ANAIS
IV EURO ELECS
2021

ARTIGO

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DAS ATIVIDADES CONSTRUTIVAS DOS PROJETOS DE INFRAESTRUTURA URBANA

ARAÚJO, Adolpho Guido de
(adolphoguido@hotmail.com)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil
Universidade de Pernambuco (UPE), Brasil

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira
(arnaldo.carneiro@ufpe.br)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil

PALHA, Rachel Perez
(rachel.palha@ufpe.br)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil

PALAVRAS-CHAVE:

Desenvolvimento urbano, construção civil, sustentabilidade, métodos quantitativos.

RESUMO

Os projetos da indústria da construção modificam os ambientes naturais e promovem o desenvolvimento sócio-econômico das regiões, porém essas mudanças proporcionam aspectos ambientais. O objetivo deste estudo é comparar o desempenho ambiental de seis atividades construtivas durante a fase de pré-construção em um projeto de infraestrutura urbana usando uma metodologia quantitativa para avaliação dos aspectos ambientais voltada para esta fase. O desempenho ambiental das atividades construtivas foi avaliado e através da operação matricial dos critérios ambientais de duração e gravidade foi apontada a quantificação total de cada um dos dez aspectos ambientais. Os resultados obtidos revalaram que o aspecto de maior impacto ambiental foi a emissão de gases do efeito estufa, totalizando 61 pontos, seguido do uso de energia com 56 pontos. Entre as seis atividades construtivas avaliadas pelo critério gravidade - Terraplenagem, Sistema de drenagem pluvial e Meio fio - obtiveram escore máximo na escala intervalar. Para o critério duração as atividades construtivas de pavimentação e de meio fio obtiveram maiores durações no cronograma promovendo uma alta Emissão de Gases do Efeito Estufa por um longo período de tempo. Possivelmente, esta proposta inova os modelos de avaliação do desempenho ambiental dos projetos de infraestrutura urbana e alerta os gerentes de projetos, ainda na fase de pré-construção, quanto as atividades mais impactantes, com possibilidades reais de tomadas de decisões antecipadas para eliminar, reduzir, mitigar ou aceitar os possíveis impactos ambientais durante a fase de construção.

1. INTRODUÇÃO

A evolução da indústria da construção, na maioria dos países, teve por finalidade o desenvolvimento econômico das regiões (KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017), visto que o progresso sócio-econômico é diretamente proporcional ao aumento da produção pela indústria da construção (MEDINECKIENĖ et al., 2010), permitindo melhorias nas condições básicas de vida urbana (ZHANG et al., 2014). As práticas e os métodos de desenvolvimento das infraestruturas, frequentemente, se concentram nas soluções de otimização de custos e prazos do processo construtivo (SHAHTAHERI et al., 2018).

As atividades da indústria da construção transformam os ambientes naturais e promovem o desenvolvimento sócio-econômico (ISO 15392, 2008), e essas mudanças geram aspectos ambientais significativos como consumo de recursos naturais, resíduos, emissões de gases, acidentes de trabalho e ruídos (BORJA et al., 2018). Projetos de construção em países em desenvolvimento proporcionam impactos profundos nas comunidades (BANIHASHEMI et al., 2017). O campo da gestão ambiental precisa de informações de qualidade e exatidão para permitir uma maior eficácia na identificação dos efeitos ambientais (MURPHY; NAHOD, 2017), já que os desafios atuais não se restringem à qualidade, ao tempo e ao custo, mas também envolvem as questões ambientais (CHRISTINI et al., 2004). E para responder aos problemas ambientais, os governos precisam promover construções sustentáveis em seus futuros processos de urbanizações (CHANG et al., 2016), principalmente nos projetos de infraestrutura urbana que necessitam de métodos analíticos para quantificação de seus impactos ambientais (ARAÚJO et al., 2020a).

O objetivo deste estudo foi comparar o desempenho ambiental de seis atividades construtivas durante a fase pré-construção utilizando uma metodologia quantitativa para avaliação dos aspectos ambientais em projetos de infraestrutura urbana na fase pré-construção através da utilização de critérios objetivos, tais como: duração e gravidade, dos quais seis atividades construtivas e dez aspectos ambientais foram avaliados (ARAÚJO et al., 2020b). Por conseguinte, este artigo está estruturado em cinco seções. Uma introdução compacta. Na seção 2, apresenta-se detalhadamente o modelo metodológico. A seção 3 são os resultados com validação do modelo; 4 e 5 foram reservadas pelos autores para as apresentações da discussão e conclusões, respectivamente. Devido à abrangência do tema, delimitou-se o escopo desta investigação na fase pré-construção de um projeto de infraestrutura urbana.

2. METODOLOGIA

Primeiramente, as seis atividades construtivas das obras de infraestrutura e os dez aspectos ambientais foram investigados/selecionados, sendo eles: Partículas totais em suspensão (PTS); Emissão de gases do efeito estufa (GEE); Poluição Sonora (PS); Alteração do Solo (AS); Poluição do Solo (PSOLO); Poluição das Águas (PA); Uso de recurso e materia prima (URMP); Resíduo da construçao e demolição (RCD); Uso da Água (UA); Uso de energia (UE). Em seguida, houve a escolha dos critérios ambientais - duração e gravidade - que ocorreu pela importância e possibilidade de serem extraídos dos documentos da fase pré-construção. Para o critério duração, os valores foram obtidos em dias úteis de execução das seis atividades

construtivas, foi verificado o período de impacto. O critério gravidade foi calculado para os dez aspectos ambientais externalizados nas seis atividades construtivas(-Quadro 01). Os dados para o critério duração foram obtidos no cronograma do projeto e os dados do critério gravidade foram obtidos no orçamento através da quantidade das atividades construtivas. Todos os cálculos foram processados no programa *Microsoft Excel®*.

Aspecto Ambiental	**Memória de Cálculo (Equações)**	**Fonte**
PTS (gramas)	Taxa Emissão de Combustível = É o fator de emissão de PTS versus consumo	Jung et al. (2019); USEPA (1998)
	Taxa Emissão Rodoviária (caminhão basculante; não pavimentada) = É divisão do fator de emissão (9,4241g) pela quantidade de veículos versus Km percorrido	
	Taxa Emissão Rodoviária (outros equipamentos; não pavimentada) = É a divisão do fator de emissão (0,000712 g) pela quantidade versus cargas	
	Taxa Emissão de Carga/Descarga (carga e descarga do solo) =É a divisão do fator de emissão (0,000318 g) pela quantidade versus carga	
GEE ($KgCO_2e$)	$GEE(materiais) = Quantidade\ de\ material\ x\ Fator\ de\ Emissão$	EPA (2016); Yim et al. (2018)
	$GEE\ (transporte) = (Qi\ x\ El\ x\ Di\ x\ Fe)\ /\ 5$	
PS (dB)	$r\ \ -8 + \Delta L$	Haron et al. (2012); Lee et al. (2017)
	$(10^{\frac{Lp1}{10}} + 10^{\frac{Lp2}{10}} + \cdots + 10^{\frac{Lpn}{10}})$	
AS (%)	$= \left(\frac{Área\ de\ Preservação}{Área\ da\ Atividade}\right) * 100$	Araújo et al. (2020b); Li et al. (2018); Qu e Long (2018); Wu et al. (2018)
PSOLO (mg/m^2)	$= \frac{0{,}01\% * Quantidade\ total\ material}{Área\ Total\ do\ Empreendimento}$	Araújo et al. (2020b); Eikelboom et al. (2001)
PA (%)	$= \left[\left(\frac{Área\ de\ Preservação}{Área\ da\ Atividade}\right) * Precipitação\ local\right] * 100$	Araújo et al. (2020b); Belayutham et al. (2016)
URMP (impacto total)	$URMP = Total\ do\ material\ * Coeficiente de\ Impacto$	Thomas et al. (2017)
RCD (t)	$RCD = Total\ do\ material\ * Índice\ de\ Perda\ em$	Li et al. (2016)
UA (litros)	$UA = (Intensidade\ de\ água\ ) * Quantidade\ de\ material$	Araújo et al. (2020b); Souza et al. (2015); Treloar (1997)
UE (Mj)	$UEmaterial = Fator\ de\ Energia\ Embutida * Quantidade\ de\ material$	Paulsen e Sposto (2013); Teodoro (2017)
	$UEtranporte = Quantidade\ trasnp.* Di * Consumo\ Energético\ de\ transp.$	

Nota: Qi: Quantidade em quilometro; El (l): Consumo de combustível em litros; Di: Distância em Km; FE ($KgCO_2e/m^3$): Fator de emissão de gases do efeito estufa por quilometro; Lp: Nível de pressão sonora no receptor; LW: Nível de pressão sonora da fonte; r (m): distância da fonte ao receptor em metro; Desvio padrão da pressão sonora; La eq: Pressão sonora acumuladas das fontes em decibéis.

Quadro 1. Memória de cálculo da gravidade.

Fonte: Os Autores.

Os resultados quantitativos dos critérios foram transformados em escala de intervalos de cinco pontos para possibilitar cálculo adimensional. A operação matricial estabeleceu o resultado final do modelo. E, finalmente a comparação dos resultados de seis atividades construtivas recorrentes nos projetos de infraestrutura urbana.

O cálculo do nível de impacto ambiental do projeto foi realizado através da multiplicação das matrizes "A" e "B", onde os resultados dos critérios ambientais foram convertidos em escala de intervalos de cinco pontos de modo a permitir a operação matricial. O cálculo da escala foi determinada pela faixa de frequência, calculada pela maior pontuação, menos a menor pontuação e seu resultado divido por cinco. O intervalo "1" foi indicado pelo menor valor, os demais intervalos foram as somas da pontuação anterior somado da faixa de frequência determinada. E o intervalor "5" foi indicado pelos valores maiores do limite superior do intervalo "4", de acordo equação (1).

$$FI = \frac{MAV - MEV}{5} \; ; \; Logo: FI \; somado \; a \; partir \; do \; menor \; valor \tag{1}$$

Onde:

- FI: Faixa de Intervalo;
- MAV: Maior Valor;
- MEV: Menor Valor.

A fórmula para cálculo dos aspectos ambientais do projeto utilizou os dois critérios ambientais quantificáveis: duração e gravidade. Para os cálculos de *"Duração"* utilizou-se as informações precisas de prazo no documento do cronograma; e para os cálculos da *"Gravidade"*, adotou-se as informações de quantidade nos documentos: projetos, orçamentos e planejamentos aplicado a metodologia de quantificação desenvolvida por Araújo et al. (2020b). E através de operações matriciais determinaram as quantificações totais dos aspectos ambientais para caso real utilizado, conforme equação matricial (2).

$$(\cdots \vdots MATRIZ\ "A"\mathbf{1x6} \vdots Linha: Duração \quad Colunas: Atividades\ ) * (\cdots \vdots MATRIZ\ "B"\mathbf{6x10} \vdots Linha: Atividades \quad Colunas: Aspectos\ ) = [\cdots \vdots MATRIZ\ "C"\mathbf{1x10} \vdots Linha: Total \quad Colunas: Aspectos \quad \ldots] \tag{2}$$

Onde:

- MATRIZ "A": Matriz da duração;
- MATRIZ "B": Matriz da gravidade;
- MATRIZ "C": Quantificação Total dos Aspectos Ambientais.

Esta metodologia foi aplicada em um projeto experimental de desenvolvimento urbano. Este projeto é um loteamento urbano que envolve um projeto de urbanização popular localizado em Santana do Ipanema/AL.

3. RESULTADOS

3.1 DURAÇÃO DAS ATIVIDADES CONSTRUTIVAS

A Matriz A referente a duração do projeto foi determinada pela faixa de frequência, calculada pela maior duração com 600 dias, menos o menor duração com 120 dias e seu resultado divido por cinco, resultando em 96 dias. O intervalo "1" foi indicado pela atividade de menor duração com 120 dias, os demais intervalos foram as somas das pontuação anteriores somado da faixa de frequência determinada. Os intervalos das escalas foram: intervalo "1" onde as atividades foram curtas (duração≤120 dias); intervalo "2" onde as atividades (120<duração≤216); intervalo "3" onde as atividades (216<duração≤312); intervalo "4" onde as atividades (312<duração≤408) e intervalo "5" onde as atividades (duração>408).

3.2 GRAVIDADE DOS ASPECTOS AMBIENTAIS

Os resultados do caso real para critério gravidade apontaram os aspectos ambientais mais significativos entre as atividades desenvolvidas no projeto. As informações obtidas nos cálculos das gravidades dos aspectos ambientais podem ajudar aos *stakeholders* do projeto na visualização dos possíveis aspectos ambientais e suas quantidades. Estes resultados demonstraram uma coerência e sinergia entre os aspectos ambientais extremamente importantes. Ficaram evidente os links provenientes da cadeia de produção da construção civil, durante: as utilizações dos equipamentos produziram externalidades como emissões ao ar; as realizações das atividades e processos construtivos proporcionaram lançamentos para o solo e para a água; e as extrações/aplicações dos materiais de construções geraram os altos índices de perdas intimamente ligados à geração de resíduos e uso da matéria-prima.

O quadro 02 apresenta os resultados da quantificação dos aspectos ambientais das atividades construtivas do caso real. Dessa forma, os gestores de obras podem obter informações preditivas dos aspectos ambientais na fase de planejamento. Esses resultados apontam os possíveis impactos das atividades construtivas e fornecem informações importantes para eliminação, mitigação ou aceitação dos aspectos ambientais.

DS	UND	QTD	PTS (g)	GEE (KgCO2e)	PS (dB)	AS (%)	PSOLO (mg/m²)
AT	m²	300.000,00	3.092.263,15	279.157,83	70,86	74,80	0
SDP	m	6.698,00	53.846,90	384.395,35	61,46	8,94	718,03
SAA	m	6.698,00	5.083,54	17.477,43	61,46	3,72	0
SEE	unid	222	1.587,34	59.801,02	61,83	0,13	0
PAV	m²	53.243,18	262.144,07	143.261,11	54,06	74,00	0
MF	m	13.590,00	23.640,40	372.501,98	51,05	3,20	695,81
DS	UND	QTD	PA (%)	URMP (impacto total)	RCD (t)	UA (litros)	UE (Mj)
AT	m²	300.000,00	3,59	0	69.677,15	161.454,06	3.241.499,60
SDP	m	6.698,00	0,067	$7{,}147 \times 10^{-9}$	30,96	112.191,25	3.327.247,19
SAA	m	6.698,00	0,179	$5{,}345 \times 10^{-10}$	0,18	0	661.203,93
SEE	unid	222	0	$4{,}759 \times 10^{-10}$	0	17.575,00	543.881,90
PAV	m²	53.243,18	3,55	$5{,}491 \times 10^{-7}$	816,28	632.684,42	687.586,83
MF	m	13.590,00	0,272	$6{,}926 \times 10^{-9}$	30,01	108.720,00	3.224.118,26

Nota: DS: Descrição dos Serviços; UND: Unidade de medida; QTD: Quantidade; AT: Atividade de Terraplenagem (m³); SDP: Sistema de Drenagem Pluvial (m); SAA: Sistema de Abastecimento de Água (m); SEE: Sistema de Energia Elétrica (unid.); PAV: Pavimentação (m²); MF: Meio fio (m).

Quadro 2. Cálculo das Gravidades dos Aspectos Ambientais.
Fonte: Os Autores.

O primeiro aspecto ambiental calculado foi PTS, onde os resultados totais representaram 3.438.466,01 gramas distribuídos nas seis atividades construtivas. A atividade de terraplenagem representou 89.93% do total expressas em 3.092.263,15 gramas, onde as principais emissões compreenderam a Taxa de Emissão do Consumo dos Combustíveis com 1.423.580,28 gramas e Taxa de Emissão Rodoviária Total com 1.504.294,27 gramas. Possíveis efeitos negativos foram alertados pelos resultados das GEE que indicaram uma grade emissão de GEE no transporte com 279.157,83 $KgCO_2e$, totalmente explicado pela tipificação da atividade. Já os resultados das demais atividades apontaram para um horizonte esperado, onde as maiores emissões foram as incorporadas nas fabricações dos materiais de construção, como por exemplo: sistema de drenagem pluvial com 384.395,35 $KgCO_2e$ sendo as emissões incorporada ao material 382.347,78 $KgCO_2e$ e transporte com 2.047,57 $KgCO_2e$; meio-fio com total de 372.501,98 $KgCO_2e$ sendo as emissões incorporada ao material 370.517,76 $KgCO_2e$ e transporte com 1.984,22 $KgCO_2e$.

Para PS, os resultados apresentaram-se normais sendo a atividade de terraplenagem como a mais incômoda atingindo 70,86 dB medidos na fonte (equipamento) ao receptor (vizinho mais próximo) com a distância de 50,07 metros. O resultado maior da AS foi 74,80 e 74,00% nas atividades de terraplenagem e pavimentação. Isto indicou uma oportunidade de melhoria na concepção do projeto. Para a PSOLO os resultados alertaram para duas atividades, foram sistema de drenagem pluvial com 718,03 mg/m² e meio-fio com 695,81 mg/m², pelo tipo de atividade e

poder contaminante do concreto moldado. Já, a PA alarmou uma enorme possibilidade de danos ao meio ambiente em duas atividades, que foram Terraplenagem com 3,59% e Pavimentação com 3,55%, diante dos métodos construtivos e áreas de intervenções no terreno praticamente idênticas.

O aspecto ambiental URMP obteve um resultado total de $5{,}642x10^{-7}$. Atividades construtivas como pavimentação; sistema de drenagem pluvial e meio-fio que absorveram quantidades expressivas de materiais e, portanto, apresentaram um alto grau de impacto. O resultado da pavimentação demonstrou de forma especifica a influência do consumo de material com 20.445.381,12 Kg de pedra granítica onde mesmo com o segundo menor coeficiente de impacto ambiental $2{,}68542x10^{-14}$ obteve o maio impacto ambiental total com $5{,}491x10^{-7}$. O RCD exibiu números significativos com total de 70.554,59 toneladas, onde a atividade de terraplenagem representou 98,76 % do total de resíduo gerado representado por 69.677,15 toneladas de solo.

Em relação ao UA, o resultado do total consumido no projeto foi 1.032.624,73 litros, onde uma parcela significativa relacionou a água incorporada aos materiais de construção, sendo a atividade de maior consumo a pavimentação com 632.684,42 litros, concentrando o consumo de água no processo de extração (detonação ou britagem) que utilizou jato d'água para eliminação dos resíduos de terra e impurezas perfazendo 605.775,41 litros. Já o último aspecto apresenta o resultado do UE com um consumo energético total de 11.685.537,71 Mj, distribuídos em duas principais categorias: energia incorporada na fabricação dos materiais com 8.113.352,22 Mj e energia embutida no transporte com 3.572.185,49 Mj.

A Matriz "A" representa o critério de duração, utilizou-se os valores dos prazos das atividades do cronograma da empresa, em seguida foram convertidos numa escala de cinco pontos, onde: 1-pouco demorada; 2-razoavelmente demorada; 3-demorada; 4-muito demorada; 5-extremamente demorada. A utilização da escala de intervalos de cinco pontos permitiu a classificação das atividades construtivas em relação aos prazos definidos no cronograma. Esta foi uma das questões que fez parte da proposta de análise e permitiu a comparação dos prazos estabelecidos entre as atividades construtivas avaliadas no caso real. Além disso, ao se criar a Matriz "A", passou a ser possível avaliar o impacto dos aspectos ambientais diante de modificações e adaptações do cronograma do projeto, auxiliando os gerentes no processo decisório sobre quais atividades podem ter seu cronograma modificado para beneficiar as questões ambientais. A Matriz "B" representa o critério gravidade, onde cada aspecto ambiental foi calculado para as seis atividades, utilizando métodos específicos e obtidos a partir dos dados de entrada das quantidades estabelecidas no orçamento e no projeto. Posteriormente, os resultados foram convertidos numa escala de cinco pontos, onde: 1-pouco grave; 2-razoavelmente grave; 3-grave; 4-muito grave; 5-extremamente grave. A escala de intervalos do espaço vetorial da Matriz "B" representa em suas colunas os dez aspectos ambientais; e em suas linhas, as seis atividades construtivas. A utilização desta matriz possibilitou a análise da correlação de uma atividade construtiva com cada aspecto ambiental, por conseguinte, facilitando a identificação de quais atividades construtivas geraram maiores e menores impactos ambientais.

A Matriz "C" apresenta os resultados da multiplicação das Matrizes A e B que expressam a pontuação total de cada aspecto ambiental, conforme equação matricial (3).

MATRIZ "A" MATRIZ "B"

$$Projeto\ A\ (212255) * (555515153525445222252144122212124411212123221552522511522225)$$

=

$$PROJETO\ A(PTS\ GEE\ PS\ AS\ PSOLO\ PA\ URMP\ RCD\ UA\ UE\ 38\ 61\ 45\ 53\ 41\ 53\ 47\ 38\ 49\ 56) = 481 \quad (3)$$

MATRIZ "C"

O aspecto de maior impacto ambiental foi GEE que totalizou 61 pontos, seguido do UE com 56 pontos. Ainda obtiveram grandes escores PA e AS com 53 pontos; UA com 49 pontos; URMP com 47 pontos; PS com 45 pontos; PSOLO com 41 pontos; PTS e RCD com 38 pontos. A partir desses resultados, os gestores podem verificar a pontuação total de cada aspecto ambiental considerando todas as atividades de construção. Esta informação permite aos *stakeholders* identificar o maior impacto deste projeto, nesse estudo de caso real as emissões de Gases de Efeito Estufa, seguido do Uso de Energia. Ao verificar os dados de entrada nas matrizes A e B, é possível verificar que "terraplenagem; sistema de drenagem pluvial e meio fio" foram as atividades de construção que mais impactam este projeto, permitindo aos gestores decidirem propor melhorias de forma a reduzir o total da pontuação desses aspectos ambientais.

4. DISCUSSÃO

A escolha por desenvolver uma metodologia aplicada na fase pré-construção teve por intenção a redução, mitigação e eliminação de impactos ambientais, o que possibilita uma revisão dos projetos, orçamentos e gereciamento das atividades construtivas antes de seus acontecimentos. Corroborando com De Paula e Melhado (2018); Gultekin et al. (2013), que afirmaram que o cumprimento de requisitos sustentáveis não dependeram apenas de soluções técnicas, mas também das soluções gerenciais adotadas pelas empresas de projetos.

Zobel e Burman (2004); Whitelaw (2004); Johnston et al. (2000); Gangolells et al. (2009) utilizaram os modelos matriciais como ferramenta na avaliação ambiental em suas pesquisas. A análise do desempenho dos aspectos ambientais desta pesquisa, também utilizou um modelo matricial, onde a duração foi multiplicada pela gravidade e forneceu o resultado de cada aspecto ambiental do projeto. Dos dez aspectos ambientais, cinco foram os mais impactantes: GEE, UE, PA, AS e UA. Pois, devido a tipologia da construção que demandou uma grande quantidade de equipamento que impactaram diretamente a atmosfera, o solo e a água.

A metodologia possibilitou a obtenção de resultados diferentes para cada atividade construtiva, possibilitando sinais de alertas para tomadas de decisões prévias, ainda na fase de planejamento. De forma inovadora, nesta pesquisa o desempenho

ambiental foi calculado para dez aspectos ambientais em seis atividades construtivas de infraestrutura urbana, utilizando fórmulas aplicáveis especificamente a cada aspecto ambiental, eliminando assim a subjetividade do julgamento.

5. CONCLUSÕES

O aspecto ambiental de maior impacto foi a Emissões de Gases do Efeito Estufa que totalizou 61 pontos. Entre as seis atividades construtivas avaliadas pelo critério gravidade, três - Terraplenagem, Sistema de drenagem pluvial e Meio fio - obtiveram escore máximo na escala de intervalo. E o caso real apresentou as atividades construtivas pavimentação e meio fio com maiores durações no cronograma promovendo uma alta Emissão de Gases do Efeito Estufa por um longo período de tempo.

Finalmente, os cálculos demostraram uma relação direta entre quantidades; tipo de materiais e atividade e/ou processo adotados na obra. Bem como, indicaram precocimento os aspectos ambientais significativos e possibilitaram o gerenciamento das três dimensões da sustentabilidade: econômica: na redução das quantidades e prazos, melhorando produtividade das atividades; Ambiental: na substituição dos materiais convencionais por alternativos, bem como mitigando as atividades, optando por métodos/processos que protejam o meio ambiente; Social: na minimização do incômodo da vizinhança e produção de uma obra menos agressiva ao meio ambiente e sociedade circunvizinha. Os autores desta pesquisa propõem uma análise detalhada dos fatores causadores dos aspectos ambientais relacionados aos projetos de infraestrutura urbana para fornecer transparências dos efeitos das atividades construtivas aos pesquisadores, projetistas e construtores contribuindo para formulações das futuras pesquisas e para elaborações dos planos de construção mais sustentáveis.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, A. G. de, Carneiro, A. M. P., and Palha, R. P. (2020a). “Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis.” *Journal of Cleaner Production*, Elsevier Ltd, 256, 120350.

Araújo, A. G. de, Carneiro, A. M. P., and Palha, R. P. (2020b). “Predictive methodology for the quantification of environmental aspects in urban infrastructures.” *Sustainability (Switzerland)*, 12(18), 1–25.

Banihashemi, S., Hosseini, M. R., Golizadeh, H., and Sankaran, S. (2017). “Critical success factors (CSFs) for integration of sustainability into construction project management practices in developing countries.” *International Journal of Project Management*, Elsevier Ltd, APM and IPMA, 35(6), 1103–1119.

Belayutham, S., González, V. A., and Yiu, T. W. (2016). "A cleaner production-pollution prevention based framework for construction site induced water pollution." *Journal of Cleaner Production*, 135, 1363–1378.

Borja, L. C. A., César, S. F., Cunha, R. D. A., and Kiperstok, A. (2018). "A quantitative method for prediction of environmental aspects in construction sites of residential buildings." *Sustainability (Switzerland)*, 10(6), 1–38.

Chang, R. D., Soebarto, V., Zhao, Z. Y., and Zillante, G. (2016). "Facilitating the transition to sustainable construction: China's policies." *Journal of Cleaner Production*, Elsevier Ltd, 131, 534–544.

Christini, G., Fetsko, M., and Hendrickson, C. (2004). "Environmental Management Systems and ISO 14001 Certification for Construction Firms." *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(3), 330–336.

Eikelboom, R. T., Ruwiel, E., and Goumans, J. J. J. M. (2001). "The building materials decree: an example of a dutch regulation based on the potential impact of materials on the environment." *Waste Management Series*, 1(C), 963–974.

EPA. (2016). *Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM) - Containers, Packaging, and Non-Durable Good Materials Chapters*. Durham, Carolina do Norte, EUA.

Gangolells, M., Casals, M., Gassó, S., Forcada, N., Roca, X., and Fuertes, A. (2009). "A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings." *Building and Environment*, 44(3), 558–571.

Gultekin, P., Mollaoglu-Korkmaz, S., Riley, D. R., and Leicht, R. M. (2013). "Process Indicators to Track Effectiveness of High-Performance Green Building Projects." *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(12), A4013005.

Haron, Z., Yahya, K., and Jahya, Z. (2012). "Prediction of noise pollution from construction sites at the planning stage using simple prediction charts." *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 29(2), 989–1002.

ISO 15392. (2008). *Sustainability in building construction — General principles*. Geneva, Switzerland, 20.

Johnston, A., Hutchison, J., and Smith, A. (2000). "Significant environmental impact evaluation: a proposed methodology." *Eco-Management and Auditing*, 7(4), 186–195.

Jung, S., Kang, H., Sung, S., and Hong, T. (2019). "Health risk assessment for occupants as a decision-making tool to quantify the environmental effects of particulate matter in construction projects." *Building and Environment*, Elsevier, 161(June), 106267.

Krajangsri, T., and Pongpeng, J. (2017). "Effect of Sustainable Infrastructure Assessments on Construction Project Success Using Structural Equation Modeling." *Journal of Management in Engineering*, 33(3), 04016056.

Lee, H. P., Wang, Z., and Lim, K. M. (2017). "Assessment of noise from equipment and processes at construction sites." *Building Acoustics*, 24(1), 21–34.

Li, W., Zhou, W., Bai, Y., Pickett, S. T. A., and Han, L. (2018). "The smart growth of Chinese cities: Opportunities offered by vacant land." *Land Degradation and Development*, 29(10), 3512–3520.

Li, Y., Zhang, X., Ding, G., and Feng, Z. (2016). "Developing a quantitative construction waste estimation model for building construction projects." *Resources, Conservation and Recycling*, Elsevier B.V., 106, 9–20.

Medineckienė, M., Turskis, Z., and Zavadskas, E. K. (2010). "Sustainable Construction Taking Into Account the Building Impact on the Environment." *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 18(2), 118–127.

Murphy, M. E., and Nahod, M. M. (2017). "Stakeholder competency in evaluating the environmental impacts of infrastructure projects using BIM." *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(5), 718–735.

De Paula, N., and Melhado, S. (2018). "Sustainability in Management Processes: Case Studies in Architectural Design Firms." *Journal of Architectural Engineering*, 24(4), 1–9.

Paulsen, J. S., and Sposto, R. M. (2013). "A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program 'mY HOUSE MY LIFE.'" *Energy and Buildings*, Elsevier B.V., 57(2013), 95–102.

Qu, Y., and Long, H. (2018). "The economic and environmental effects of land use transitions under rapid urbanization and the implications for land use management." *Habitat International*, 82(April), 113–121.

Shahtaheri, Y., Flint, M. M., and de la Garza, J. M. (2018). "Sustainable Infrastructure Multi-Criteria Preference Assessment of Alternatives for Early Design." *Automation in Construction*, Elsevier, 96(March), 16–28.

Souza, J. L., Filho, F. de A. de S., and Neto, J. de P. B. (2015). "Pegada Hídrica Azul Dos Insumos Utilizados Na Blue Water Footprint of Supplies Used in Building." *XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, XXI SBRH, Brasília - DF, 1–7.

Teodoro, M. I. T. de M. (2017). "Energia Energia Embutida Na Construção De Edificações No Brasil : Contribuições Para O Desenvolvimento De Políticas Públicas a Partir De Um Estudo De Caso Em Mato Grosso Do Sul." UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

Thomas, S. T., Chan, J. H. L., Chan, G. K. C., and Zou, J. W. W. (2017). "Environmental impacts of construction material production." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*, 170(3), 169–184.

Treloar, G. J. (1997). "Extracting embodied energy paths from input-output tables: towards an input-output-based hybrid energy analysis method." *Economic Systems Research*, 9(4), 375–391.

USEPA. (1998). *Emission Factor Documentation for AP-42, Unpaved Roads. U. S. Environmental Protection Agency*, Durham, Carolina do Norte, EUA.

Whitelaw, K. (2004). *ISO 14001 Environmental Systems Hanbook*. (ELSEVIER, ed.).

Wu, Q., Hao, J., Yu, Y., Liu, J., Li, P., Shi, Z., and Zheng, T. (2018). "The way forward confronting eco-environmental challenges during land-use practices: a bibliometric analysis." *Environmental Science and Pollution Research*, Environmental Science and Pollution Research, 25(28), 28296–28311.

Yim, S. Y. C., Ng, S. T., Hossain, M. U., and Wong, J. M. W. (2018). "Comprehensive evaluation of carbon emissions for the development of high-rise residential building." *Buildings*, 8(11), 19.

Zhang, X., Wu, Y., Shen, L., and Skitmore, M. (2014). "A prototype system dynamic model for assessing the sustainability of construction projects." *International Journal of Project Management*, Elsevier Ltd and IPMA, 32(1), 66–76.

Zobel, T., and Burman, J. O. (2004). "Factors of importance in identification and assessment of environmental aspects in an EMS context: Experiences in Swedish organizations." *Journal of Cleaner Production*, 12(1), 13–27.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e ao Grupo de Pesquisa Apoio à Decisão em BIM, ambos da Universidade Federal de Pernambuco.