (IABr, 2014, p. 18). No entanto, o aço apresenta vantagens ao fim de sua vida útil, isto porque retorna à cadeia produtiva, e passa pelo processo de reciclagem, sem comprometer a qualidade e as propriedades do material.

METODOLOGIA

De acordo com Faria (2011, p. 39), o método AHP é aplicado para sistematizar uma ampla gama de problemas de decisão nos contextos econômico, político, social e ambiental. Isto por causa da simplicidade, sólida base matemática e capacidade para avaliar fatores qualitativos e quantitativos, tangíveis ou intangíveis.

Alves et al. (2011, p. 49) informam que o Método AHP é um dos primeiros métodos desenvolvidos no ambiente das decisões multicritério, desenvolvido por Prof. Thomas L. Saaty em 1980. O problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, facilitando, assim, sua compreensão e avaliação. Segundo os autores, o método AHP permite avaliar a importância de cada critério/item frente ao contexto proposto com racionalidade e precisão.

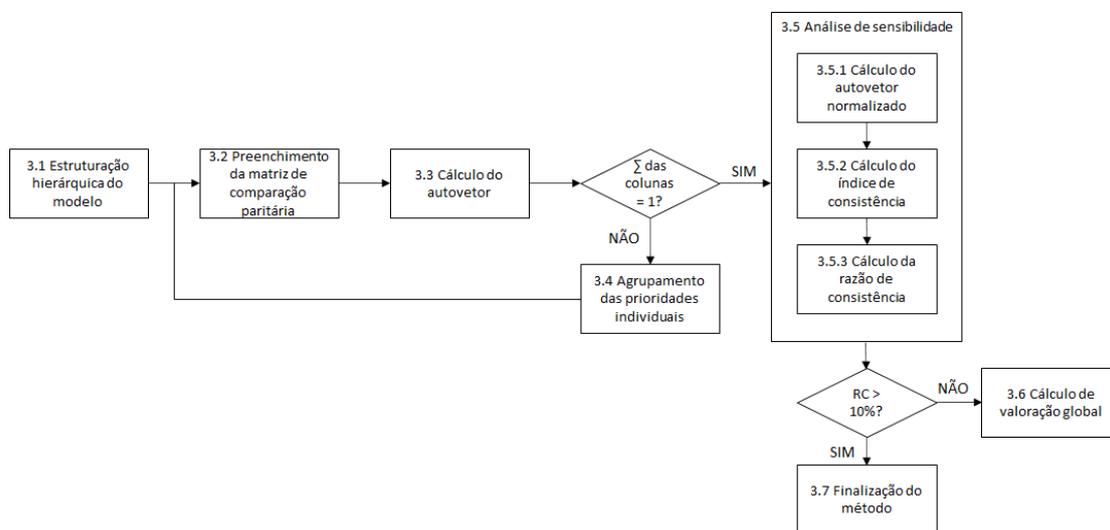
Segundo Belderrain e Silva (2006) o método AHP determina por meio de síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao final do método. Nesse sentido, deve-se construir a

estruturção hierárquica do modelo, de forma a promover uma visão sistêmica das relações dos critérios (indicadores) e as alternativas (PFCA e PFEM) a serem modeladas. Os pesos pré-determinados resultantes do julgamento da comparação par a par, de cada indicador são utilizados para criar matrizes de decisão quadrada para os modelos construtivos do estudo de caso.

Esse conjunto de matrizes quadradas n por n , na qual n é a quantidade de indicadores aplicados na pesquisa, é pontuado segundo uma comparação paritária das alternativas, utilizando os valores da escala fundamental de Saaty que varia de 1 até 9, e os valores recíprocos (inversos) de cada julgamento. O propósito do uso de matrizes é poder realizar uma série de cálculos para a determinação do autovetor (vetor prioridade), e para a análise de sensibilidade (cálculo do autovetor normalizado).

A análise de sensibilidade compreende, ainda, cálculos complementares de verificação de qualidade e de consistência. Os cálculos complementares são, o cálculo do autovalor normalizado, o cálculo do Índice de Consistência (IC), a Razão de Consistência (RC), e o cálculo de valoração global. A figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia proposta, destacando a sequência e interdependência de suas etapas.

Figura 1 – Metodologia proposta



Fonte: Autores.

Os valores das células da matriz de comparação paritária (indicando o julgamento da linha i e da coluna j) dos PFCA e dos PFEM devem ser positivos, ou seja, $a_{ij} > 0$, inteiros e para cada comparação paritária. A matriz de comparação deve atender ainda às três outras propriedades descritas a seguir:

- Identidade - Todos os valores da diagonal são iguais a 1, ou seja, para todo i , é necessário que $a_{ij}=1$, e a diagonal representa cada elemento comparado a si mesmo, sendo, assim, de igual importância;
- Reciprocidade - Cada valor acima da diagonal da matriz de comparação paritária é igual ao inverso do valor correspondente, situado abaixo da diagonal, isto é, $a_{ij}=1/a_{ji}$;
- Consistência ou coerência - A matriz de comparação paritária deve satisfazer à propriedade de transitividade, ou seja, na comparação de três critérios, se A é preferível a B, e B é preferível a C, conseqüentemente, A é preferível a C.

Por fim, após a verificação das RCs, derivadas das comparações paritárias de cada segmento, deve-se proceder com a técnica de agrupamento do julgamento, que pode ser realizado através de dois métodos distintos, o método de agrupamento individual dos julgamentos (AIJ), ou o método de agregação das prioridades individuais (AIP).

Segundo Forman e Peniwatti (1998, p. 167), o primeiro método de agrupamento de julgamentos deve agregar as prioridades individuais computadas a partir da média geométrica, ou aritmética, de forma a não interferir no vetor prioridade do grupo. Essa técnica não viola o Princípio de Pareto. Quanto ao método AIP, os julgamentos individuais são respeitados no decorrer da agregação, interferindo no vetor prioridade do grupo, e resultando em um autovetor prioridade global.

ESTUDO DE CASO

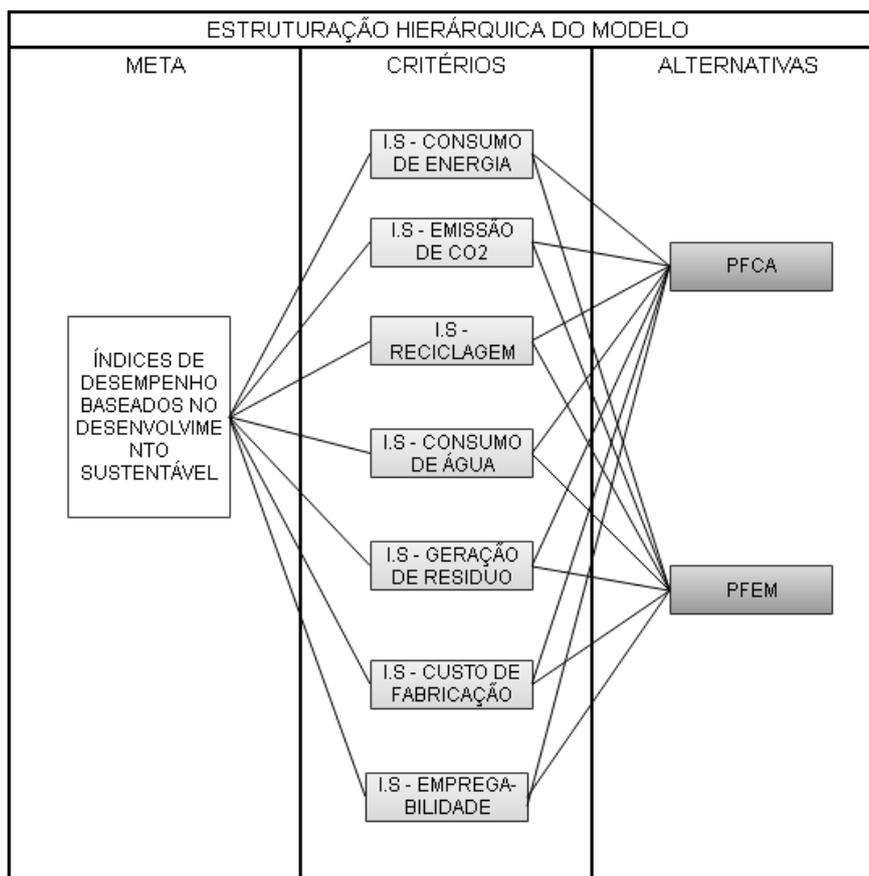
Para a aplicação do método AHP, foi realizada uma pesquisa de campo, onde foram coletados os dados necessários, e o seu objetivo foi investigar as relações entre os indicadores de sustentabilidade (IS), considerando os modelos construtivos de PFCA e PFEM, e tendo como alvo o projeto de um *piperack* (estrutura para suporte de tubulações) de uma planta de refino. O estudo foi restrito aos gerentes de projeto atuantes no estado do Rio de Janeiro, maior produtor nacional de petróleo e gás natural, responsável por 80% da produção de petróleo e 63% da produção de gás natural no Brasil (BRASIL, 2021), e a amostra delimitada a partir de uma análise estatística. Os resultados obtidos pretendem,

portanto, servir como referência para os gerentes de projeto, durante o processo de escolha do método mais apropriado a cada situação ou tipo de projeto.

Estruturação hierárquica do modelo

A estruturação do modelo consiste em definir, através da decomposição do problema, o sistema hierárquico da relação entre meta, critério e alternativas. A figura 2 apresenta essa decomposição do problema para esta pesquisa.

Figura 2 – Estruturação hierárquica do problema da pesquisa.



Fonte: Autores.

Preenchimento da matriz de comparação paritária

Para a realização desta etapa, foi construída uma matriz quadrada, 7x7, onde foram registrados os pesos relativos dos indicadores de sustentabilidade, atribuídos pelos gerentes de projeto, especialistas em projetos industriais. Nesse processo foi utilizada a escala de Saaty, para a comparação entre esses indicadores, e as células à esquerda da

diagonal da matriz foram preenchidas. Na sequência, as células à direita da diagonal da matriz foram preenchidas com os inversos desses valores.

Para cada especialista consultado, foi desenvolvido um conjunto de duas matrizes, uma para PFCA, e outra para PFEM. Tais matrizes foram preenchidas com os resultados obtidos na pesquisa de campo. A figura 3 apresenta um exemplo de uma dessas matrizes, preenchida pelo especialista de projeto SP-01.

Figura 3 – Matriz 7x7 – Método AHP

MÉTODO AHP							
ESTRUTURAÇÃO DA MATRIZ DE COMPARAÇÃO 7X7							
ALTERNATIVA: PFCA							
EMPRESA:	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE						
ESPECIALISTA: SP-01	AMBIENTAL					ECONÔMICO	SOCIAL
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7
INDICADORES	CONSUMO: ENERGIA	EMISSÃO: CO2	RECICLAGEM	CONSUMO: ÁGUA	GERAÇÃO: RESÍDUOS	CUSTO U\$/t	*E. & CC
I1= CONSUMO: ENERGIA	1	3	1	3	1	1	1/3
I2= EMISSÃO: CO2	1/3	1	3	3	3	1/3	1/3
I3= RECICLAGEM	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3
I4= CONSUMO: ÁGUA	1/3	1/3	1	1	1	1	1/3
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	1	1/3	1	1	1	1	1/3
I6= CUSTO U\$/M³	1	3	3	1	1	1	1/3
I7= E. & CC.	3	3	3	3	3	3	1
SOMA DAS COLUNAS							

Fonte: Autores.

Cálculo do autovetor

O cálculo do autovetor se subdivide em três etapas, comparação transformada, cálculo da normalização relativa, e cálculo do autovetor. Assim, não são aqui apresentadas todas as 78 (setenta e oito) matrizes, derivadas das pesquisas de campo, mas sim, um exemplo referente à pesquisa realizada com o especialista SP-01, e na seção seguinte são apresentados os resultados consolidados.

Após o preenchimento das matrizes com os pesos atribuídos, referentes à comparação paritária, foi realizado o somatório das colunas de cada indicador. Esse procedimento é denominado comparação transformada, e sua aplicação se estende para as 78 (setenta e oito) matrizes identidade desenvolvidas neste trabalho, a partir dos resultados da pesquisa de campo. As figuras 4 e 5 apresentam um exemplo das matrizes

7x7, obtidas a partir da pesquisa de campo realizada com o especialista SP-01, com os cálculos resultantes da comparação transformada para PFCA e para PFEM, respectivamente.

Figura 4 – Cálculo de comparação transformada – SP01 (PFCA)

MÉTODO AHP							
ESTRUTURAÇÃO DA MATRIZ DE COMPARAÇÃO 7X7							
ALTERNATIVA: PFCA							
EMPRESA:	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE						
ESPECIALISTA: SP-01	AMBIENTAL					ECONÔMICO	SOCIAL
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7
INDICADORES	CONSUMO: ENERGIA	EMIÇÃO: CO2	RECICLAGEM	CONSUMO: ÁGUA	GERAÇÃO: RESÍDUOS	CUSTO U\$/t	*E. & CC
I1= CONSUMO: ENERGIA	1	3	1	3	1	1	1/3
I2= EMISSÃO: CO2	1/3	1	3	3	3	1/3	1/3
I3= RECICLAGEM	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3
I4= CONSUMO: ÁGUA	1/3	1/3	1	1	1	1	1/3
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	1	1/3	1	1	1	1	1/3
I6= CUSTO U\$/M ³	1	3	3	1	1	1	1/3
I7= E. & CC.	3	3	3	3	3	3	1
SOMA DAS COLUNAS	7,67	11,00	13,00	13,00	11,00	7,67	3,00

Fonte: Autores.

Figura 5 – Cálculo de comparação transformada – SP01 (PFEM)

MÉTODO AHP							
ESTRUTURAÇÃO DA MATRIZ DE COMPARAÇÃO 7X7							
ALTERNATIVA: PFEM							
EMPRESA:	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE						
ESPECIALISTA: SP-01	AMBIENTAL					ECONÔMICO	SOCIAL
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7
INDICADORES	CONSUMO: ENERGIA	EMIÇÃO: CO2	RECICLAGEM	CONSUMO: ÁGUA	GERAÇÃO: RESÍDUOS	CUSTO U\$/t	*E. & CC
I1= CONSUMO: ENERGIA	1	1	1	1	1	1	1/3
I2= EMISSÃO: CO2	1	1	3	3	3	3	1/3
I3= RECICLAGEM	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3
I4= CONSUMO: ÁGUA	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3
I6= CUSTO U\$/M ³	3	1/3	3	3	3	1	1/3
I7= E. & CC.	3	3	3	3	3	3	1
SOMATÓRIOS	11,00	6,33	13,00	13,00	13,00	9,00	3,00

Fonte: Autores.

Para a normalização relativa dos pesos, são necessários novos cálculos com a divisão dos valores de cada célula da matriz, pela soma total da coluna dessa célula. Ao final, a soma das colunas da matriz normalizada deve ser igual a uma unidade, conforme demonstrado nas figuras 6 e 7, que retratam o julgamento realizado pelo especialista SP-01, para PFCA e para PFEM, respectivamente.

Figura 6 – Resultados da normalização das células da matriz –SP01 (PFCA)

MÉTODO AHP															
ESTRUTURAÇÃO DA MATRIZ DE COMPARAÇÃO 7X7															
ALTERNATIVA: PFCA															
EMPRESA:	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE							MATRIZ NORMALIZADA							
ESPECIALISTA: SP-01	AMBIENTAL					ECONÔMICO	SOCIAL								
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7								
INDICADORES	CONSUMO: ENERGIA	EMISSÃO: CO2	RECICLAGEM	CONSUMO: ÁGUA	GERAÇÃO: RESÍDUOS	CUSTO U\$/t	*E. & CC	Divisão de cada elemento da célula pela soma de cada coluna							
I1= CONSUMO: ENERGIA	1	3	1	3	1	1	1/3	0,13	0,27	0,08	0,23	0,09	0,13	0,11	
I2= EMISSÃO: CO2	1/3	1	3	3	3	1/3	1/3	0,04	0,09	0,23	0,23	0,27	0,04	0,11	
I3= RECICLAGEM	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3	0,13	0,03	0,08	0,08	0,09	0,04	0,11	
I4= CONSUMO: ÁGUA	1/3	1/3	1	1	1	1	1/3	0,04	0,03	0,08	0,08	0,09	0,13	0,11	
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	1	1/3	1	1	1	1	1/3	0,13	0,03	0,08	0,08	0,09	0,13	0,11	
I6= CUSTO U\$/M³	1	3	3	1	1	1	1/3	0,13	0,27	0,23	0,08	0,09	0,13	0,11	
I7= E. & CC.	3	3	3	3	3	3	1	0,39	0,27	0,23	0,23	0,27	0,39	0,33	
SOMA DAS COLUNAS	7,67	11,00	13,00	13,00	11,00	7,67	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Fonte: Autores.

Figura 7 – Resultados da normalização das células da matriz –SP01 (PFEM)

MÉTODO AHP															
ESTRUTURAÇÃO DA MATRIZ DE COMPARAÇÃO 7X7															
ALTERNATIVA: PFEM															
EMPRESA:	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE							MATRIZ NORMALIZADA							
ESPECIALISTA: SP-01	AMBIENTAL					ECONÔMICO	SOCIAL								
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7								
INDICADORES	CONSUMO: ENERGIA	EMISSÃO: CO2	RECICLAGEM	CONSUMO: ÁGUA	GERAÇÃO: RESÍDUOS	CUSTO U\$/t	*E. & CC	Divisão de célula pela soma de cada coluna							
I1= CONSUMO: ENERGIA	1	1	1	1	1	1	1/3	0,09	0,16	0,08	0,08	0,08	0,11	0,11	
I2= EMISSÃO: CO2	1	1	3	3	3	3	1/3	0,09	0,16	0,23	0,23	0,23	0,33	0,11	
I3= RECICLAGEM	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3	0,09	0,05	0,08	0,08	0,08	0,04	0,11	
I4= CONSUMO: ÁGUA	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3	0,09	0,05	0,08	0,08	0,08	0,04	0,11	
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3	0,09	0,05	0,08	0,08	0,08	0,04	0,11	
I6= CUSTO U\$/M³	3	1/3	3	3	3	1	1/3	0,27	0,05	0,23	0,23	0,23	0,11	0,11	
I7= E. & CC.	3	3	3	3	3	3	1	0,27	0,47	0,23	0,23	0,23	0,33	0,33	
SOMATÓRIOS	11,00	6,33	13,00	13,00	13,00	9,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Fonte: Autores.

A terceira fase se refere aos cálculos do vetor prioridade, ou vetor 1, cujo resultado estabelece a classificação hierárquica, dos indicadores de sustentabilidade, correspondente a um determinado julgamento. Os cálculos iniciais compreendem o somatório das colunas da matriz, e o somatório dos dados em linha, para cada indicador.

O vetor prioridade representa a razão entre o valor do somatório de cada linha, e o valor do somatório das somas das colunas da matriz. As figuras 8 e 9 apresentam, como exemplo, os resultados do cálculo do vetor prioridade para os PFCA e para os PFEM, respectivamente, referentes à pesquisa realizada com o especialista SP-01.

Figura 8 – Cálculo do vetor prioridade – SP01 (PFCA)

MÉTODO AHP										
ESTRUTURAÇÃO DA MATRIZ DE COMPARAÇÃO 7X7										
ALTERNATIVA: PFCA										
EMPRESA:	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE									
ESPECIALISTA: SP-01	AMBIENTAL					ECONÔMICO	SOCIAL	CÁLCULOS AUXILIARES		VETOR (1)
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	SOMA DAS COLUNAS	SOMA DAS LINHAS	AUTOVE TOR (T)
INDICADORES	CONSUMO: ENERGIA	EMISSÃO: CO2	RECICLAGEM	CONSUMO: ÁGUA	GERAÇÃO: RESÍDUOS	CUSTO US\$/t	*E. & CC			
I1= CONSUMO: ENERGIA	1	3	1	3	1	1	1/3	7,67	10,33	0,16
I2= EMISSÃO: CO2	1/3	1	3	3	3	1/3	1/3	11,00	11,00	0,17
I3= RECICLAGEM	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3	13,00	5,00	0,08
I4= CONSUMO: ÁGUA	1/3	1/3	1	1	1	1	1/3	13,00	5,00	0,08
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	1	1/3	1	1	1	1	1/3	11,00	5,67	0,09
I6= CUSTO US\$/MP	1	3	3	1	1	1	1/3	7,67	10,33	0,16
I7= E. & CC.	3	3	3	3	3	3	1	3,00	19,00	0,29
SOMA DAS COLUNAS	7,67	11,00	13,00	13,00	11,00	7,67	3,00	66,33	66,33	100%

Fonte: Autores.

Figura 9 – Cálculo do vetor prioridade – SP01 (PFEM)

MÉTODO AHP										
ESTRUTURAÇÃO DA MATRIZ DE COMPARAÇÃO 7X7										
ALTERNATIVA: PFEM										
EMPRESA:	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE									
ESPECIALISTA: SP-01	AMBIENTAL					ECONÔMICO	SOCIAL	CÁLCULOS AUXILIARES		VETOR (1)
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	SOMA DAS COLUNAS (W)	SOMA DAS LINHAS	AUTOVE TOR (T)
INDICADORES	CONSUMO: ENERGIA	EMISSÃO: CO2	RECICLAGEM	CONSUMO: ÁGUA	GERAÇÃO: RESÍDUOS	CUSTO US\$/t	*E. & CC			
I1= CONSUMO: ENERGIA	1	1	1	1	1	1	1/3	11,00	6,33	0,09
I2= EMISSÃO: CO2	1	1	3	3	3	3	1/3	6,33	14,33	0,21
I3= RECICLAGEM	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3	13,00	5,00	0,07
I4= CONSUMO: ÁGUA	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3	13,00	5,00	0,07
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	1	1/3	1	1	1	1/3	1/3	13,00	5,00	0,07
I6= CUSTO US\$/MP	3	1/3	3	3	3	1	1/3	9,00	13,67	0,20
I7= E. & CC.	3	3	3	3	3	3	1	3,00	19,00	0,28
SOMATÓRIOS	11,00	6,33	13,00	13,00	13,00	9,00	3,00	68,33	68,33	100%

Fonte: Autores.

Agrupamento das prioridades individuais (AIP)

Aplicação do método de agrupamento das prioridades individuais (AIP), permitiu a consolidação dos resultados obtidos para os vetores prioridades, os quais são apresentados nas figuras 10 e 11, para os PFCA e para os PFEM, respectivamente.

Figura 10 – Consolidação dos resultados – AIP (PFCA)

AGRUPAMENTO DE JULGAMENTO – AIP		
SÍNTESE DOS RESULTADOS		
ALTERNATIVA: PFCA		
EMPRESA:	VETOR NORMALIZADO (AIP)	HIERARQUIA DOS INDICADORES
INDICADORES		
I1= CONSUMO: ENERGIA	0,10	10%
I2= EMISSÃO: CO2	0,10	10%
I3= RECICLAGEM	0,09	9%
I4= CONSUMO: ÁGUA	0,18	18%
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	0,15	15%
I6= CUSTO U\$/M ³	0,22	22%
I7= E. & CC.	0,16	16%
SOMATÓRIOS	1,00	100%

Fonte: Autores.

Figura 11 – Consolidação dos resultados – AIP (PFEM)

AGRUPAMENTO DE JULGAMENTO – AIP		
SÍNTESE DOS RESULTADOS		
ALTERNATIVA: PFEM		
EMPRESA:	VETOR NORMALIZADO (AIP)	HIERARQUIA DOS INDICADORES
INDICADORES		
I1= CONSUMO: ENERGIA	0,11	11%
I2= EMISSÃO: CO2	0,11	11%
I3= RECICLAGEM	0,10	10%
I4= CONSUMO: ÁGUA	0,16	16%
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	0,13	13%
I6= CUSTO U\$/M ³	0,21	21%
I7= E. & CC.	0,17	17%
SOMATÓRIOS	1,00	100%

Fonte: Autores.

Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade é realizada em três estágios, cálculo do autovalor normalizado, cálculo do índice de consistência (IC), e cálculo da razão de consistência (RC), e sua principal função é verificar a qualidade e a coerência dos julgamentos realizados pelos gerentes de projetos.

Os cálculos do autovalor máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$) foram realizados para todas as 78 (setenta e oito) matrizes desenvolvidas, e também para as duas outras matrizes consolidadas pelo método AIP, a partir da equação 1.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = T \cdot w \quad (1)$$

Onde: $\lambda_{m\acute{a}x}$ – autovalor máximo;

T – autovetor normalizado;

w – somatório dos valores das colunas da matriz de comparação de cada critério.

Para confirmar a consistência desta primeira análise qualitativa, o resultado do autovalor deve ser próximo ao número aproximado de linhas e colunas da matriz 7x7, ou seja, próximo do valor teórico 7 (sete).

O índice de consistência indica o quanto o autovalor ($\lambda_{m\acute{a}x}$) está afastado do valor teórico 7 (sete), e é calculado por meio da equação 2.

$$IC = (\lambda_{m\acute{a}x} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

Onde: IC – índice de consistência;

n – valor teórico esperado;

$\lambda_{m\acute{a}x} - n$ – valor do desvio.

Este último estágio do cálculo de sensibilidade é realizado para analisar se o grau de consistência dos julgamentos é satisfatório. A razão de consistência (RC) deve ser menor ou igual a 10%. e é calculada por meio da equação 3. O índice de consistência

randômico, adotado em função do valor teórico 7 (sete), foi o de 1,35 de acordo os índices de consistência randômicos de Alves et al. (2011, p. 50).

$$RC=IC/IR \quad (3)$$

Onde: RC – razão de consistência;

IC – índice de consistência;

IR – índice de consistência randômico.

As figuras 12 e 13 apresentam as matrizes com os resultados obtidos da análise de sensibilidade aplicada à síntese dos resultados segundo o método AIP.

Figura 12 – Análise de sensibilidade dos resultados – AIP (PFCA)

AGRUPAMENTO DE JULGAMENTO – AIP							
SÍNTESE DOS RESULTADOS							
ALTERNATIVA: PFCA							
EMPRESA:	VECTOR NORMALIZADO (AIP)	HIERARQUIA DOS INDICADORES	ANALISE DE SENSIBILIDADE				
INDICADORES			AUTOVALOR	AUTOVALOR MÁXIMO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	RAZÃO DE CONSISTÊNCIA	
			λ	≤ 7	$(\lambda \text{ máx.} - n) / (n - 1)$	$\leq 0,10$	
	AUTOVECTOR (T)		$\lambda = W * T$	$\lambda \text{ máx.}$	IC	$RC = IC / CA$	
I1= CONSUMO: ENERGIA	0,10	10%	0,56	11,06	0,68	0,51	
I2= EMISSÃO: CO2	0,10	10%	1,92				
I3= RECICLAGEM	0,09	9%	2,29				
I4= CONSUMO: ÁGUA	0,18	18%	0,82				
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	0,15	15%	3,13				
I6= CUSTO U\$/M³	0,22	22%	1,64				
I7= E. & CC.	0,16	16%	0,70				
SOMATÓRIOS	1,00	100%	11,06	nok!		nok!	

Fonte: Autores.

Figura 13 – Análise de sensibilidade dos resultados – AIP (PFEM)

AGRUPAMENTO DE JULGAMENTO – AIP						
SÍNTESE DOS RESULTADOS						
ALTERNATIVA: PFEM						
EMPRESA:	VETOR NORMALIZADO (AIP)	HIERARQUIA DOS INDICADORES	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE			
INDICADORES			AUTOVALOR	AUTOVALOR MÁXIMO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	RAZÃO DE CONSISTÊNCIA ≤ 0,10
			λ	≤ 7	$(\lambda \text{ máx.} - n) / n - 1$	CA=1,32
	AUTOVETOR (T)		$\lambda = W * T$	$\lambda \text{ máx.}$	IC	RC = IC / CA
11= CONSUMO: ENERGIA	0,11	11%	0,55	12,87	0,98	0,74
12= EMISSÃO: CO2	0,11	11%	3,03			
13= RECICLAGEM	0,10	10%	2,79			
14= CONSUMO: ÁGUA	0,16	16%	0,75			
15= GERAÇÃO: RESÍDUOS	0,13	13%	3,21			
16= CUSTO U\$/MP	0,21	21%	1,80			
17= E. & CC.	0,17	17%	0,74			
SOMATÓRIOS	1,00	100%	12,87	nok!		nok!

Fonte: Autores.

Cálculo de valoração global

Seguindo-se os procedimentos da metodologia proposta, o cálculo de valoração global não foi aqui aplicado tendo em vista que a análise de sensibilidade, indicou uma inconsistência entre as opiniões dos 39 (trinta e nove) especialistas consultados, com um RC acima de 10%. Essa inconsistência revela uma divergência de opiniões entre os gerentes de projetos industriais, com relação ao grau de importância relativa de cada indicador de sustentabilidade, no contexto dos métodos construtivos PFCA e PFEM. No entanto, caso o RC encontrado estivesse acima de 10%, a estabilidade do modelo poderia ser analisada a partir da equação 4.

$$VG = \sum_{j=1}^n p_j v_j \quad (4)$$

Onde: $0 < p_j < 1$ ($j=1, \dots, n$)

VG – valor global da alternativa analisada;

p_j – importância relativa do critério j ;

v_j – nível de preferência da alternativa analisada no critério j .

Finalização do método

Os resultados das análises de sensibilidade do método AHP indicaram que não há um consenso entre aqueles responsáveis pelas tomadas de decisão, revelando ser a sustentabilidade um assunto ainda polêmico entre os gerentes de projetos industriais, atuantes no estado do Rio de Janeiro, no setor de óleo & gás. Por outro lado, os resultados referentes à hierarquia dos indicadores de sustentabilidade, segundo os seus graus de importância, obtida na primeira fase do estudo, mostraram-se consistentes e coerentes à literatura pesquisada. Isto porque o referencial teórico indicou que o setor de construção civil, em geral, prioriza os indicadores relacionados aos custos de execução da obra, em detrimento de outros fatores, tais como aqueles relacionados à sustentabilidade, tanto para os PFCA, quanto para os PFEM.

Segundo a literatura, em caso de inconsistência, deve-se revisar matriz de comparação do método AHP, ou seja, devem ser revistos os julgamentos, através de novas entrevistas ou aplicação de outro questionário aos especialistas. Por outro lado, tais resultados também podem estar indicando uma falta de maturidade, por parte de alguns gerentes de projetos, no entendimento da importância de soluções construtivas mais aderentes aos preceitos da sustentabilidade. Destaca-se ainda que 5 (cinco) formulários, dos 39 (trinta e nove) preenchidos pelos especialistas de projeto, obtiveram as análises de sensibilidade adequadas, segundo as regras do método.

Sendo assim, a aplicação do método AHP foi finalizada, e foram realizadas as análises dos dados resultantes da pesquisa de campo, referentes aos julgamentos dos especialistas, com relação ao grau de importância de cada indicador em relação aos demais.

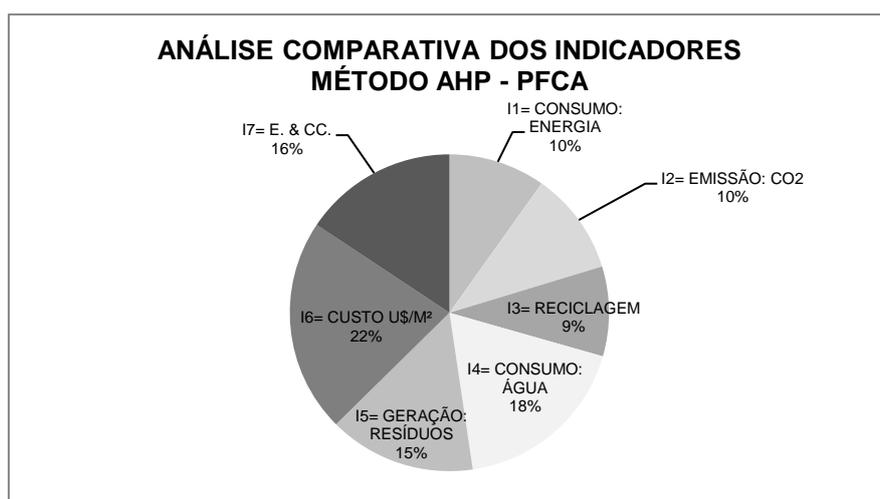
ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise de sensibilidade, cujo objetivo foi testar a qualidade e a consistência dos julgamentos dos especialistas, revelou algumas divergências para a consistência global dos resultados, considerando 100% da amostra. Na análise de consistência específica, um grupo de 5 (cinco) especialistas, 13% da amostra, apresentou uma convergência de opiniões.

Análise de consistência global

As análises de consistência, referentes ao total da amostra, revelaram que os especialistas de projeto percebem o indicador de custo/t fabricada como determinante para a tomada de decisão. Este resultado pode ser comparado às primeiras análises da pesquisa que indicaram uma forte influência dos indicadores econômicos nos projetos industriais. Os resultados apresentados para esta análise foram obtidos em função da média, utilizando o método AIP, que representa a média aritmética dos vetores prioridades do método AHP. A figura 14 apresenta os resultados e o grau de importância dos indicadores de sustentabilidade, para o modelo PFCA, e destaca-se que o indicador de custo é o principal critério adotado pelos gerentes de projeto para as tomadas de decisão.

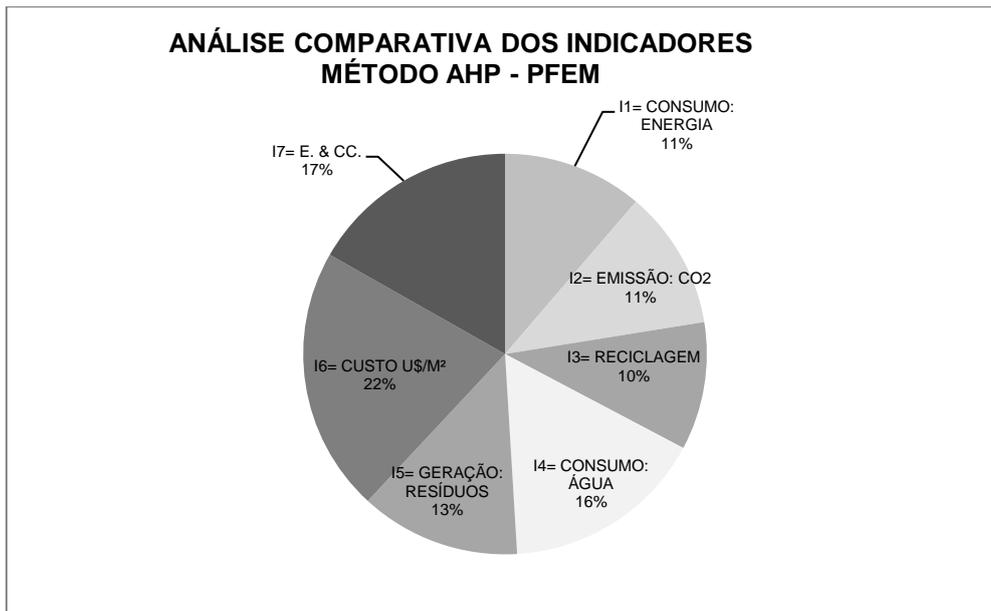
Figura 14 – Análise comparativa dos indicadores – PFCA



Fonte: Autores.

Para as análises do modelo PFEM, os resultados foram semelhantes. Assim como no modelo PFCA, os especialistas de projeto avaliaram que o indicador de custos é o mais importante para a tomada de decisão. A figura 15 apresenta os resultados dessa avaliação comparativa dos indicadores de sustentabilidade, definindo uma escala hierárquica para o modelo PFEM.

Figura 15 – Análise comparativa dos indicadores – PFEM



Fonte: Autores.

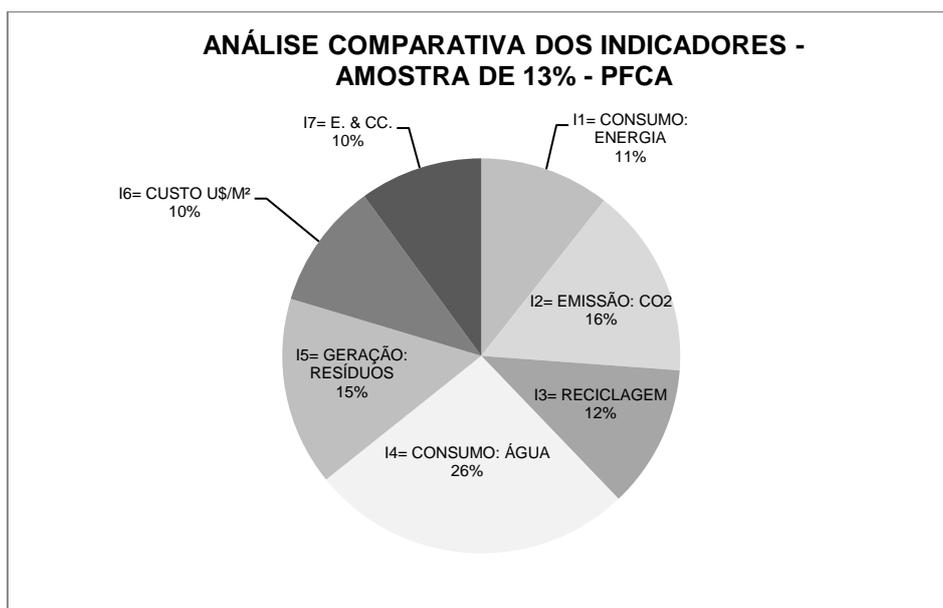
A análise dos resultados revelou que, em ambos os modelos construtivos, o indicador de custos/t fabricada foi o critério de maior grau de importância para a tomada de decisão.

Análise de consistência específica

Estas análises são decorrentes dos resultados gerados pelo grupo de 13% de participantes da pesquisa, cujas opiniões se mostraram consistentes no teste de sensibilidade, ou seja, foram validadas segundo o método AHP. Para esta amostra, os critérios e as classificações da ordem hierárquica dos indicadores de sustentabilidade, podem sofrer alterações em relação ao total da amostra.

Os resultados em análise demonstram que os indicadores ambientais superam os demais e são percebidos como indicadores estratégicos para a tomada de decisão. No entanto, vale ressaltar que o tamanho desta amostra é inferior ao mínimo calculado como representativo, portanto indicando uma tendência. A figura 16 apresenta a distribuição dos resultados da análise comparativa deste grupo.

Figura 16 – Análise comparativa dos indicadores - amostra de 13% - PFCA



Fonte: Autores.

Assim como verificado para o modelo PFCA, as análises comparativas dos indicadores no modelo PFEM demonstraram resultados semelhantes. Isto é, revelaram que o indicador de consumo de água foi considerado o mais importante na análise comparativa. A figura 17 apresenta os resultados obtidos para o modelo PFEM.

Figura 17 – Análise comparativa dos indicadores - amostra de 13% - PFEM



Fonte: Autores.

A importância atribuída aos indicadores ambientais está alinhada com o grau de importância dos indicadores de sustentabilidade, aferidos nas pesquisas de campo. Isto é, 35 (trinta e cinco) dos entrevistados, 90% da amostra, concordaram que os indicadores ambientais são de vital importância em projetos industriais. A interpretação destes resultados da pesquisa pode indicar também que o setor de construção industrial, no estado do Rio de Janeiro, começa a ter uma visão mais responsável com as questões relacionadas à sustentabilidade.

Segundo Chong et al. (2009, p.338) o setor da indústria de construção tem se empenhado em obter mais informações e, com isso, aumentar a conscientização sobre desenvolvimento sustentável e sobre os impactos negativos decorrentes das fases de construção, quando comparadas às práticas do passado. Em síntese, há uma demanda crescente da sociedade com relação aos valores sustentáveis, e às práticas que se preocupam com a qualidade do meio ambiente.

Análises comparativas dos indicadores para PFCA e PFEM

Segundo Kibert (1994, p. 4), os critérios técnicos para a seleção de materiais são muito difíceis de serem aplicados no mundo real da construção. No passado, os critérios de energia e recursos hídricos não estavam conectados entre si, e nem tão pouco eram integrados às análises comparativas para seleção de materiais, ou para outras questões relacionadas à construção sustentável. Para Yates (2008, p.5), é iminente uma reformulação dos sistemas e processos construtivos que, por fim, permitam soluções mais adequadas em face da escassez de recursos naturais, de energia e de outros problemas correlatos.

Em estudos sobre indicadores de sustentabilidade aplicados à infraestrutura sustentável na África do Sul, Haupt & Ugwu (2007, p. 678) elegem três níveis possíveis de soluções para resolverem os problemas de sustentabilidade na construção, e ampliar o desenvolvimento sustentável. Segundo os autores (Ibid.), o primeiro nível envolve treinamento aprimorado das partes interessadas e dos profissionais da construção civil, com a proposta de uma mudança para incorporar sustentabilidade e desenvolvimento sustentável na grade curricular de ensino. O segundo nível está relacionado à eficiência dos processos de decisão, e o terceiro envolve transformações institucionais a nível governamental.

Embora as análises comparativas desta pesquisa tenham revelado um perfil conservador, por parte dos gerentes de projeto, na condução de projetos industriais, Ji et al. (2010, p. 255) argumentam que há uma conscientização crescente para que questões sociais e econômicas sejam superadas por questões ambientais. No entanto, o setor ainda tem o tradicional foco no controle de custos, prazo e qualidade, e menos atenção nas questões sociais e ambientais, no desenvolvimento dos projetos. Mas, observa-se que embora este estudo tenha revelado que o indicador de custos supere os demais, também revelou que os indicadores relacionados ao consumo de água e empregabilidade, por exemplo, foram bem avaliados.

A figura 18 apresenta as análises comparativas dos indicadores de sustentabilidade, para PFCA e PFEM, baseadas na análise de consistência global, utilizando o método de agrupamento de julgamento e desconsiderando às análises de sensibilidade do método AHP.

Figura 18 – Análises comparativas - análise de consistência global

MÉTODO AHP		NÍVEL DE HIERARQUIAS DO MÉTODO AHP	RESULTADO DA ANÁLISE COMPARATIVA	MÉTODO AHP		NÍVEL DE HIERARQUIAS DO MÉTODO AHP	RESULTADO DA ANÁLISE COMPARATIVA
PFCA	VETOR NORMALIZADO			PFCA	VETOR NORMALIZADO		
INDICADORES SUSTENTABILIDADE	AUTOVECTOR (T)			INDICADORES SUSTENTABILIDADE	AUTOVECTOR (T)		
I1= CONSUMO: ENERGIA	0,098	10%	6º	I1= CONSUMO: ENERGIA	0,112	11%	6º
I2= EMISSÃO: CO2	0,105	10%	5º	I2= EMISSÃO: CO2	0,112	11%	5º
I3= RECICLAGEM	0,09	9%	7º	I3= RECICLAGEM	0,10	10%	7º
I4= CONSUMO: ÁGUA	0,18	18%	2º	I4= CONSUMO: ÁGUA	0,16	16%	2º
I5= GERAÇÃO: RESÍDUO	0,15	15%	4º	I5= GERAÇÃO: RESÍDUO	0,13	13%	4º
I6= CUSTO U\$/M²	0,22	22%	1º	I6= CUSTO U\$/M²	0,21	21%	1º
I7= E. & CC.	0,16	16%	3º	I7= E. & CC.	0,17	17%	3º
TOTAL	1,00	100%		TOTAL	1,00	100%	

Fonte: Autores.

Na análise de consistência específica, o panorama foi alterado. Nesta avaliação, as análises comparativas dos PFCA e PFEM revelaram preocupações mais voltadas para o meio ambiente. Os indicadores de sustentabilidade são vistos como estratégicos em ambos os métodos construtivos. A figura 19 apresenta as análises comparativas parciais desta amostra (13% do total da amostra).

Figura 19 – Análises comparativas - análise de consistência específica

MÉTODO AHP		NÍVEL DE HIERARQUIAS DO MÉTODO AHP	RESULTADO DA ANÁLISE COMPARATIVA	MÉTODO AHP		NÍVEL DE HIERARQUIAS DO MÉTODO AHP	RESULTADO DA ANÁLISE COMPARATIVA
PFCA	VECTOR NORMALIZADO			PFEM	VECTOR NORMALIZADO		
INDICADORES SUSTENTABILIDADE	AUTOVECTOR (T)			INDICADORES SUSTENTABILIDADE	AUTOVECTOR (T)		
I1= CONSUMO: ENERGIA	0,11	11%	5º	I1= CONSUMO: ENERGIA	0,116	12%	6º
I2= EMISSÃO: CO2	0,16	16%	2º	I2= EMISSÃO: CO2	0,17	17%	2º
I3= RECICLAGEM	0,12	12%	4º	I3= RECICLAGEM	0,15	15%	4º
I4= CONSUMO: ÁGUA	0,26	26%	1º	I4= CONSUMO: ÁGUA	0,22	22%	1º
I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	0,15	15%	3º	I5= GERAÇÃO: RESÍDUOS	0,16	16%	3º
I6= CUSTO US\$/M³	0,103	10%	5º	I6= CUSTO US\$/M³	0,117	12%	5º
I7= E. & CC.	0,100	10%	6º	I7= E. & CC.	0,08	8%	7º
TOTAL	1,00	100%		TOTAL	1,00	100%	

Fonte: Autores.

CONCLUSÕES

O concreto armado e a estrutura metálica são muito usados em projetos industriais, em plantas *onshore* de óleo & gás. A princípio, o uso de um método construtivo em detrimento de outro, ou o uso misto de ambos, está condicionado a vários fatores que serão convenientemente avaliados pelos gerentes de projeto, durante a tomada de decisão.

Com o objetivo de se investigar a percepção desses gerentes de projeto, a respeito dos pesos relativos desses fatores, sob a ótica da sustentabilidade, uma metodologia foi desenvolvida, tomando como base o método AHP. Uma pesquisa de campo foi elaborada e aplicada a gerentes de projeto, atuantes no estado do Rio de Janeiro, e o tamanho amostra foi calculado a partir dos métodos estatísticos. Com um total de trinta e nove questionários devidamente respondidos, foi aplicada a metodologia proposta.

Os questionários foram formulados em módulos com três seções ao todo. As duas últimas seções eram específicas referentes aos PFCA e PFEM, em que os especialistas de projetos atribuíram pesos relativos aos julgamentos dos indicadores de sustentabilidade individualmente (na 1ª etapa) e na sequência, comparavam o indicador par a par. A análise comparativa global revelou que o indicador custo/tonelada foi o mais importante na percepção dos especialistas, no contexto dos projetos industriais, do setor de óleo & gás, tanto para PFCA, quanto para PFEM, revelando-se o mais estratégico para a tomada de decisão.

Este resultado está alinhado com a literatura pesquisada, cujo enfoque ainda prevalece sobre fatores econômicos em detrimento dos fatores sociais e ambientais. De acordo com o PMI (2013, p.219) o índice de desempenho de custos é considerado a métrica crítica no desenvolvimento de projetos. Logo, o resultado desta análise comparativa reforça essa visão prática dos gerentes de projeto.

No entanto, na verificação da análise comparativa específica, verificou-se outro cenário. De acordo com os resultados obtidos de 13% dos especialistas, cujas respostas se mostraram mais consistentes e de melhor qualidade, conforme as análises de sensibilidade do método AHP, o consumo de água superou o fator custos, como indicador mais importante para a tomada de decisão estratégica.

Esse resultado contrasta com a análise comparativa global, e confirma que o tema é controverso, e que ainda não há um consenso entre os gerentes de projetos industriais, do setor de óleo & gás, com relação à importância dos indicadores de sustentabilidade durante o desenvolvimento dos projetos.

REFERÊNCIAS

AHN, Yoon-gih; PARK, Jeong-ho. Strategic environmental management of Korean construction industry in the context of typology models. **Journal of Cleaner Production**, 23, p. 158-166, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611004185>. Acesso em 06/01/2016.

ALVES, Luiz Henrique D.; FERREIRA, Ubirajara R.; MARINS, Fernando A. S.; SILVA, Helder Antônio da; SILVA, Messias B. Uso do AHP na avaliação do desempenho do sistema de gestão da qualidade, meio ambiente e segurança e saúde ocupacional integrados. **Dirección y Organización**, n.44, p.48-63, 2011. Disponível em: <http://www.revistadyo.com/index.php/dyo/article/view/369>. Acesso em: 31/05/2016.

BELDERRAIN, M. C. N.; SILVA, R. M. da. Considerações sobre Métodos de Decisão Multicritério. **ITA – Divisão de Engenharia Mecânica Aeronáutica**. 2006. 6p. Disponível em: <http://www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf>. Acesso em: 13/03/2017.

BRASIL. Boletim da produção de petróleo e gás natural – Julho 2021. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Julho 2021. Número 131. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/bmp/2021/2021-07-boletim.pdf>. Acesso em: 16/09/2021.

BRUNDTLAND, G.H. Report of the World Commission on Environment and Development. **General Assembly of United Nations**, 1987. 318p. Disponível em:

unesco/de/Downloads/Hintergrundmaterial_international/Brundtlandbericht.File.pdf.
Acesso em: 25/05/2016.

CASTRO, R. C. M de; FREITAS, A. M. S. Steel Framing: Arquitetura. **CBCA**. Rio de Janeiro, 2006. 124p. Disponível em: <https://cbca-ibs.org.br>. Acesso em: 04/05/2016.

CHEN, Ying; OKUDAN, Gül E; RILEY, David R. Decision support for construction method selection in concrete buildings: Prefabrication adoption and optimization. **Automation in Construction**, 19, p. 665–675, 2010. Disponível em: <http://www-sciencedirect-com.ez24.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926580510000385>. Acesso em: 16/12/2015.

CHONG, Wai K.; CHOU, Jui-Sheng; KIM, Changwan; SON, Hyojoo. Implementing Sustainable Development in the Construction Industry: Constructors Perspectives in the US and Korea. **Sustainable Development**, 19, p. 337–347, 2009. Disponível em: wileyonlinelibrary.com. Acesso em: 17/09/2015.

CII - CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Sustainable Design and Construction for Industrial Construction: Implementation Resources**. 2009. 44 p. Disponível em: <http://construction-institute.org/catalog.htm>. Acesso em: 02/10/2015.

ECP - European Concrete Platform. **Sustainable Benefits of Concrete Structures**. 2009. 40 p. Disponível em: <http://www.bibm.eu/Documenten/Book%20final%20version.pdf>. Acesso em: 18/12/2016.

FARIA, Daniela G.M. **Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise de Hierárquica (AHP)**. São Paulo, 2011. Tese de Doutorado em Ciências em Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. 194 p. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-08122011-110908/pt-br.php>. Acesso em: 21/05/2016.

FISHER, D; SKIBNIEWSKI, M. Computerized Decision Support for Modularization of Industrial Construction. **CII**. 1992. 163 p. Disponível em: <http://construction-institute.org/catalog.htm>. Acesso em: 02/10/2015.

FORMAN, E; PENIWATI, K. Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 108, n. 1, p. 165-169, 1988. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221797002440>. Acesso em: 04/04/2017.

HAUPT, T.C. & UGWU, O.O. Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability - a South African construction industry perspective. **Building and Environment**, 42, p. 665-680, 2007. Disponível em: <http://www-sciencedirect-com.ez24.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0360132305004555>. Acesso em: 15/09/2015.

HORMAN, Michael J.; PULASKI, Michael H.; RILEY, David R. Constructability Practices to Manage Sustainable Building Knowledge. **Journal of Architectural**

Engineering, p. 83-92, 2006. Disponível em: <http://search.proquest.ez24.periodicos.capes.gov.br/docview/289928541>. Acesso em: 10/09/2015.

IABr - INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade de 2014**.

Disponível em:

http://www.acobrasil.org.br/site2015/downloads/Relatorio_Sustentabilidade_2014.pdf Acesso em: 2/05/2016.

JAILLON, Lara; POON, C.S. The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector. **Automation in Construction**, 18, p. 239–248, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580508001477>. Acesso em: 16/12/2015.

JI, Ying-bo; SHEN, Li-yin; TAM, Leona; TAM, Vivian W.Y. Project feasibility study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice. **Journal of Cleaner Production**, 18, p. 254-259, 2010. Disponível em: <http://www-sciencedirect-com.ez24.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652609003424>. Acesso em: 21/09/2015.

KIBERT, C.J. Establishing principles and a model for sustainable construction. **Proceedings of the First International Conference of CIB TG16**. Flórida, 1994, p.10. Disponível em: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC24773.pdf. Acesso em 21/09/2015.

LI, Zhengdao; SHEN, Geoffrey Qiping; XUE, Xiaolong. Critical review of the research on the management of prefabricated construction. **Habitat International**, 43, p. 240-249, 2014. Disponível em: <http://www-sciencedirect-com.ez24.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0197397514000459>. Acesso em: 16/12/2015.

LU, Weisheng; YUAN, Hongping. Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 28, p. 804–811, 2013. Disponível em: <http://www-sciencedirect-com.ez24.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1364032113005881>. Acesso em: 16/12/2015.

PMI. Guia PMBOK – Guia de Conhecimento em Gerenciamento de Projetos. 5d. **Global Standard 2013**. 595 p. Disponível em: <https://brasil.pmi.org/brazil/PMBOKGuideAndStandards.aspx>. Acesso em: 05/08/2015.

RICHARD, Roger-Bruno. Industrialized Building Systems: Reproduction before Automation and Robotics. **Proceedings of the 20th ISARC**, Eindhoven, Holland, p. 333-338, 2003. Disponível em: <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/isarc2003-38.pdf>. Acesso em: 03/05/2016.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases**. A Basis for greener processes and products. 2011, 160 p. Disponível em: <http://www.unep.org>. Acesso em: 11/01/2016.

WU, Peng. ZHONG, Yun. Economic sustainability, environmental sustainability and constructability indicators related to concrete- and steel-project. **Journal of Cleaner**

Production, p.1-9, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect-com.ez24.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652615006630>. Acesso em: 21/09/2015.

YATES, J. K. Sustainable Industrial Construction. **CII Research Report 250-11**. 2008. 223 p. Disponível em: <http://construction-institute.org/catalog.htm>. Acesso em: 16/06/2016.

Recebido em: 15/09/2021

Aprovado em: 15/10/2021

Publicado em: 18/10/2021