



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## USO DO CLUSTERING PARA ANÁLISE DO IMPACTO DO SISTEMA CONSTRUTIVO NO CONSUMO DE ÁGUA, CONSUMO DE ENERGIA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CANTEIRO DE OBRAS <sup>1</sup>

FERNANDES, Luara (1); ROCHA, Mércurie (2) COSTA, Dayana (3)

(1) Universidade Federal da Bahia, luara.fernandes@gmail.com

(2) Universidade Federal da Bahia, mercurie\_janeai@hotmail.com

(3) Universidade Federal da Bahia, dayanabcosta@ufba.br

### RESUMO

*O setor da construção ainda contribui bastante com impactos negativos causados ao meio ambiente, porém está ciente da sua responsabilidade com a sustentabilidade no ciclo de vida de uma edificação. Visando a mitigação de impactos, o setor tem usado a medição de desempenho, com o emprego de indicadores ambientais. No entanto, muitas vezes os gestores avaliam esses indicadores do ponto de vista qualitativo, não utilizando técnicas de análise quantitativa, as quais podem explicitar tendências e problemas não tão evidentes. Assim, o objetivo desse estudo piloto é avaliar a eficácia da técnica clustering (agrupamento) para análise de padrão de impacto ambiental de obras de edificações, a partir de valores de referência dos indicadores do PBQP-H. O estudo aplicou a técnica visando identificar se o sistema construtivo é uma característica do projeto de construção que tem influência nos impactos ambientais associados a esses indicadores. A principal contribuição desse estudo é a identificação do clustering como possível instrumento nesse tipo de análise, uma vez que foram verificadas tendências de agrupamento de canteiros por sistema construtivo.*

**Palavras-chave:** Indicadores de sustentabilidade. Canteiro de Obras. Impacto ambiental. Clustering.

### ABSTRACT

*The construction sector still contributes a lot to the negative impacts caused to the environment, but it is aware of its responsibility for sustainability in the life cycle of a building. Aiming to mitigate impacts, the sector has been using performance measurement, with the use of environmental indicators. However, managers often evaluate these indicators from a qualitative point of view, not using quantitative analysis techniques, which may explain trends and problems that are not so evident. Thus, the purpose of this pilot study is to assess the effectiveness of the clustering technique for analyzing the environmental impact pattern of building projects in the construction phase, based on reference values of the PBQP-H indicators. The study applied the technique aiming to identify if the construction system is a characteristic of the construction project that influence the environmental impacts associated with these indicators. The main contribution of this study is the identification of the clustering as a possible instrument in this type of analysis, since it was possible to verify trends related to the construction system in the grouping of the sites in clusters.*

---

<sup>1</sup> FERNANDES, Luara; ROCHA, Mércurie; COSTA, Dayana. Uso do *clustering* para análise do impacto do sistema construtivo no consumo de água, consumo de energia e geração de resíduos de canteiro de obras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre.

Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

**Keywords:** Sustainability indicators. Construction sites. Environmental impact. Clustering.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção de um edifício contribui significativamente com impactos negativos causados ao meio ambiente (ARAÚJO, 2009). Sendo assim, deve-se definir os recursos tecnológicos e as ações gerenciais necessárias para gerenciar os impactos, selecionando os recursos que precisam ser implementados e os prazos e custos envolvidos (CARDOSO; ARAUJO, 2007). Desta forma, a gestão ambiental de canteiros de obras utiliza os indicadores de sustentabilidade para monitoramento das condições e desempenho ambiental de canteiros (TAM *et al.*, 2006).

No Brasil, verifica-se esforços para definir indicadores de sustentabilidade nas diferentes escalas do espaço construído (SILVA, 2007). Como exemplo, o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H) passou a solicitar das empresas certificadas a coleta de seis indicadores da qualidade voltados à sustentabilidade durante a etapa de construção e no final da obra, sendo eles: indicador de geração de resíduos ao longo da obra ( $m^3/\text{trabalhador}$ ); indicador de geração de resíduos ao final da obra ( $m^3/m^2$ ); indicador de consumo de água ao longo da obra ( $m^3/\text{trabalhador}$ ); indicador de consumo de água ao final da obra ( $m^3/m^2$ ); indicador de consumo de energia ao longo da obra ( $kWh/\text{trabalhador}$ ); indicador de consumo de energia ao final da obra ( $kWh/m^2$ ).

Entretanto, muitas vezes os estudos sobre os indicadores se concentram apenas no aspecto qualitativo, deixando de lado a oportunidade de uma análise quantitativa com a possibilidade de evidenciar uma série de informações relevantes. Nesse sentido, este trabalho é resultado de um estudo piloto e tem como principal objetivo avaliar a eficácia do *clustering* para análise de padrão de impacto ambiental de obras de edificações, a partir de valores de referência dos indicadores do PBQP-H. A técnica foi aplicada visando verificar se o sistema construtivo é uma das características do projeto de construção que tem influência nos impactos ambientais associados ao consumo de água, consumo de energia e a geração de resíduos. Foram elaborados três modelos para análise de agrupamento, sendo que, para melhor atender os fins do estudo, foi analisado o modelo estabelecido com três *clusters*. O *clustering* é uma técnica amplamente utilizada para análise de dados, a qual apresenta resultados com relativa rapidez e precisão. Esta foi adotada neste trabalho com o propósito de verificar a sua aplicabilidade na identificação de tendências que indicadores de desempenho podem apresentar.

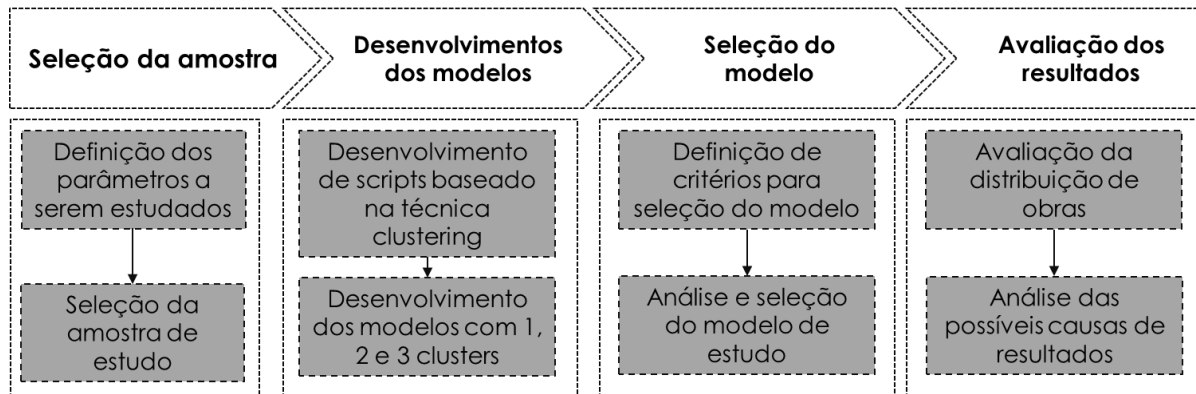
## 2 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho se caracteriza como estudo experimental, no qual, de acordo com Fontelles *et al.* (2009) é qualquer pesquisa que envolve experimento. Nesse tipo de estratégia, o pesquisador seleciona as variáveis a serem estudadas, delibera a forma de controle e faz a observação dos efeitos da pesquisa (FONTELLES, 2009). O delineamento do estudo está apresentado na Figura 1.

A primeira etapa do estudo envolveu a definição dos parâmetros a serem estudados, sendo selecionados os seis indicadores do PBQP-H. Os indicadores ao longo da obra (medidos mensalmente) foram avaliados em três faixas diferentes de progresso de obra, 0%-40%, 40%-70%, 70%-100% e os indicadores ao final (medidos apenas uma vez ao final da obra) apenas na faixa de 100%. As três faixas foram delimitadas para agrupar as fases iniciais, intermediárias (nas quais acontecem um maior volume de

atividades simultâneas), e as fases finais. A segmentação foi realizada dessa forma por entender que a atividade da construção é complexa e a análise de impactos da etapa de construção a partir de um único valor pode omitir características importantes dos projetos estudados.

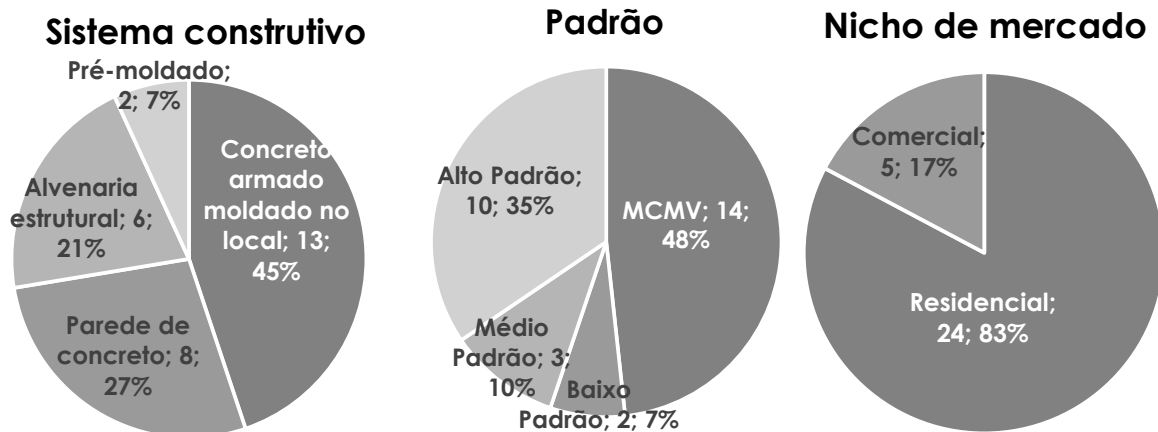
Figura 1 – Delineamento do estudo



Fonte: Autores

Assim, a partir da base de 186 obras levantadas e estudadas por Fernandes (2020), foram selecionadas aquelas que já estavam com 85% ou mais de progresso (ou já estavam finalizados) e possuíam valores de indicadores ao longo e ao final da obra, resultando em um total de 29 obras. A caracterização das obras estudadas está apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Caracterização dos canteiros estudados



Fonte: Autores

Após essa etapa, foi desenvolvido um *script* baseado em aprendizado de máquina que emprega o *clustering*. Esta técnica envolve o processo de agrupamento dentro de uma classe (OHATA; QUINTANILHA, 2005) e tem como objetivo dividir um conjunto de dados em grupos (*clusters*), de forma que os dados dentro de um *cluster* possuam alta similaridade entre si (MACIEL; VINHAS; CÂMARA, 2014). O *clustering* pode ser útil na identificação de características escondidas dos dados e no desenvolvimento das hipóteses relacionadas a sua natureza (LINDEN, 2009). Para os fins desse estudo, foi utilizada a linguagem Python, em sua terceira versão, com o auxílio do módulo *Scikit-learn*. O algoritmo de aprendizado adotado foi o *kmeans*, uma vez que este apresenta uma das convergências mais rápidas dentre os algoritmos disponíveis

(PEDREGOSA *et al.*, 2011).

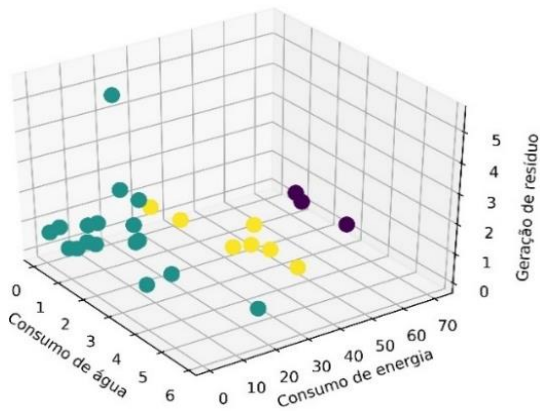
A escolha do número adequado de clusters é feita a partir do aspecto visual da distribuição dos pontos e da experiência do usuário (PEDREGOSA *et al.*, 2011). Desta forma, foi testado o agrupamento dos dados em 1, 2 e 3 *clusters*, verificando em qual destes os dados ficaram menos dispersos. Foram inseridos dados de indicadores ao longo da obra e ao final da obra nas faixas determinadas para esse estudo, visando encontrar padrão de ajuntamento entre as obras. Os dados de entrada foram as medianas de referência das obras dos seis indicadores selecionados para estudo.

Após isso, foram analisados os agrupamentos por sistema construtivo, bem como as possíveis causas para os resultados obtidos. Os resultados e as discussões estão apresentados nas próximas seções.

### 3 RESULTADOS

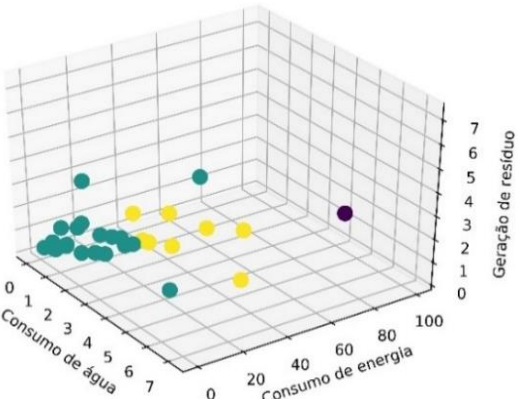
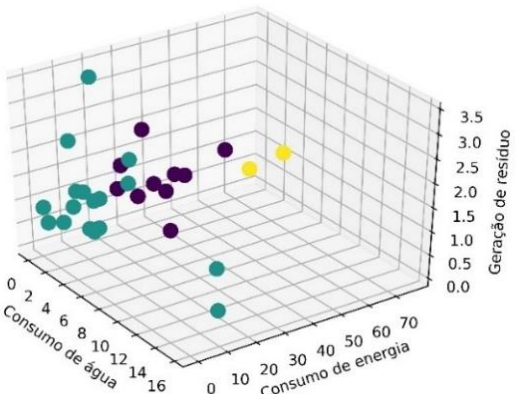
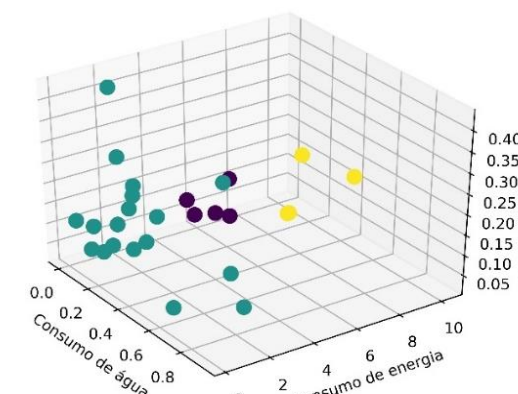
A Tabela 1 apresenta as distribuições das obras nos *clusters* (grupos) e a caracterização dos grupos em função do sistema construtivo. A princípio, o algoritmo fez a distribuição para um *cluster*, visando identificar se havia diferença significativa entre os valores dos indicadores da amostra. Verificou-se grande dispersão dos dados, evidenciando um padrão diferente entre as obras. Para dois *clusters*, os resultados apresentam um ajuntamento mais homogêneo, porém ainda havia alguns dados dispersos que poderiam ser agrupados de maneira mais padronizada. A partir daí, foi testada a possibilidade da utilização de três *clusters*, que apresentou um agrupamento mais bem definido.

Tabela 1.a – Distribuição e caracterização dos *clusters* obtidos

Distribuição das obras nos <i>clusters</i> para cada faixa de estudo	Caracterização do grupo em função do sistema construtivo
<p data-bbox="252 1176 767 1211">0%-40% (Indicadores ao longo da obra)</p> 	<p data-bbox="842 1176 1394 1305">Grupo roxo (0): menor grupo, formado unicamente por obras de CA, englobando 23% de todas as obras desse sistema;</p> <p data-bbox="842 1323 1394 1453">Grupo verde (1): grupo que abrange a maior parte da amostra (58,6%). Engloba todas as obras de PC, 30,7% das obras de CA, 83,3% de AE e uma das obras de PRM;</p> <p data-bbox="842 1471 1394 1565">Grupo amarelo (2): engloba 38,5% das obras de CA, uma das obras de AE e uma das obras de PRM.</p>
<p data-bbox="199 1659 1331 1722">LEGENDA: CA = Concreto Armado Moldado no Local; PC = Parede de Concreto; AE = Alvenaria Estrutural; PRM = Concreto Pré-Moldado</p>	

Fonte: Autores

Tabela 1.b – Distribuição e caracterização dos *clusters* obtidos

Distribuição das obras nos <i>clusters</i> para cada faixa de estudo	Caracterização do grupo em função do sistema construtivo
<p>40-70% (Indicadores ao longo da obra)</p> 	<p>Grupo roxo (0): menor grupo, formado unicamente por uma obra de de CA;</p> <p>Grupo verde (1): grupo que abrange a maior parte da amostra (69%). Engloba todas as obras de PC, 46,2% das obras de CA, 83,3% de AE e uma das obras de PRM;</p> <p>Grupo amarelo (2): engloba 38,5% das obras de CA, uma das obras de AE e uma das obras de PRM.</p>
<p>70%-100% (Indicadores ao longo da obra)</p> 	<p>Grupo roxo (0): predominância das obras de CA, englobando 53,8% das obras desse sistema e uma das obras de cada outro (PC, AE e PRM).</p> <p>Grupo verde (1): grupo que abrange a maior parte da amostra (58,62%). Engloba 87,5% das obras de PC, 30,77% CA, 83,3% de AE e uma das obras de PRM;</p> <p>Grupo amarelo (2): menor grupo, formado apenas por obras duas obras de CA.</p>
<p>100% - Indicadores ao final da obra</p> 	<p>Grupo roxo (0): predominância das obras de CA, englobando 30,8% das obras desse sistema. Também foi agrupada nesse <i>cluster</i> uma obra de PC.</p> <p>Grupo verde (1): grupo que abrange a maior parte da amostra (69%). Engloba 87,5% das obras de PC, 38,5% CA, 100% de AE e as duas obras de PRM (100%).</p> <p>Grupo amarelo (2): menor grupo, formado apenas por obras de CA (30,8% do total da amostra desse sistema).</p>

LEGENDA: CA = Concreto Armado Moldado no Local; PC = Parede de Concreto; AE = Alvenaria Estrutural; PRM = Concreto Pré-Moldado

Fonte: Autores

É importante salientar inicialmente que, os grupos, nomeados pelo algoritmo como 0 (roxo), 1 (verde) e 2 (amarelo) não indicam qualquer sequência no sentido de os grupos 1 e 2 terem índices superiores ao 0, apenas que as obras contidas no grupo possuem semelhanças entre elas. Os resultados apontaram que algumas obras não permanecem sempre nos mesmos grupos, indicando algumas mudanças de padrões (especialmente para concreto armado moldado no local) nos valores dos índices ao

longo da obra. As medianas de cada indicador calculadas para cada grupo estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Medianas dos grupos calculadas para cada indicador

Faixa	Indicador	Mediana da Amostra	Mediana Grupo 0	Mediana Grupo 1	Mediana Grupo 2
Faixa de 0%-40%	CAG (m <sup>3</sup> /trabalhador)	1,12	1,67	0,81	2,45
	CEN (kWh/trabalhador)	19,37	67,79	11,48	40,06
	GRE (m <sup>3</sup> /trabalhador)	0,63	0,53	0,64	0,63
Faixa de 40%-70%	CAG (m <sup>3</sup> /trabalhador)	1,19	4,41	0,90	2,00
	CE (kWh/trabalhador)	15,1	99,68	42,62	10,80
	GRE (m <sup>3</sup> /trabalhador)	0,73	1,48	0,85	0,94
Faixa de 70%-100%	CAG (m <sup>3</sup> /trabalhador)	1,82	2,87	1,70	1,80
	CEN (kWh/trabalhador)	16,49	37,75	12,22	71,83
	GRE (m <sup>3</sup> /trabalhador)	0,99	0,94	1,03	0,98
100% - Ao final	CAG (m <sup>3</sup> /trabalhador)	0,22	0,28	0,17	0,42
	CEN (kWh/trabalhador)	2,72	4,9	1,7	8,19
	GRE (m <sup>3</sup> /trabalhador)	0,12	0,14	0,12	0,16

Legenda: CAG = Consumo de água; CEN = Consumo de energia; GRE = Geração de resíduos

Fonte: Autores

#### 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos com o estudo apresentaram algumas tendências em relação aos agrupamentos dos projetos estudados. Primeiramente, cerca de 66% das obras permanecem no mesmo grupo em três ou mais faixas estudadas, indicando um padrão de impacto mais definido nestas obras. Vale destacar que 87,5% das obras de parede de concreto e 83,3 % de alvenaria estrutural seguem esse padrão, enquanto apenas 46% de concreto armado moldado no local tem essa característica.

Os projetos de concreto armado moldado no local estão distribuídos entre os três *clusters* de análise. Já parede de concreto tem 100% da amostra nas duas primeiras faixas de análise do grupo 1 (verde), sendo que nas outras duas faixas apenas uma das obras altera de grupo. Alvenaria estrutural também aparece predominantemente no grupo 1, possuindo uma obra fora desse grupo nas três primeiras faixas. Devido ao fato de haver apenas duas obras do sistema concreto pré-moldado, não foi possível verificar tendências para esse sistema.

Os grupos 0 (roxo) e 2 (amarelo) são formados por menores quantidades de obras e são compostos predominantemente (ou unicamente) por projetos de concreto

armado moldado no local para todas as faixas estudadas. Quando comparadas as medianas calculadas para cada grupo, verifica-se que o 0 e o 2 apresentam valores maiores de consumo de água e consumo de energia nas quatro faixas (incluindo os indicadores ao longo e ao final da obra). Em relação à geração de resíduos esse fato não se aplica, pois as menores medianas variaram entre os grupos, apesar de terem valores bem próximos.

O grupo 1 é sempre o maior grupo e apresenta os menores valores para consumo de água e energia nas faixas estudadas. É importante ressaltar que 48,3% de todos os projetos estudados estiveram exclusivamente no grupo 1, ou seja, permaneceram nesse grupo em todas as faixas. Dentre esses projetos, 50% são de parede de concreto (só um projeto desse sistema não esteve exclusivamente no grupo 1) e 35,7% de alvenaria estrutural (somando assim 85,7% dos projetos) e 14,3% de concreto armado moldado no local.

O agrupamento dos projetos nos *clusters* indicam que os sistemas parede de concreto e alvenaria estrutural apresentam resultados mais padronizados para os indicadores, sendo que estes apresentaram menores medianas para os indicadores associados ao consumo de água e ao consumo de energia. Entretanto, as obras de concreto armado moldado no local apresentaram resultados mais dispersos nos grupos, estando presente principalmente nos grupos 0 e 2, que apresentaram maiores valores associados aos indicadores supracitados. Esse resultado já era esperado, pois os sistemas alvenaria estrutural e parede de concreto se propõem a realizar obras mais industrializadas e repetitivas, o que reduz a curva de aprendizagem e aumenta a padronização dos processos.

Além disso, nessa amostra quase 93% dos projetos dos sistemas de alvenaria estrutural e parede de concreto estão associados a habitações de interesse social, como as do programa Minha Casa Minha Vida, que são repetidos em diversos empreendimentos, muitas vezes mantendo a mão de obra, tornando os processos e atividades padronizados e, conseqüentemente, com menos perdas e possível menor impacto. Também vale destacar que projetos de concreto armado moldado no local estão mais sujeitos a personalização de unidades habitacionais (principalmente devido à natureza da sua estrutura), o que também pode estar exercendo influência no menor padrão de impacto encontrado nas obras estudadas.

Em relação a geração de resíduos, não foram identificadas tendências de maiores ou menores valores associados ao sistema construtivo, pois estes se apresentaram parecidos quando comparados entre os grupos. Como possível causa para esse comportamento, destaca-se a preocupação dos gestores em relação as legislações relacionadas a gestão de resíduos de canteiro de obras impostas ao longo dos anos, as quais impuseram regulações e multas para o descarte impróprio de lixo advindo de canteiro de obras. Assim, há uma tentativa dos gestores em gerarem menos resíduos, através do planejamento de compras, da análise da qualidade do material e do estoque adequado do que foi comprado, além de reutilizarem o que é possível no próprio canteiro ou em outras obras.

É importante ressaltar que os indicadores que foram colocados como variáveis de entrada para a análise por *clusters* são diferentes (métricas diferentes) e analisados em diferentes fases, portanto os indícios encontrados são importantes, uma vez que as obras estão sendo agrupadas por um padrão de impactos relacionado aos três eixos ao mesmo tempo. Assim, essa análise mostra que o sistema construtivo pode exercer influência no impacto ambiental causado pelas obras, principalmente, associado ao consumo de água e ao consumo de energia. Além disso, o *clustering*

se apresentou como uma técnica que pode ser eficaz na identificação de características importantes dos dados, como passo inicial para verificação de tendência e ponto de partida para estudos mais aprofundados e específicos relacionados a impactos ambientais gerados por canteiros de obras.

## 5 CONCLUSÕES

Esse estudo piloto teve como principal objetivo avaliar a eficácia do *clustering* para análise de padrão de impacto ambiental de obras de edificações, a partir de valores de referência dos indicadores do PBQP-H. A técnica foi aplicada para avaliar se o sistema construtivo é uma das características do projeto que influencia nos impactos ambientais associados ao consumo de água, consumo de energia e a geração de resíduos. Os resultados obtidos no estudo apontam para um maior padrão de comportamento nas obras dos sistemas parede de concreto e alvenaria estrutural, ficando os canteiros de concreto armado no local mais distribuídos entre os grupos e apresentando os maiores valores para os indicadores de consumo de água e consumo de energia. O *clustering* demonstrou relevância e eficácia na identificação de padrões de impacto ambiental associado ao sistema construtivo, podendo ser usado como ponto de partida para verificação de tendências e estudos mais específicos em relação aos temas.

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, V. M. **Práticas recomendadas para a gestão mais sustentável de canteiros de obras**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- CARDOSO, F. F.; ARAUJO, V. M. **Levantamento do estado da arte: Canteiro de obras (Documento 26)**. Habitação mais sustentável. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável, Projeto Finep 2386/04, São Paulo, 2007.
- FONTELLES, J. M.; SIMÕES, M. G.; FARIAS, S. H.; FONTELLES, R.G. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista Paraense de Medicina**, Pará, v. 23, n. 3, jul./set. 2009.
- FERNANDES, L. L. A. **Análise do desempenho ambiental de obras de edificações com base nos indicadores de sustentabilidade do PBQP-H**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia – Escola Politécnica da UFBA. Salvador, 2020.
- LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sist. de Inf. da FSMA**, n. 4, pp. 18-36, 2009.
- MACIEL, A. M.; VINHAS, L.; CÂMARA, G. Uso de algoritmos de *clustering* para separação de tipos de uso e cobertura da Terra utilizando dados de sensoriamento remoto. In: WORKSHOP DOS CURSOS DE COMPUTAÇÃO APLICADA DO INPE, 14. (WORCAP), 2014, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos.
- OHATA, A. T.; QUINTANILHA, J. A. O uso de algoritmos de *clustering* na mensuração da expansão urbana e detecção de alterações na região metropolitana de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos.
- PEDREGOSA, F.; VAROQUAX, G.; GRAMFORT, A.; MICHEL, V.; THIRION, B. Scikit-learn: Machine Learning in Python. **Journal of Machine Learning Research**, v. 12, p. 2825-2830, 2011.
- SILVA, V.G., Indicadores de sustentabilidade de edifícios: estado da arte e desafios paradesevolvimento no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 47-66, 2007.
- TAM, V. W. Y.; TAM, C. M.; ZENG, S. X.; CHAN, K. K. Environmental performance measurement indicators in construction. **Building and Environment**, v. 41, p. 164-173, 2006.