

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ruane Fernandes de Magalhães

MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM
PROJETOS DE INFRAESTRUTURA URBANA:
MECANISMOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO
PROJETUAL

Porto Alegre

2017

Ruane Fernandes de Magalhães

**Minimização de resíduos de construção civil em projetos de infraestrutura urbana:
mecanismos de apoio à tomada de decisão projetual**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração em Sistemas de Qualidade.

Orientadora: Prof^a. Ângela de Moura Ferreira Danilevicz, Dra.

Porto Alegre

2017

Ruane Fernandes de Magalhães

**Minimização de resíduos de construção civil em projetos de infraestrutura urbana:
mecanismos de apoio à tomada de decisão projetual**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pelos Orientadores e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof^a. Ângela de Moura Ferreira Danilevitz, Dra.

Orientadora PPGEP/UFRGS

Prof^a. Carla Schwengber ten Caten

Coordenadora PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Prof^a. Luciana Inês Gomes Miron, Dr^a. (PROPUR/UFRGS)

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, *Ph.D.* (PPGEC/UFRGS)

Prof. Tarcísio Abreu Saurin, Dr. (PPGEP/UFRGS)

Dedicatória

À minha mãe, que sempre estará comigo,
aconteça o que acontecer.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe por ter sido, a vida inteira, a minha maior incentivadora nos estudos, quem mais acredita que eu sempre posso mais, quem me fez entender que a minha maior felicidade é aprender.

Agradeço ao Lidiomar que, mais uma vez, fez todos os sacrifícios possíveis e impossíveis para que esta dissertação se tornasse realidade, que contribuiu com ótimas ideias, que buscou pessoas importantes para participarem do trabalho, que entendeu que eu precisava deixar tudo de lado nesse período, que se importou comigo mais do que ninguém.

Agradeço à Juliane Minotto e à Andrea Loguercio, por terem me aconselhado e terem me feito enxergar que eu não precisava me conformar com os ‘nãos’ que havia recebido e que eu tinha, sim, muito potencial para ser feliz em outro lugar.

Agradeço à Ana Dreyer por ter sido mais do que colega, mais do que chefe, mais do que amiga, uma irmã, uma grande incentivadora, um apoio inestimável nas horas boas e nas nem tão boas assim. Obrigada, Ana, por ser quem é na minha vida!

Agradeço à Paula Lemos, Helena Szortika e Bruna Linck pela amizade de tantos anos, por terem me atendido sempre que precisei, por terem feito parte deste trabalho com toda a dedicação, por terem envolvido seus locais de trabalho neste estudo, com toda a confiança do mundo. Sem a ajuda de vocês, esta dissertação não teria acontecido, muito obrigada!

Agradeço à equipe do DMALIC da SUINFRA UFRGS por toda disponibilidade, ensinamentos e dedicação a este trabalho; por vocês serem quem são que os escolhi para fazerem parte tão importante desta dissertação, obrigada por tudo!

Agradeço à Suelen Farinon, Lessandro Trindade, Mábila Makrakis e Fabiana Maliszewski, pelo apoio, amizade e confiança de que este trabalho era um sonho possível de ser alcançado.

Agradeço à Prof. Ângela Danilevich, por ter me oferecido, muito mais do que orientação, carinho, amizade, confiança; por ter acreditado em mim e neste trabalho mais do que eu mesma acreditei em alguns momentos; por ter sido minha base e minha incentivadora, mesmo nos momentos difíceis. Obrigada por tudo, prof., nunca vou esquecer o que fizeste por mim!

Dois caminhos bifurcavam naquele bosque – e eu
O menos trilhado tomei como meu
E isso fez toda a diferença.

Robert Frost

RESUMO

A indústria da construção civil é considerada como uma das grandes causadoras de impactos negativos ao meio ambiente, desde a extração de matéria prima, até o fim de vida de seus empreendimentos. Dentre os principais impactos ambientais ocasionados pelo setor, destaca-se a geração de resíduos de construção civil (RCC), a qual é intensificada em função do desenvolvimento de grandes centros urbanos e a consequente necessidade de implantação de empreendimentos de infraestrutura. Nesse contexto, uma das estratégias mais eficientes para redução de RCC está associada à realização de escolhas adequadas na fase de projeto, com enfoque de prevenção na fonte geradora. No entanto, é complexa a inclusão de fatores de sustentabilidade, tais como os de minimização de RCC, em projetos da construção civil. Logo, torna-se relevante a adoção de métodos e ferramentas de suporte ao processo decisório. Contudo, os métodos existentes são direcionados, em sua maioria, a projetos de edificações, havendo uma importante lacuna associada a projetos de infraestrutura urbana. Assim sendo, esta pesquisa objetiva a proposição de mecanismos de apoio à tomada de decisão, para a minimização de RCC, em projetos de infraestrutura urbana, com dois diferentes enfoques: controle e avaliação; e estrutura de orientação. Para a composição dos mecanismos de controle e avaliação, foram identificadas boas práticas para redução da geração de RCC na fase de projeto, a partir de pesquisa bibliográfica, análise documental de projetos, e pesquisa quali-quantitativa junto a especialistas. Essas boas práticas deram origem a demandas ambientais a serem atendidas pelos projetos de infraestrutura urbana, motivando a elaboração de um método estruturado para gerenciamento de requisitos ambientais e de *trade-offs*, como apoio à tomada de decisão projetual. O método teve como base a ferramenta *Quality Function Deployment* (QFD), no qual foi desdobrada a Matriz da Qualidade, a partir da opinião de especialistas atuantes em diferentes etapas do desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana. Como principais contribuições da pesquisa, focada na minimização de RCC, podem ser consideradas: (i) a obtenção de um *checklist*, como instrumento de controle e avaliação da qualidade dos projetos a serem desenvolvidos; (ii) a identificação de requisitos e de indicadores ambientais prioritários associados a esses projetos; e (iii) a elaboração de uma sistemática para gerenciamento de *trade-offs* existentes em projetos de infraestrutura urbana menos impactantes ambientalmente.

Palavras-chave: Resíduos de Construção Civil (RCC); Projetos de Infraestrutura Urbana; Minimização de resíduos; Gerenciamento de Requisitos Ambientais; Indicadores Ambientais; Gerenciamento de *Trade-Offs*

ABSTRACT

The construction industry is considered as one of the great causes of negative impacts to the environment, from the extraction of raw material, until the end-of-life of its projects. Among the main environmental impacts caused by the sector, can be highlighted the generation of construction waste (CW), which is intensified due to the development of large urban centers and the consequent need to implement infrastructure projects. In that context, one of the most efficient strategies to reduce CW is associated with making adequate choices in the design phase, with a focus on prevention at the source. However, it is complex to include sustainability factors, such as CW minimization, in construction designs. Therefore, it is relevant to adopt methods and tools to support the decision-making process. However, the existing methods are mostly directed to building designs, with an important gap associated with urban infrastructure designs. Thus, this research aims at proposing mechanisms to support decision making for the CW minimization in urban infrastructure projects, with two different approaches: control and evaluation; and guidance structure. For the composition of the control and the evaluation mechanisms, best practices were identified to reduce the CW generation in the design phase, based on literature review, documentary analysis of projects, and qualitative and quantitative surveys with specialists. Those best practices have given rise to environmental demands to be met by urban infrastructure projects, motivating the elaboration of a structured method for managing environmental requirements and trade-offs, as a support for the decision making design. The method was based on the Quality Function Deployment (QFD) tool, in which the quality matrix deployment, based on the opinion of specialists working in different stages of the development of urban designs. The main contributions of the research, focused on the CW minimization, can be considered: (i) obtaining a checklist, as an instrument to control and evaluate the quality of the designs to be developed; (ii) identification of requirements and of priority environmental indicators associated with those projects; and (iii) the development of a systematic for managing trade-offs in urban infrastructure projects that are less environmentally impacting.

Keywords: Construction Waste (CW); Urban Infrastructure Projects; Waste minimization; Environmental Requirements Management; Environmental Indicators; Management of Trade-offs

LISTA DE FIGURAS

1 INTRODUÇÃO

Figura 1 – Estrutura do trabalho	24
--	----

2 ARTIGO 1

Figura 2 – Etapas de trabalho	37
Figura 3 – Etapas de projetos de infraestrutura urbana	41
Figura 4 – Principais técnicas construtivas em projetos de infraestrutura urbana	42
Figura 5 – Relação entre as atividades de projeto e as estratégias	47
Figura 6 – Escala para instalações provisórias de canteiro	50
Figura 7 – Técnicas consideradas como maiores e menores geradoras de RCC em Redes de Água e Esgoto	52
Figura 8 – Técnicas consideradas como maiores e menores geradoras de RCC em Drenagem	52
Figura 9 – Técnicas consideradas como maiores e menores geradoras de RCC em Áreas Pavimentadas	53
Figura 10 – Técnicas consideradas maiores e menores geradoras de RCC em Cercamentos	53
Figura 11 – Técnicas consideradas maiores e menores geradoras de RCC em Instalações Provisórias	54
Figura 12 – Divisões das boas práticas identificadas	55
Figura 13 – Boas Práticas identificadas	56

3 ARTIGO 2

Figura 14 – Pirâmide de informações	71
Figura 15 – Etapas do método de trabalho	73
Figura 16 – Perfil dos especialistas – priorização dos requisitos ambientais	75
Figura 17 – Escala de intensidade de relações – Matriz da Qualidade	77
Figura 18 – Escala para identificação de correlações de indicadores ambientais	77
Figura 19 – Árvore Lógica dos requisitos ambientais	79
Figura 20 – Priorização dos requisitos ambientais	81
Figura 21 – Indicadores ambientais	82
Figura 22 – Priorização de indicadores ambientais – natureza proativa	85
Figura 23 – Priorização de indicadores ambientais – natureza reativa	85
Figura 24 – Priorização de indicadores ambientais – etapas de projeto	87
Figura 25 – Composição da sistemática para gerenciamento de <i>trade-offs</i>	89

Figura 26 – Diretrizes para gerenciamento de <i>trade-offs</i>	90
Figura 27 – Análises comparativas para operacionalização do gerenciamento de <i>trade-offs</i>	91
Figura 28 – Operacionalização do gerenciamento de <i>trade-offs</i>	93

LISTA DE TABELAS

2 ARTIGO 1

Tabela 1 – Caracterização das obras analisadas	38
Tabela 2 – Custo percentual das principais técnicas construtivas adotadas	43
Tabela 3 – Volume de RCC por tipo de obra e etapa de execução	45
Tabela 4 – Estratégias de projeto para redução de RCC, segundo os especialistas	46
Tabela 5 – Barreiras para implantação das estratégias, segundo os especialistas	48
Tabela 6 – Razões da geração de RCC na fase de execução	49
Tabela 7 – Técnicas construtivas mais utilizadas, em número de citações	51

LISTA DE SIGLAS

Abrelpe – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

ACCV – Avaliação do Custo do Ciclo de Vida

AHP – *Analytical Hierarchy Process*

AQUA – Alta Qualidade Ambiental

BIM – *Building Information Modeling*

BREEAM – *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*

CBA – *Choosing By Advantage*

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COV – Composto Orgânico Volátil

CTR – Controle de Transporte de Resíduos

DSR – *Design Science Research*

ELECTRE – *Elimination and Choice Translating Reality*

ESGB – *Evaluation Standard for Green Building*

EVTEA – Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental

FRS – *First Run Study*

GEE – Gases do Efeito Estufa

IN – Instrução Normativa

IPCC – *Intergovernmental Climate Change*

ISO – *International Organization for Standardization*

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*

LC – *Lean Construction*

MAUT – *Multi-attribute Utility Theory*

MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Evaluation Technique*

MCDA – *Multicriteria Decision Analysis*

MTRCC-POA – Manifesto de Transporte de Resíduos da Construção Civil de Porto Alegre

NBR – Norma Brasileira

ORSE – Orçamentos e Obras do Estado do Sergipe

PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PGRCC – Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

PL – Produção Limpa

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROMETHEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*

PVC – Policloreto de Vinila

QFD – *Quality Function Deployment*

RCC – Resíduo de Construção Civil

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

SEAP – Secretaria de Estado da Administração e do Patrimônio

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

TCPO – Tabela de Composições e Preços para Orçamentos

TCU – Tribunal de Contas da União

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Tema e justificativa do tema	17
1.2 Objetivos da Pesquisa	20
1.3 Métodos adotados	21
1.4 Delimitações	22
1.5 Estrutura do trabalho	23
Referências	25
2 ARTIGO 1: REDUÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA URBANA ...	31
2.1 Introdução	32
2.2 Perdas de materiais em projetos e obras da construção civil	33
2.2.1 Geração de RCC e seus impactos ambientais	34
2.2.2 Minimização de perdas de materiais na construção civil	35
2.3 Procedimentos Metodológicos	36
2.3.1 Classificação da Pesquisa	36
2.3.2 Método de Pesquisa	36
2.4 Resultados e discussões	40
2.4.1 Mapeamento das etapas de projeto	40
2.4.2 Principais técnicas construtivas associadas a projetos de infraestrutura urbana	42
2.4.3 Levantamento dos resíduos gerados por etapa de execução	43
2.4.4 Identificação de oportunidades de melhoria	45
2.4.4.1 Análise da questão nº 1: Estratégias de projeto	45
2.4.4.2 Análise da questão nº 2: Barreiras de implementação	47
2.4.4.3 Análise da questão nº 3: Razões da geração de RCC durante a execução	49
2.4.4.4 Análise da questão nº 4: Técnicas construtivas de maior utilização .	51
2.4.4.5 Análise da questão nº 5: Técnicas construtivas de maior e menor geração de RCC	52
2.4.5 Boas práticas para redução da geração de RCC na fase de projeto	55
2.5 Considerações finais	58
Referências	61

3 ARTIGO 2: MÉTODO PARA GERENCIAMENTO DE REQUISITOS AMBIENTAIS E DE <i>TRADE-OFFS</i> EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA URBANA MENOS IMPACTANTES AMBIENTALMENTE	65
3.1 Introdução	66
3.2 Tomada de Decisão no desenvolvimento de projetos mais sustentáveis	68
3.2.1 Métodos e ferramentas de apoio à tomada de decisão	68
3.2.2 Indicadores de sustentabilidade	71
3.3 Procedimentos Metodológicos	73
3.3.1 Classificação da Pesquisa	73
3.3.2 Método de Pesquisa	73
3.3.2.1 Priorização dos requisitos ambientais	74
3.3.2.2 Priorização dos indicadores ambientais	76
3.3.2.3 Identificação de correlações entre os indicadores ambientais	77
3.3.2.4 Elaboração de sistemática para o gerenciamento de <i>trade-offs</i>	78
3.4 Resultados e Discussões	78
3.4.1 Identificação e priorização de requisitos ambientais	78
3.4.2 Identificação e priorização dos indicadores ambientais	81
3.4.3 Correlações entre os indicadores ambientais	87
3.4.4 Sistemática para gerenciamento dos <i>trade-offs</i>	86
3.4.4.1 Diretrizes para o processo decisório em gerenciamento de <i>trade-offs</i>	89
3.4.4.2 Operacionalização do gerenciamento de <i>trade-offs</i>	91
3.5 Considerações finais	94
Referências	97
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS	106
APÊNDICE A – Questionário de Pesquisa Quali-Quantitativa	116
APÊNDICE B – <i>Checklists</i> gerados a partir das Boas Práticas	126
APÊNDICE C – Matriz da Qualidade	129
APÊNDICE D – Matriz de Correlações	131

1 INTRODUÇÃO

Com as recentes preocupações mundiais direcionadas à redução de impactos negativos causados ao meio ambiente pela atividade humana, observa-se a crescente necessidade de mudanças em processos e produtos de diferentes setores da indústria. Nesse cenário, a construção civil é considerada como uma das grandes responsáveis por impactos ambientais (IPCC, 2014), diretamente relacionados à natureza de suas atividades, desde a extração de matéria prima (PHAIR, 2006) até o desmonte e fim de vida de seus empreendimentos (BLENGINI, 2009). Assim, o planejamento inadequado dessas atividades pode gerar o esgotamento de recursos naturais essenciais para a sua realização e, como consequência, impactar diretamente em sua inoperância (UDAWATTA et al., 2015).

Um dos principais impactos ambientais causados pela construção civil está associado à geração de resíduos, também conhecidos como Resíduos de Construção Civil (RCC). Em função do volume disposto em aterros de áreas urbanas (YUAN; SHEN, 2011; MARZOUK; AZAB, 2014), o impacto relacionado a esse resíduo pode ocasionar: (i) contaminação de águas subterrâneas e superficiais (ESIN; COSGUN, 2007); (ii) deterioração da paisagem urbana (ESIN; COSGUN, 2007; MARZOUK; AZAB, 2014); e (iii) aumento das emissões de partículas sólidas no ar (SHEN; TAM, 2002). Com o acelerado processo de urbanização das cidades e consequente necessidade de implantação de infraestrutura de apoio, segundo Solís-Guzmán et al. (2009), os impactos gerados se tornam mais acentuados. Logo, entende-se que o desenvolvimento de mecanismos que possibilitem a efetiva redução da geração de RCC em projetos de infraestrutura urbana pode contribuir com a obtenção de empreendimentos menos impactantes ambientalmente.

Diversos estudos abrangem o desenvolvimento de abordagens projetuais com foco na minimização de RCC, as quais podem se constituir como uma importante estratégia para a maior racionalização dos empreendimentos (FORMOSO et al., 2002; LU; YUAN, 2011). Isso porque a minimização, nas etapas iniciais de projeto, está associada diretamente às fases de planejamento no processo de tomada de decisão (POON et al., 2004), reduzindo desperdícios na fonte geradora (EKANAYAKE; OFORI, 2004; ESIN; COSGUN, 2007). No entanto, de acordo com Li et al. (2015), devido à complexidade do desenvolvimento de projetos, a ausência de abordagem focada na minimização de RCC não está relacionada unicamente às opções selecionadas pelos projetistas. Esse cenário se agrava também por dificuldades operacionais de inserção de estratégias de redução nas rotinas de desenvolvimento dos

projetos, tanto em decisões técnicas quanto gerenciais. Além disso, no caso de projetos de infraestrutura urbana, verifica-se a falta de bases de dados detalhadas para caracterização dos RCCs, contribuindo para que as escolhas realizadas sejam superficiais ou até mesmo inadequadas. Alguns autores destacam ainda a abordagem pouco dinâmica de métodos existentes para apoio à tomada de decisão projetual com foco em sustentabilidade. Uma das principais características desses métodos é a não-priorização da comunicação entre os profissionais da equipe de projeto, a qual é considerada como essencial para a menor geração de resíduos (POON et al., 2004; KULATUNGA et al., 2006; WANG et al., 2014).

A inclusão de fatores de sustentabilidade em projetos incorre em um aumento de sua complexidade, uma vez que, além do gerenciamento de requisitos do cliente e normativos, entre outros comumente tratados, devem ser considerados ainda requisitos ambientais. Os requisitos ambientais, em alguns casos, podem ser antagônicos aos demais, criando a necessidade de gerenciamento desses conflitos, conhecidos como *trade-offs* (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; NIELSEN et al., 2016). Segundo Morrison-Saunders e Pope (2013), para a otimização das escolhas no processo de tomada de decisão, é importante que os *trade-offs* sejam explicitados e adequadamente analisados. Dessa forma, pode ser obtido um equilíbrio entre redução de impactos associados e desempenho adequado nos projetos.

Como apoio à obtenção desse equilíbrio, atendendo aos diferentes requisitos de projeto, os métodos multicritério (CHOW et al., 2014; MEDINECKIENE et al., 2015; KANG et al., 2016) e matriciais (SINGHAPUTTANGKUL et al., 2013; BIGOLIN et al., 2016) são considerados adequados. Isso se deve à sua flexibilidade e dinâmica, possibilitando seu emprego em diferentes cenários. Em complemento, esses métodos permitem a inserção de indicadores de sustentabilidade ao processo, possibilitando o acompanhamento das decisões associadas às questões ambientais no desenvolvimento dos projetos (DIZDAROGLU, 2015; HALLSTEDT, 2017).

No entanto, os métodos e ferramentas existentes, em sua maioria, são direcionados a projetos de edificações, em que a sustentabilidade ambiental recai em questões de habitabilidade e de eficiência energética (RACKES et al., 2016; SHAFAGHAT et al., 2016; WU et al., 2016). Por outro lado, os impactos ambientais ocasionados por projetos de infraestrutura urbana possuem origens distintas, estando associados, geralmente, tanto à sua extensa área física de intervenção quanto às acentuadas movimentações de terra. Dessa forma, com a escassez de estudos voltados ao gerenciamento de requisitos ambientais e de *trade-offs* em projetos de

infraestrutura urbana, entende-se que esse se constitui como um desafio para a otimização do processo de desenvolvimento do produto nessa área de conhecimento.

1.1 Tema e justificativa do tema

Para o alcance de maiores níveis de sustentabilidade ambiental em empreendimentos da construção civil, faz-se necessária a consideração de diferentes fatores, relacionados tanto às características do projeto quanto de sua execução. Assim, com o propósito de mitigação dos impactos ambientais ocasionados por esses empreendimentos, diversas abordagens podem ser empregadas, possibilitando o estudo de soluções mais ambientalmente amigáveis sob diferentes pontos de vista.

No que se refere à redução de impactos associados à geração de RCC, destacam-se as pesquisas desenvolvidas para otimização das decisões, tanto técnicas quanto gerenciais, tomadas durante a fase de projeto (OSMANI et al., 2008; AL-HAJJ; HAMANI, 2011; LI et al., 2015; LIU et al., 2015; UDAWATTA et al., 2015). Em seu trabalho, Begum et al. (2007) identificaram 12 fatores de aumento da geração de resíduos em obras, a partir da aquisição de materiais e das escolhas de projeto relacionadas. Saez et al. (2013) propuseram melhores práticas a serem adotadas pelas equipes de projeto, com foco na minimização da geração de RCC; ao passo que Wang et al. (2015) elaboraram um modelo dinâmico para avaliação da efetividade de estratégias projetuais para redução dessa geração. Além dos fatores relacionados diretamente à concepção dos projetos, diversos autores destacam ainda a importância de estudos acerca da influência que a atitude da equipe de projeto exerce sobre o alcance das metas de minimização (OSMANI et al., 2008; BEGUM et al., 2007; WANG et al., 2014; UDAWATTA et al., 2015). Em complemento, Ekanayake e Ofori (2004) e Nagalli (2014) relacionaram as definições de projeto ao adequado planejamento da execução de obras, como forma de racionalização de perdas durante a construção de empreendimentos.

Essa racionalização, além de contribuir com a melhoria de aspectos ambientais, também influencia as dimensões social e econômica dos projetos. Isso porque pode conduzir a uma maior responsabilidade social das organizações; além de reduzir custos com desperdício de matéria-prima e com a própria destinação dos resíduos gerados (FORMOSO et al., 2002; LU; YUAN, 2011). Nesse sentido, o emprego de ferramentas *Lean Construction* (LC), tanto na fase de projeto quanto de execução, é considerado como adequado para a obtenção de empreendimentos mais racionalizados (SALEM et al., 2005; NAHMENS, 2009; MARHANI et al., 2013; GHOSH et al., 2014). Outras abordagens, tais como *Green Building* (MENDLER

et al., 2006; NAHMENS, 2009) e Avaliação do Ciclo de Vida (ORTIZ et al., 2009; ANDERSON et al., 2015) também têm sido empregadas com essa finalidade.

Contudo, ressalta-se que as pesquisas aqui apresentadas, focadas em diferentes abordagens para minimização de RCC, geralmente, possuem, como principal objeto de estudo, projetos e sistemas construtivos típicos de edificações. No cenário de projetos de infraestrutura, a inclusão de fatores de sustentabilidade é frequentemente tratada sob o conceito de *Green Infrastructure* (GI) ou Infraestrutura Verde. De acordo com Pakzad e Osmond (2016), a GI busca mitigar os impactos ambientais negativos gerados pela implantação, em áreas urbanas, da chamada infraestrutura cinza ou técnica. A infraestrutura cinza é constituída por estruturas centralizadas (MEEROW; NEWELL, 2017) de apoio à produção econômica e ao atendimento de questões sociais nas cidades; incluindo vias, redes de tratamento de água e esgoto, de energia elétrica, dentre outras (VAN DE POL, 2010). A Infraestrutura Verde, por outro lado, pretende integrar as questões técnicas, nas quais essas estruturas estão focadas, aos fatores ambientais de demais elementos presentes no espaço urbano. Assim, pode ser entendida como uma infraestrutura híbrida, a qual associa fatores de sustentabilidade ambiental em áreas naturais e semi-naturais; contribuindo com a resiliência dos sistemas urbanos e com a qualidade de vida da população (TZOULAS et al., 2007; NAUMANN et al., 2011). No entanto, a Infraestrutura Verde atua como complementação da infraestrutura cinza (MEEROW; NEWELL, 2017) e não como otimização dessa; estando associada, principalmente, à adaptação de grandes centros urbanos às mudanças climáticas (DEMUZERE et al., 2014). Nesse sentido, os métodos e ferramentas desenvolvidos no contexto de GI, geralmente, são focados em redução de ilhas de calor (ZÖLCH et al., 2016; DERKZEN et al. 2017); gerenciamento de águas pluviais (MCDONALD et al., 2014; JIA et al., 2016; DEKZEN et al. 2017; SERRA-LLOBET; HERMIDA, 2017); e redução da poluição atmosférica (JAYASOORIYA et al., 2017).

Assim, entende-se que os requisitos técnicos e ambientais de projetos de infraestrutura, frequentemente tratados de forma segregada, necessitam, em função de sua multidisciplinaridade, serem gerenciados de forma mais ampla e integrada. Além disso, em função do apoio oferecido ao desenvolvimento das cidades, a infraestrutura urbana desempenha também um importante papel social para os seus usuários. Devido a essa característica, grande parte dos projetos dessa natureza no Brasil tem origem pública, atendendo a importantes demandas das populações.

Nesse caso, o desenvolvimento de projeto de infraestrutura, principalmente aqueles que integram fatores de sustentabilidade, torna-se ainda mais complexo. Isso porque a tomada de decisão projetual em empreendimentos públicos deve considerar, além dos requisitos comumente tratados, questões contratuais e de legislações específicas, as quais impõem novos requisitos a serem atendidos. Assim, as dificuldades técnicas e gerenciais enfrentadas em projetos de obras públicas se baseiam, sobretudo, no contraponto entre a rigidez da regulação estabelecida, pela Lei de Licitações 8.666/1993¹, e as falhas de planejamento nas etapas prévias à execução. A referida legislação, principal instrumento de contratação da Administração Pública, institui mecanismos específicos para controle de prazos, orçamento, execução dos serviços, entre outros aspectos. No entanto, a falta de integração entre as fases de planejamento, projeto, licitação, execução e operação, segundo Lima e Jorge (1998) e Perez (2011), perpetuam o histórico de elevados níveis de desperdício e de baixo desempenho dos empreendimentos.

Nesse contexto, observa-se, entretanto, uma crescente preocupação do poder público associada à melhoria da qualidade dos projetos, bem como à obtenção de empreendimentos mais racionalizados e menos impactantes ambientalmente. Esse fato pode ser exemplificado através da entrada em vigor da Instrução Normativa Nº 1 (BRASIL, 2010), a qual, além de apresentar recomendações importantes quanto às responsabilidades do poder público em contratações mais sustentáveis, indica também a obrigatoriedade do estabelecimento de critérios projetuais claros para o julgamento de propostas em licitações dessa natureza. Logo, ratifica-se a necessidade da construção de critérios ambientais que se apresentem claros e mensuráveis, em apoio à melhoria do planejamento nas fases iniciais do desenvolvimento de projetos e à inclusão de fatores de sustentabilidade em obras públicas.

Considerando essas duas particularidades – a diversidade dos tipos de requisitos a serem gerenciados em projetos de infraestrutura urbana, bem como a sua natureza pública –, entende-se que há uma importante lacuna de conhecimento associada ao gerenciamento desses requisitos. Nesse campo de pesquisa, diversos estudos têm sido desenvolvidos com fins a integrar os requisitos ambientais no desenvolvimento de produtos menos impactantes ambientalmente, bem como de projetos mais sustentáveis na construção civil.

No processo de desenvolvimento de produtos, Kaebernick et al. (2003), realizaram o gerenciamento de requisitos do cliente incluindo a dimensão ambiental; ao passo que Yim e

¹ BRASIL. Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 8.666**, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Brasília, DF, 1993.

Herrmann (2003) traduziram as demandas do cliente diretamente como demandas ambientais a serem atendidas. Outros estudos, focados em desenvolvimento de produtos, integraram os requisitos ambientais aos requisitos do cliente, além da consideração de requisitos normativos e de legislação (ABELE et al., 2005; BIGOLIN et al., 2016). Durante a elaboração de projetos, diversos trabalhos destacam a importância do adequado gerenciamento de requisitos, voltados principalmente a projetos de edificações, com foco nos requisitos do cliente (KAMARA et al., 1999; JENSEN, 2011; JALLOW et al., 2014). Em alguns casos, os requisitos ambientais passaram a ser incluídos também no processo de elaboração de projetos (PEGORARO et al., 2013; SINGHAPUTTALGKUL et al., 2013), porém, sendo ainda pouco explorados nos de infraestrutura urbana.

Considerando a maior complexidade atribuída ao gerenciamento de requisitos, quando da inclusão de demandas ambientais, diversos estudos empregaram, como apoio a esse gerenciamento, a ferramenta *Quality Function Deployment* (QFD), tanto no desenvolvimento de produtos (YIM; HERRMANN, 2003; BIGOLIN et al., 2016) quanto de projetos (SALGADO, 1998; SINGHAPUTTALGKUL et al., 2013). Em alguns casos, essa ferramenta, ou outros métodos multicritério, foram utilizados, ainda, a fim de possibilitar a adoção de indicadores de sustentabilidade (FANTINATTI et al, 2015; BIGOLIN et al., 2016), como forma de acompanhamento dos resultados obtidos a partir das decisões tomadas.

Tendo em vista o exposto, verifica-se que os estudos existentes, voltados à minimização da geração de resíduos e ao tratamento de requisitos ambientais na construção civil, estão focados, principalmente, no desenvolvimento de projetos de edificações e de produtos menos impactantes ambientalmente. Por sua vez, os projetos de infraestrutura urbana têm sido elaborados com foco em requisitos normativos, sendo considerados os requisitos ambientais quando da necessidade de atendimento a legislações ou em estudos de GI. Dessa forma, o problema que direciona esta pesquisa é o de como integrar o atendimento a requisitos técnicos e gerenciais, de forma a ocasionar menores impactos ambientais associados à produção de RCC em projetos de infraestrutura urbana. Para tanto, considera-se a hipótese de que é possível a obtenção de empreendimentos, dessa natureza, menos impactantes ambientalmente, a partir da redução da geração de RCC na fase de projeto.

1.2 Objetivos da Pesquisa

Como forma de contribuição à área de conhecimento do problema de pesquisa apresentado, o objetivo principal deste estudo consiste na proposição de mecanismos de apoio à tomada de

decisão projetual, buscando a minimização de RCC em projetos de infraestrutura urbana. A partir desse, são desdobrados ainda três objetivos específicos:

- Identificação de boas práticas para a redução da geração de RCC em projetos de infraestrutura urbana (desenvolvido no Artigo 1);
- Proposição de um método para o gerenciamento de requisitos ambientais e de *trade-offs* como apoio à tomada de decisão projetual (desenvolvido no Artigo 2) e;
- Elaboração de uma sistemática para o gerenciamento de *trade-offs* existentes no processo de desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana com menor geração de resíduos (tratado no Artigo 2).

1.3 Métodos adotados

Este trabalho se desenvolveu através de pesquisa aplicada por métodos mistos, contendo análises qualitativas e quantitativas. Em relação aos seus objetivos, o estudo foi baseado em pesquisa exploratória, com a constituição de mecanismos de apoio à tomada de decisão projetual, para minimização da geração de RCC no cenário de estudo.

No primeiro artigo, os procedimentos metodológicos incluíram: (i) pesquisa bibliográfica; (ii) análise documental; e (iii) aplicação de pesquisa quali-quantitativa (*survey*) a especialistas. A pesquisa bibliográfica foi empregada para a identificação de principais técnicas construtivas associadas a projetos de infraestrutura urbana, para o mapeamento das etapas de projeto recomendadas por órgãos de controle no Brasil; bem como para a complementação das boas práticas identificadas. Por sua vez, a análise documental foi utilizada com fins à caracterização dos resíduos gerados por etapa de execução, em algumas obras de infraestrutura urbana selecionadas para estudo. A aplicação de pesquisa com especialistas apoiou a identificação de oportunidades de melhoria no desenvolvimento de projetos, as quais embasaram as boas práticas para redução da geração de RCC.

Para o desenvolvimento do segundo artigo, foi empregada, como abordagem metodológica principal, a *Design Science Research* (DSR); visto que essa orienta pesquisas que têm como objetivo a solução de problemas reais, de forma colaborativa, através da construção de métodos, modelos, entre outros artefatos (DRESCH et al., 2015). Para a elaboração do método proposto, foram empregadas, com base em DSR, pesquisa bibliográfica e pesquisa quantitativa junto a profissionais atuantes no desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana. A pesquisa bibliográfica foi realizada tanto para complementação dos requisitos ambientais considerados no estudo quanto para proposição de diretrizes de apoio ao gerenciamento de *trade-offs*. No que tange ao emprego de pesquisa quantitativa com

especialistas, essa foi aplicada a fim de possibilitar a avaliação dos níveis de importância dos requisitos ambientais, técnicos e gerenciais, em projetos de infraestrutura urbana. Nessa fase, foram consultados especialistas de quatro diferentes órgãos públicos, além de uma empresa privada prestadora de serviços à Administração Pública. Assim, o método para gerenciamento de requisitos ambientais e de *trade-offs* foi desenvolvido, de forma multidisciplinar, com o apoio de equipes de projeto dos órgãos públicos; tendo sido estruturado por alguns profissionais e avaliado pontualmente pelos demais. A avaliação por diferentes profissionais, foi realizada tanto na fase de preenchimento da Matriz da Qualidade e de Correlações quanto na construção da sistemática para gerenciamento de *trade-offs*.

1.4 Delimitações

Como delimitações deste estudo podem ser apresentadas as considerações que seguem. A primeira delimitação está relacionada ao fato de o trabalho ter como foco os elementos pertencentes a ambientes urbanos; incluindo suas particularidades, demandas características, e as relações existentes entre esses e os projetos de infraestrutura. Dessa forma, tendo em vista a necessidade de detalhamento e aprofundamento no tema do cenário de estudo, nesta pesquisa, não foram abordados quaisquer projetos pertencentes a áreas pouco urbanizadas ou mesmo em zonas rurais.

No contexto de tipologias de projeto, considerando que, em grandes centros urbanos, os projetos de edificações atuam, muitas vezes, como os principais demandantes da criação de infraestrutura de apoio, entende-se que há uma forte relação entre esses e os projetos de infraestrutura urbana. No entanto, devido à existência de características distintas entre essas duas naturezas de projeto, principalmente, quando do estudo de impactos ambientais, neste trabalho, optou-se por não abordar projetos de edificações de quaisquer tipos.

Considerando os danos ambientais causados por projetos de infraestrutura urbana, embora existam diversos possíveis impactos negativos associados a esses empreendimentos, em diferentes fases de seu ciclo de vida, no presente estudo, são tratados somente aqueles oriundos da geração e disposição de RCC. Logo, não são considerados quaisquer outros tipos de impactos causados por esses projetos, bem como que estejam relacionados a outros tipos de resíduos gerados quando da implantação dos empreendimentos e execução das obras.

Nessa fase de execução, é possível, ainda, o reaproveitamento de resíduos no próprio canteiro de obras, havendo, assim, diferenças entre os resíduos efetivamente gerados e os encaminhados para destinação final. Contudo, tendo em vista que, frequentemente, observa-se

um baixo nível de controle dos RCCs reaproveitados nas obras, nesta pesquisa, foi considerado que o quantitativo de resíduos gerados corresponde ao quantitativo destinado. Além disso, embora os resíduos de construção e demolição (RCDs) também sejam gerados, eventualmente, por obras de infraestrutura urbana, neste estudo, foram considerados somente os RCCs, provenientes de novas intervenções.

No que se refere às delimitações pertencentes ao primeiro artigo desta dissertação, Capítulo 2, podem ser consideradas, principalmente, aquelas relacionadas ao escopo dos projetos analisados. Ainda que a infraestrutura urbana seja constituída por diferentes tipos de projetos, inclusive aqueles estabelecidos entre municípios, o foco do trabalho recaiu sobre tipologias específicas, as quais foram consideradas como mais representativas dos ambientes urbanos. Assim, a infraestrutura urbana considerada no Artigo 1 abarcou: projetos de redes de água e esgoto, drenagem, cercamentos, áreas pavimentadas e instalações provisórias de canteiro. Tendo sido excluídas das análises realizadas: estradas de rodagem; estruturas de contenção; e obras de arte, tais como pontes, viadutos, passarelas, dentre outros.

Para o segundo artigo, Capítulo 3, as delimitações estão relacionadas, principalmente, à origem pública dos projetos foco do estudo. Embora devam ser considerados projetos de infraestrutura urbana desenvolvidos pela iniciativa privada, tais como os pertencentes a condomínios e a loteamentos urbanos, este trabalho foi estruturado para atendimento a demandas ambientais de projetos públicos. Esses projetos, em sua essência, tendem a ser mais rigorosos, em termos de requisitos, quando comparados aos projetos da iniciativa privada, devido ao fato de serem regidos por legislações específicas para contratações na Administração Pública. Portanto, tais requisitos foram considerados como demandas mínimas a serem atendidas pelos projetos estudados.

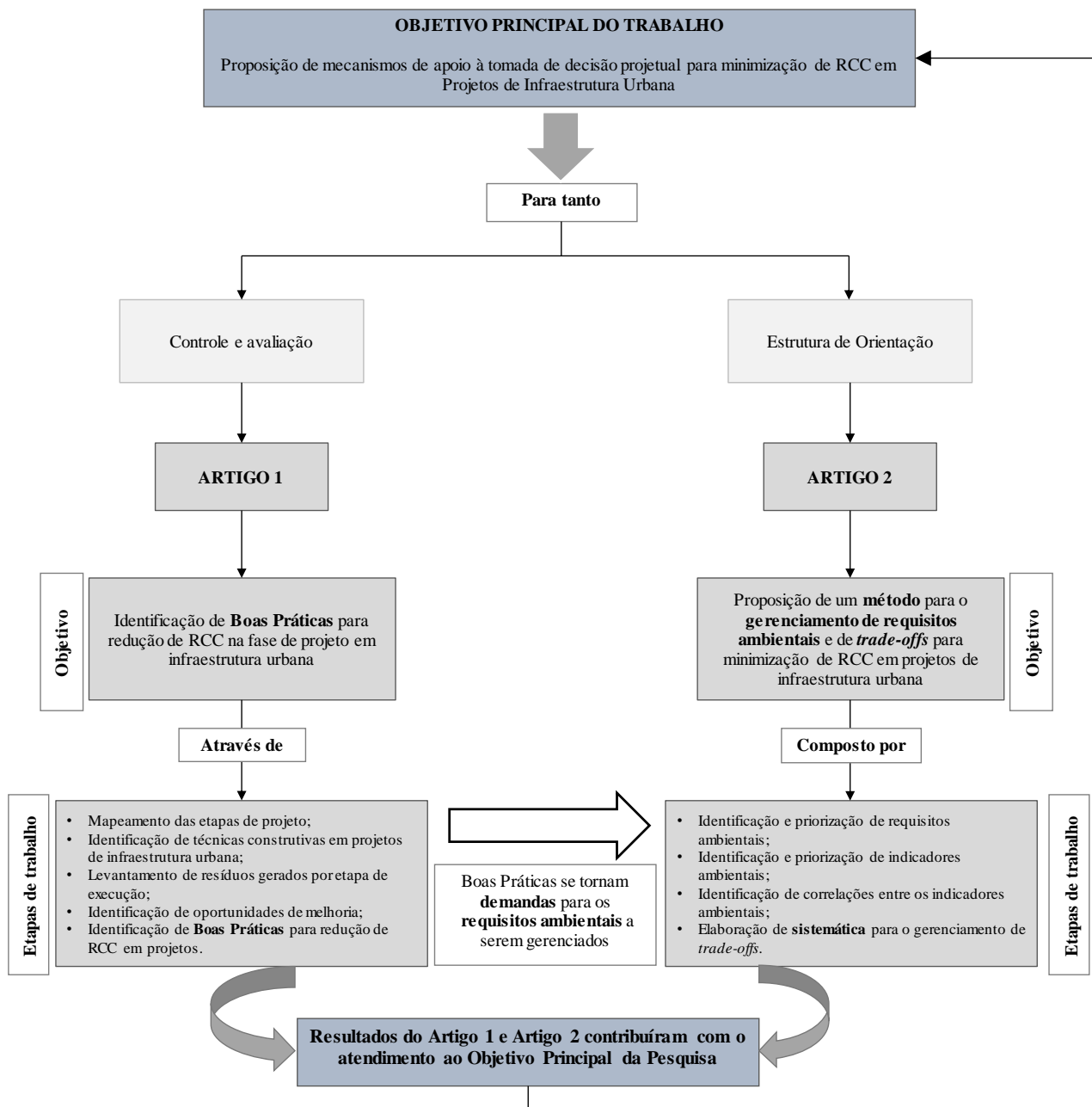
1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em quatro capítulos; em que o primeiro apresenta a introdução, contendo contextualização e justificativa do tema de estudo; além de seus objetivos, métodos e delimitações. Os capítulos dois e três contêm um artigo cada, sendo esses detalhados a seguir e representados na figura 1, a qual explicita a relação de ambos com o tema e os objetivos da pesquisa.

O segundo capítulo, composto pelo primeiro artigo da dissertação, dedicou-se à obtenção de mecanismos de apoio à tomada de decisão, em projetos de infraestrutura urbana menos impactantes ambientalmente, com foco em seu controle e avaliação. Para tanto, foram

identificadas boas práticas, a serem adotadas na fase de projeto, para redução da geração de RCC, considerando abordagens técnicas e gerenciais, a partir de cinco etapas de trabalho, incluindo pesquisa *survey* junto a especialistas.

Figura 1 – Estrutura do trabalho



Fonte: elaborado pela autora

No terceiro capítulo, foi desenvolvido o segundo artigo, o qual teve como base as boas práticas identificadas no Artigo 1; originando demandas ambientais a serem atendidas pelos projetos de infraestrutura urbana. Assim, o Artigo 2 buscou a obtenção de um método de apoio ao processo de tomada de decisão projetual, tanto para técnicos quanto para gestores,

como suporte ao atendimento dos requisitos ambientais obtidos a partir das demandas identificadas. O método desenvolvido contou, ainda, com uma sistemática para o gerenciamento de possíveis *trade-offs* existentes nos projetos estudados, sempre com o enfoque na minimização da geração de RCC.

No capítulo quatro, foram realizadas as considerações finais, as quais se desdobram em uma análise geral da pesquisa desenvolvida e de seus resultados. Por fim, foram apresentadas, como contribuição à continuidade de estudos, sugestões a trabalhos futuros.

Referências

ABELE, E.; ANDERL, R.; BIRKHOFFER, H. G. **Environmentally-friendly product development: methods and tools**. London: Springer, 2005.

AL-HAJJ, A.; HAMANI, K. Material Waste in the UAE construction industry: main causes and minimization practices. **Architectural engineering and design management**, v. 7, Issue 4, p. 221-235, Nov. 2011.

ANDERSON, J. E.; WULFHORST, G.; LANG, W. Expanding the use of life-cycle assessment to capture induced impacts in the built environment. **Building and environment**, v. 94, p. 403-416, 2015.

BEGUM, R. A.; SIWAR, C.; PEREIRA, J. J.; JAAFAR, A. H. Implementation of waste management and minimisation in the construction industry of Malaysia. **Resources, conservation and recycling**, v. 51, p. 190-202, 2007.

BIGOLIN, M.; DANILEVICZ, A. M. F.; SILVA FILHO, L. C. P. Sustainability requirements for concrete block elements based on recycled CDW: a case study for supporting social production in Southern Brazil. In: PORTLAND INTERNACIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY – PICMET, 25th, 2016, Honolulu. **Proceedings...** Honolulu: 2016. p. 2413-2419.

BLENGINI, G. A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. **Building and Environment**, v. 44, p. 319-330, 2009.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa n. 1**, de 19 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.comprasnet.gov.br/legislacao/legislacaoDetalhe.asp?ctdCod=295>>. Acesso em: 01 out. 2016.

BYGGETH, S.; HOCHSCHORNER, E. Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 1420-1430, 2006.

CHOW, J. F.; SAVIC, D.; FORTUNE, D.; KAPELAN, Z.; MEBRATE, N. Using a systematic, multi-criteria decision support framework to evaluate sustainable drainage designs. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 343-352, 2014.

DEMUZERE, M.; ORRU, K.; HEIDRICH, O.; OLAZABAL, E.; GENELETTI, D.; ORRU, H.; BHAVE, A. G.; MITTAL, N.; FELIU, E.; FAEHNLE, M. Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. **Journal of Environmental Management**, v. 146, p. 107-115, 2014.

DERKZEN, M. L.; TEEFFELEN, A. J. A. van; VERBURG, P. H. Green infrastructure for urban climate adaptation: How do residents' views on climate impacts and green infrastructure shape adaptation preferences? **Landscape and Urban Planning**, v. 157, p. 106-130, 2017.

DIZDAROGLU, D. Developing micro-level urban ecosystem indicators for sustainability assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 54, p. 119-124, 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EKANAYAKE, L. L.; OFORI, G. Building waste assessment score: design-based tool. **Building and Environment**, v. 39, Issue 7, p. 851-861, July 2004.

ESIN, T.; COSGUN, N. A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey. **Building and Environment**, v. 42, Issue 4, p. 1667-1674, Apr. 2007.

FANTINATTI, P. A. P.; FERRÃO, A. M. A.; ZUFFO, A. C. **Indicadores de sustentabilidade em engenharia: Como desenvolver**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

FORMOSO, C. T.; SOIBELMAN, L.; CESARE, C.; ISATTO, E. L. Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. **Journal of construction engineering and management**, v. 128, Issue 4, p. 316-325, Jul. 2002.

GHOSH, S.; BHATTACHARJEE, S.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GANAPATHY, R. A case study to examine environmental benefits of Lean Construction. In: 22nd ANNUAL CONFERENCE OF INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION, p. 133-144, 2014. **Proceedings...** Disponível em: < <http://iglc.net/Papers/Details/966>>. Acesso em: 31 jan 2016.

HALLSTEDT, S. Sustainability criteria and sustainability compliance index for decision support in product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 251-266, 2017.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Fifty Assessment Report of Climate Change**. Cambridge, UK, 2014.

JALLOW, A. K.; DEMIAN, P.; BALDWIN, A. N.; ANUMBA, C. An empirical study of the complexity of requirements management in construction projects. **Engineering Construction and Architectural Management**, v. 21, n. 5, p. 505-531, 2014.

JAYASOORIYA, V. M.; NG, A. W. M.; MUTHUKUMARAN, S.; PERERA, B. J. C. Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. **Urban Forestry & urban Greening**, v. 21, p. 34-47, 2017.

JENSEN, P. A. Inclusive briefing and user involvement: case study of a media center in Denmark. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 7, n. 1, p. 38-49, 2011.

JIA, Z.; TANG, S.; LUO, W.; LI, S.; ZHOU, M. Small scale green infrastructure design to meet different urban hydrological criteria. **Journal of Environmental Management**, v. 171, p. 92-100, 2016.

KAEBERNICK, H.; KARA, S.; SUN, M. Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 19, Issue 6, p. 461-468, 2003.

KAMARA, J. M.; ANUMBA, C. J.; EVBUOMWAN, N. F. O. Client requirements processing in construction: a new approach using QFD. **Journal of Architectural Engineering**, v. 5, p. 8-15, 1999.

KANG, H.; LEE, Y.; KIM, S. Sustainable building assessment tool for project decision makers and its development process. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 58, p. 34-47, 2016.

KULATUNGA, U.; AMARATUNGA, D.; HAIGH, R.; RAMEEZDEEN, R. Attitudes and perceptions of construction workforce on construction waste in Sri Lanka. **Management of environmental quality: an international journal**, v. 17, p. 57-72, 2006.

LI, J.; TAM, V. W. Y.; ZUO, J.; ZHU, J. Designer's attitude and behavior toward construction waste minimization by design: A study in Shenzhen, China. **Resources, conservation and recycling**, v. 105, p. 29-35, 2015.

LIMA, L. F. C.; JORGE, P. L. Sucessos e dificuldades na implantação de novos procedimentos no gerenciamento de obras públicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 7th, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1998, p. 693-700.

LU, W.; YUAN, H. A framework for understanding waste management studies in construction. **Waste management**, v. 31, Issue 6, p. 1252-1260, June 2011.

MARHANI, M. A.; JAAPAR, A.; BARI, N. A. A.; ZAWAWI, M. Sustainability through Lean Construction Approach: A literature review. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 101, p. 90-99, 2013.

MARZOUK, M.; AZAB, S. Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics. **Resources, conservation and recycling**, v. 82, p. 41-49, 2014.

MCDONALD, R. I.; WEBER, K.; PADOWSKI, J.; FLÖRKE, M.; SCHNEIDER, C.; GREEN, P. A.; GLEESON, T.; ECKMAN, S.; LEHNER, B.; BALK, D.; BOUCHER, T.; GRILL, G.; MONTGOMERY, M. Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. **Global Environmental Change**, v. 27, p. 96-105, 2014.

MEDINECKIENE, M.; ZAVADSKAS, E. K.; BJÖK, F.; TURSKIS, Z. Multi-criteria decision-making system for sustainable building assessment/certification. **Archives of civil and mechanical engineering**, v. 15, p. 11-18, 2015.

MEEROW, S.; NEWELL, J. P. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. **Landscape and Urban Planning**, v. 159, p. 62-75, 2017.

MENDLER, S.; ODELL, W.; LAZARUS, M. A. **The HOK guidebook to sustainable design**. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.

MORRISON-SAUNDERS, A.; POPE, J. Conceptualising and managing trade-offs in sustainability assessment. **Environmental Impact and Assessment Review**, v. 38, p. 54-63, 2013.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NAHMENS, I. From Lean to Green construction: a natural extension. In.: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, p. 1058-10678, 2009. **Proceedings...** Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/41020%28339%29107>>. Acesso em: 25 out 2015.

NAUMANN, S. DAVIS, M.; KAPHENGST, T.; PIETERSE, M.; RAYMENT, M. **Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects**. Final Report Brussels, European Commission, 2011.

NIELSEN, A. N.; JENSEN, R. L.; LARSEN, T. S.; NISSEN, S. B. Early stage decision support for sustainable building renovation: a review. **Building and Environment**, v. 103, p. 165-181, 2016.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and building materials**, v. 23, p. 28-39, 2009.

OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. D. F. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. **Waste management**, v. 28, p. 1147-1158, 2008.

PAKZAD, P.; OSMOND, P. Developing a sustainability indicator set for measuring green infrastructure performance. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 216, p. 68-79, 2016.

PEGORARO, C.; SAURIN, T. A.; PAULA, I. C. de. Gestão de requisitos na construção civil: um estudo de caso focado nos requisitos ambientais de um projeto urbanístico. **Produção**, v. 23, n. 2, p. 345-363, 2013.

PEREZ, C. P. **Proposta e implementação de um plano de qualidade para obras públicas de pequeno porte**. 2011. 181 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PHAIR, J. W. Green chemistry for sustainable cement production and use. **Green chemistry**, v. 8, p. 763-780, 2006.

POON, C. S.; YU, A. T. W.; WONG, S. W.; CHEUNG, E. Management of construction waste in public housing projects in Hong Kong. **Construction Management and Economics**, v. 22, Issue 7, p. 675-689, 2004.

RACKES, A.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Naturally comfortable and sustainable: Informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates. **Applied Energy**, v. 174, p. 256-274, 2016.

SAEZ, P. V.; MERINO, M. de R.; GONZÁLEZ, A. S.; PORRAS-AMORES, C. Best practice measures assessment for construction and demolition waste management in building constructions. **Resources, conservation and recycling**, v. 75, p. 52-62, 2013.

SALEM, O.; SOLOMON, J.; GENAIDY, A.; LUEGRING, M. Site implementation and assessment of Lean Construction Techniques. **Lean Construction Journal**, v. 2, p. 1-21, Oct. 2005.

SALGADO, M. S. QFD – Quality Function Deployment: Ferramenta para planejamento da qualidade do projeto. In: DEL RIO, V. (Org.). **Arquitetura: Pesquisa e Projeto**. São Paulo: ProEditores – FAU/UFRJ, 1998.

SERRA-LLOBET, A.; HERMIDA, M. A. Opportunities for green infrastructure under Ecuador's new legal framework. **Landscape and Urban Planning**, v. 159, p. 1-4, 2017.

SHAFAGHAT, A.; KEYVANFAR, A.; ABD.MAJID, M. Z.; LAMIT, H. B.; AHMAD, M. H.; FERWATI, M. S.; GHOSHAL, S. K. Methods for adaptive behaviors satisfaction assessment with energy efficient building design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 250-259, 2016.

SHEN, L. Y.; TAM, V. W. Y. Implementation of environmental management in the Hong Kong construction industry. **International Journal of Project Management**, v. 20, p. 535-543, 2002.

SINGHAPUTTANGKUL, N.; LOW, S. P.; TEO, A. L.; HWANG, B. Knowledge-based Decision Support System Quality Function Deployment (KBDSS-QFD) tool for assessment of building envelopes. **Automation in Construction**, v. 35, p. 314-328, 2013.

SOLÍS-GUZMÁN, J.; MARRERO, M.; MONTES-DELGADO, M. V.; RAMÍREZ-DE-ARELLANO, A. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste management**, v. 29, Issue 9, p. 2542-2548, 2009.

TZOULAS, K.; KORPELA, K.; VENN, S.; YLI-PELKONEN, V.; KAZMIERCZAK, A.; NIEMELA, J.; JAMES, P. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. **Landscape and Urban Planning**, v. 81, p. 167-178, 2007.

UDAWATTA, N.; ZUO, J.; CHIVERALLS, K.; ZILLANTE, G. Improving waste management in construction projects: An Australian study. **Resources, conservation and recycling**, v. 101, p. 73-83, 2015.

VAN DE POL, J. F. **Infrastructure sustainability assessment method**. Twente, Netherlands: University of Twente, 2010.

YIM, H.; HERRMANN, C. Eco-voice of consumer (VOC) on QFD. In: HRID INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTALY CONSCIOUS DESING AND INVERSE MANUFACTURING, 2003, Tokyo. **Proceedings...** Tokyo: 2003. p. 618-625, 2003.

YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste management**, v. 31, Issue 4, p. 670-679, Apr. 2011.

WANG, J.; LI, Z.; TAM, V. W. Y. Critical factors in effective construction waste minimization at the design stage: a Shenzhen case study, China. **Resources, conservation and recycling**, v. 82, p. 1-7, 2014.

_____. Identifying best design strategies for construction waste minimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p. 237-247, 2015.

WU, M. H.; NG, T. S.; SKITMORE, M. R. Sustainable building envelope design by considering energy cost and occupant satisfaction. **Energy for Sustainable Development**, v. 31, p. 118-129, 2016.

ZÖLCH, T.; MADERSPACHER, J.; WAMSLER, C.; PAULEIT, S. Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 20, p. 305-316, 2016.

2 ARTIGO 1 – REDUÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA URBANA

Artigo aceito para publicação, em língua inglesa, pela revista *Waste Management* (ISSN 0956-053X) – Qualis A1 para Engenharias III.

Resumo

Os impactos ambientais gerados pela construção civil têm se tornado preocupantes com a intensificação do processo de desenvolvimento das cidades. Embora existam diversos estudos voltados à minimização dos impactos causados pelas construções, ainda persiste uma lacuna de conhecimento associada à redução da geração de resíduos de construção civil (RCC) nos projetos de infraestrutura urbana. Nesse sentido, parte-se do pressuposto de que os RCCs podem ser minimizados a partir da condução adequada de decisões projetuais, tanto em atividades de projeto quanto relacionadas à gestão desse. Assim, esta pesquisa objetiva identificar boas práticas para a redução da geração de RCC, como apoio ao processo de tomada de decisão projetual e ao efetivo gerenciamento de resíduos nos processos de construção do setor público. As boas práticas foram identificadas a partir de: pesquisa bibliográfica; análise documental em 14 projetos de infraestrutura urbana; e aplicação de questionário quali-quantitativo a 18 especialistas (arquitetos ou engenheiros), atuantes em diferentes etapas desses projetos. Como principais contribuições da pesquisa, podem ser citadas: (i) a identificação das principais técnicas construtivas relacionadas às tipologias de projetos de infraestrutura urbana analisadas; (ii) a relação entre os fatores de escolhas projetuais e a caracterização dos resíduos gerados; e (iii) a obtenção de um *checklist*, para apoio ao processo de tomada de decisão, o qual pode ser empregado como instrumento de controle e avaliação no desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana, focados na minimização da geração de RCC.

Palavras-chave: Resíduos de Construção Civil (RCC); Projetos de Infraestrutura Urbana; Gestão de Resíduos; Boas Práticas Projetuais; Minimização de resíduos

2.1 Introdução

A indústria da construção civil é uma das grandes responsáveis por impactos ambientais, os quais estão associados tanto à produção e extração de matéria-prima quanto à implantação de projetos e execução de obras. Alguns dos mais significativos impactos causados pelo setor estão associados à geração de resíduos de construção civil (RCC), a qual, de acordo com Solís-Guzmán et al. (2009), torna-se mais expressiva em função do crescimento acelerado das cidades. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, em 2015, o Brasil gerou em torno de 45 milhões de toneladas de RCC, o que equivale a 57% dos resíduos sólidos produzidos no país (ABRELPE, 2015).

A disposição de resíduos nos grandes centros urbanos causa problemas como a necessidade de criação de áreas de disposição e a consequente degradação da paisagem urbana, além de estar associada à contaminação do solo e das águas. Em complemento, estima-se que a cadeia produtiva da construção civil seja responsável por cerca de 19% das emissões de CO₂ na atmosfera em todo o mundo, conforme levantamento realizado pelo *Intergovernmental Climate Change* (IPCC, 2014). Assim, Udawatta et al. (2015) consideram inviável a continuidade da extração ilimitada de recursos naturais pela construção civil, uma vez que essa prática contribui para o esgotamento de recursos vitais para o setor.

Nesse contexto, os projetos de infraestrutura urbana, em função de suas características intrínsecas – tais como extensa área de intervenção e dependência de serviços de escavação –, são considerados grandes geradores de RCC. Além disso, tendo em vista os tipos de materiais empregados e os métodos construtivos relacionados a esses projetos, entende-se que há diferenças importantes entre os resíduos gerados em obras de edificações, mais frequentemente estudados, e os relacionados a infraestrutura urbana. Logo, a adoção de métodos que propiciem a elaboração e execução de empreendimentos com menor impacto ambiental constitui uma grande oportunidade de melhoria, principalmente no que diz respeito às decisões de projeto, já que podem influenciar fatores de minimização na fonte geradora (EKANAYAKE; OFORI, 2004; ESIN; COSGUN, 2007). Entretanto, conforme ressaltam Li et al. (2015), em muitos casos, a ausência de abordagem projetual focada na redução não está relacionada a uma opção do projetista, mas sim à sua incapacidade em conduzir escolhas adequadas de técnicas construtivas durante a tomada de decisão.

Assim, é imperativo que sejam pensadas estratégias voltadas à racionalização de processos e de produtos, como apoio à tomada de decisão projetual, contribuindo para a redução de impactos ambientais de obras de infraestrutura urbana. Nesse sentido, métodos de *Lean*

Construction (LC) e construção verde podem constituir-se abordagens adequadas para a condução de projetos menos impactantes, a partir da redução de perdas (NAHMENS, 2009; UDAWATTA et al., 2015). Embora existam diversas certificações ambientais consolidadas, que norteiam projetos de edificações, considera-se que ainda há lacunas importantes para a orientação de projetos de infraestrutura urbana. Wang et al. (2015) reforçam essa afirmação, apresentando que são bastante superficiais, ou até mesmo inapropriados, os métodos para avaliação ambiental em projetos dessa natureza. Isso porque tais métodos são baseados em processos estáticos, desconsiderando a característica dinâmica da relação existente entre as estratégias de projeto e os fatores determinantes da geração de RCC. Observa-se ainda a falta de base de dados que apresente um adequado diagnóstico da geração de resíduos em obras urbanas, bem como um completo entendimento da relação entre as causas dessa geração.

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo identificar boas práticas para a redução da geração de resíduos, como apoio à tomada de decisão em projetos públicos de infraestrutura urbana. As boas práticas tiveram origem em: pesquisa bibliográfica; análise documental; e aplicação de questionário quali-quantitativo a especialistas. Enquanto resultados, são apresentados: (i) as principais técnicas construtivas relacionadas às tipologias de projetos de infraestrutura urbana analisadas; (ii) a relação entre as características dos resíduos gerados e as escolhas projetuais adotadas; e (iii) a obtenção de *checklist*, para suporte à tomada de decisão projetual, visando à redução da geração de RCC na implantação de infraestrutura urbana.

O trabalho está estruturado em cinco seções, sendo que a primeira contém as diretrizes norteadoras do artigo. A segunda seção trata do referencial teórico, abordando causas de perdas na construção civil, os impactos ambientais associados e mecanismos para a minimização da geração de RCC. A terceira seção apresenta os procedimentos metodológicos desenvolvidos, enquanto que na quarta seção são apresentados os resultados obtidos e seus desdobramentos. Por fim, na quinta e última seção, são apresentadas as considerações finais deste estudo e as sugestões de trabalhos futuros.

2.2 Perdas de materiais em projetos e obras da construção civil

Nesta sessão, são apresentados os conteúdos relevantes de referencial teórico a fim de embasar o presente artigo, quais sejam: causas da geração de RCC, os impactos ambientais relacionados e mecanismos de redução de perdas de materiais em projetos e obras da construção civil.

2.2.1 Geração de RCC e seus impactos ambientais

A geração de RCC pode estar ligada a decisões de projeto, planejamento de obras, problemas de execução, entre outros. Na etapa projetual, são consideradas causas significativas de perdas: mudanças não previstas em projeto, detalhamentos insuficientes, e falhas na especificação de produtos, além de falta de comunicação plena entre a equipe de projeto (OSMANI et al., 2008; AL-HAJJ; HAMANI, 2011; LIU et al., 2015). Na fase de execução, podem ser considerados fatores como danos ocasionados por transporte inadequado, manuseio inapropriado, sobras do processo de execução por trabalho não qualificado, estocagem não planejada e intempéries (LINGARD et al., 2000). Formoso et al. (2002) realizaram um mapeamento de causas de desperdícios diretos e indiretos em diferentes tipos de materiais de construção comuns em obras brasileiras, tais como: barras de aço (para concreto armado); concreto e argamassa misturados *in loco*; blocos e tijolos; agregados; tubos e fios. As causas levantadas apontaram problemas recorrentes de ausência de padronização de projeto (LI et al., 2015), falta de coordenação modular (UDAWATTA et al., 2015), falhas de compatibilização entre subsistemas, planejamento inadequado do canteiro de obras (NAGALLI, 2014) e falta de otimização dos recursos.

Além disso, alguns materiais, por natureza, são maiores geradores de resíduos que outros (NAGALLI, 2014; HASSAN et al., 2015), bem como podem ocasionar maior impacto ambiental em função de suas características (MÁLIA, 2010). Em relação aos tipos de materiais que mais geram resíduos na indústria da construção civil, os que mais se destacam, em volume de RCC gerado por metro quadrado construído (m^3 resíduos/ m^2 construído), são: concreto, argamassa, tijolos, aço e cerâmica. Em alguns casos, são apontados também os trabalhos de movimentação de terra, escavações e limpeza inicial do terreno (JAILLON et al., 2009; SOLÍS-GUZMÁN et al., 2009; KATZ e BAUM, 2011). Jaillon et al. (2009) destacam, ainda, que são expressivos os resíduos de madeira gerados quando o material é empregado em sistemas de formas, podendo chegar a 70% de aumento na produção de RCC. Por outro lado, RCCs constituídos por materiais perigosos, tais como madeira com substâncias de desforma, misturas betuminosas, resíduos de pintura e de solventes são gerados em menor quantidade, em torno de 5% a 15% do volume total (LLATAS, 2011; BÁEZ et al., 2011).

Os RCCs produzidos, frequentemente, são dispostos em aterros de áreas urbanas, ocasionando problemas ambientais graves. De acordo com Esin e Cosgun (2007), os aterros podem causar a contaminação de águas subterrâneas e, também, superficiais, especialmente quando do descarte de materiais contendo substâncias perigosas, tais como amianto e compostos

orgânicos voláteis (COVs). Para Shen e Tam (2002), os impactos ambientais de RCC estão associados ainda ao uso do solo para áreas de disposição, emissões de partículas sólidas e o aumento da extração de matéria-prima pelo desperdício de materiais. Mesmo em casos em que não há a disposição do material em aterros, sendo realizada reciclagem, Marzouk e Azab (2014) verificaram impactos ambientais associados. As análises concluíram que os aterros têm uma tendência de aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEE) ao longo de sua operação, enquanto que, nos processos de reciclagem, a emissão inicial é significativa, diminuindo ao longo do tempo. Contudo, em ambas as soluções, existem efeitos ambientais negativos.

2.2.2 Minimização de perdas de materiais na construção civil

As ações adotadas para a redução de perdas de materiais, tanto na fase de projeto, quanto na etapa de execução, são fundamentais para a minimização da geração de resíduos; questão que pode ser abordada por diferentes óticas. No que diz respeito à minimização de perdas na fase projetual, Saez et al. (2013) identificaram melhores práticas a serem adotadas pela equipe de projeto, tais como: a adoção massiva de sistemas pré-fabricados; o emprego de materiais de reuso no local da obra; e o planejamento de canteiro, com a disponibilização de espaço adequado ao gerenciamento dos resíduos. Durante a execução de obras, Ekanayake e Ofori (2004) consideram importante que haja a programação efetiva da produção, bem como especificações adequadas do *layout* de canteiro.

Uma outra abordagem trata da adoção do sistema *Lean* no gerenciamento de projetos e de obras, uma vez que o LC está voltado à ideia de melhoria contínua dos processos, focado principalmente na redução de desperdícios (MARHANI et al., 2013). No gerenciamento das etapas de projeto, o sistema *Lean* atua buscando a minimização de retrabalhos, através da implantação da ferramenta *Building Information Modeling* – BIM (CHENG; MA, 2013; LI; YANG, 2014; AJAYI et al., 2016; WON et al., 2016; ALWAN et al., 2017); de métodos de acompanhamento de cronograma; e de planejamento puxado (GHOSH et al., 2014). Segundo Ghosh et al. (2014), através da adoção de LC, a equipe de projeto pode detalhar de forma mais precisa diversos componentes, podendo chegar a uma redução estimada de 6% nos resíduos gerados na fonte. Salem et al. (2005) empregaram seis técnicas de LC na fase de projeto de um edifício garagem: *Last Planner System*; comunicação visual; reuniões diárias; uso de dispositivos à prova de falhas; ferramenta *First Run Study* (FRS) e metodologia 5S. Dentre esses, os dois últimos foram considerados inadequados devido ao aumento de custo em orçamento, enquanto os outros quatro foram recomendados para utilização imediata. No

que diz respeito à fase de execução, o LC otimiza o armazenamento de materiais, cujo local é estabelecido a partir dos fluxos de movimentação de insumos, tendo como base a programação da produção, e sendo realizado um planejamento detalhado do canteiro de obras (SAURIN, 1997; ETGES, 2012).

Tendo em vista os impactos causados, tanto econômica quanto ambientalmente, pela geração de RCC em projetos de infraestrutura urbana, nos próximos itens são apresentados os estudos desenvolvidos, com vistas a apoiar a redução da geração de tal poluente.

2.3 Procedimentos Metodológicos

Esta seção apresenta os procedimentos metodológicos adotados no estudo, incluindo sua classificação, bem como o método de pesquisa desenvolvido.

2.3.1 Classificação da Pesquisa

Este estudo foi elaborado através de pesquisa aplicada por métodos mistos, envolvendo análises quali-quantitativas. O trabalho foi baseado em pesquisa exploratória, buscando a otimização do desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana, através da identificação de boas práticas aplicadas às atividades e à gestão de projetos (GIL, 2010). Os procedimentos técnicos empregados nas etapas de trabalho envolveram: análise documental, com a coleta de dados históricos de elementos determinantes no cenário de estudo; bem como o levantamento de opiniões (*survey*) de especialistas da área, atuantes em diferentes fases de elaboração e execução de projetos. As etapas de trabalho que envolvem tais procedimentos são apresentadas no próximo subitem.

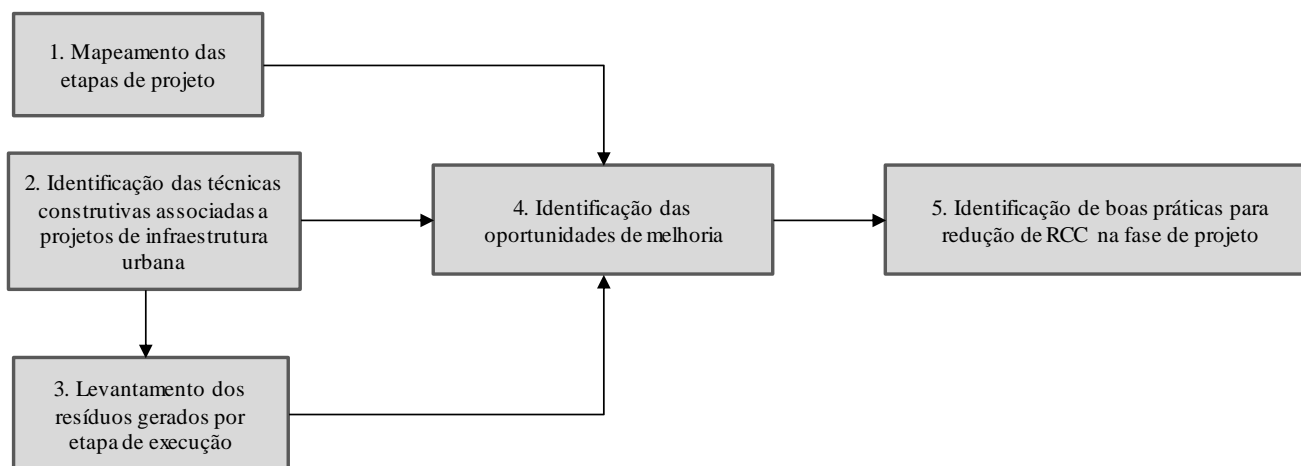
2.3.2 Método de Pesquisa

O presente trabalho está estruturado em cinco etapas, conforme apresentado na figura 2. O primeiro estágio do trabalho se refere ao mapeamento das etapas do processo de projeto, o qual foi realizado com base em recomendações para projetos de obras públicas, formuladas por órgãos de controle do Governo Federal: Tribunal de Contas da União (TCU) e Secretaria de Estado da Administração e do Patrimônio (SEAP). Inicialmente, realizou-se o mapeamento das etapas de projeto e, a partir dessas, foram então identificados desdobramentos para a sua condução, na forma de atividades projetuais.

Posteriormente, a fim de apoiar o diagnóstico da geração de RCC e a identificação de oportunidades de melhoria, foi realizado o levantamento das principais técnicas construtivas associadas às tipologias de projeto foco do estudo. Para tal, foram analisadas composições

orçamentárias e especificações técnicas de sistemas de preço oficializados pelo Governo Federal, quais sejam: Orçamentos e Obras do Estado do Sergipe (ORSE), Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (TCPO) e Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Os dados de técnicas construtivas e tipologias de projetos foram então cruzados, a fim de se obter uma caracterização das principais práticas de mercado.

Figura 2 – Etapas de trabalho



Fonte: elaborado pelos autores

A segunda etapa envolveu o levantamento de resíduos gerados por etapa de execução, de forma quali e quantitativa. Assim, foram analisados 14 projetos de infraestrutura urbana pertencentes a uma Universidade Pública, considerando os últimos dois anos (2014-2016), conforme apresentado na tabela 1. Inicialmente, os projetos foram caracterizados por tipo, área de intervenção, tempo de execução e situação da obra (finalizada, em execução, em licenciamento ou em licitação).

De forma a analisar a geração de resíduos durante a execução, para cada tipologia de projeto analisada, inicialmente, foram levantadas as cinco principais técnicas construtivas empregadas, considerando seu grau de utilização, bem como sua relevância econômica, em relação ao valor total da obra. Estrategicamente, foram analisadas cinco principais técnicas construtivas, considerando que a soma de seus custos percentuais representasse, pelo menos, 60% do orçamento da obra. Nessa fase, realizou-se a correspondência entre os tipos e as quantidades de RCC gerados com as etapas de execução desenvolvidas no período. Tal levantamento foi possível através da análise documental de três tipos de documentos: (i) planilhas de Controle de Transporte de Resíduos (CTRs), para obras executadas até abril/2015; (ii) Manifesto de Transporte de Resíduos da Construção Civil, de Porto Alegre

(MTRCC-POA), documento da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, utilizado a partir de abril/2015; e (iii) planilhas de medição para pagamento dos serviços, documento da administração pública para controle de obras, que inclui dados referentes aos itens de remoção e destinação de resíduos. Foram consideradas ainda as quantidades e tipos de RCCs previstos pelos Planos de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (PGRCC), o qual é elaborado durante a fase de projeto.

Tabela 1 – Caracterização das obras analisadas

Nº	Obra	Área de intervenção (m ²)	Duração (meses)	Situação
1	A	1.315,00	6	Finalizada
2	B	5.245,00	12	Finalizada
3	C	280,00	7	Finalizada
4	D	6.000,00	5	Finalizada
5	E	3.446,30	26	Finalizada
6	F	879,50	7	Finalizada
7	G	9.798,59	6	Finalizada
8	H	440,00	3	Finalizada
9	I	3.216,00	30	Em licitação
10	J	19.830,68	36	Em licenciamento
11	K	2.035,22	16	Em licenciamento
12	L	574,45	7	Em execução
13	M	7.448,00	8	Em execução
14	N	5.730,00	12	Em execução

Fonte: elaborado pelos autores

Com base nos dados obtidos nas etapas anteriores, deu-se início à quarta etapa do trabalho, de identificação de oportunidade de melhorias, visando à minimização da geração de RCC; uma vez que as estratégias adotadas na etapa de projeto impactam diretamente na geração de resíduos observada durante a execução (FORMOSO et al., 2002; WANG et al., 2014). Essa fase do trabalho foi realizada através da aplicação de questionário de pesquisa qualitativa (Apêndice A) a profissionais envolvidos em projetos de infraestrutura urbana em diferentes etapas e setores. Participaram da pesquisa 18 profissionais, com formação em arquitetura ou engenharia, sendo 13 (72%) atuantes em órgãos públicos e 5 (28%) em empresas privadas prestadoras de serviços para o setor público, com média de tempo de experiência no mercado de 7 anos. Foram entrevistados arquitetos (50%), engenheiros civis (40%), engenheiro agrônomo (5%) e engenheiro ambiental (5%). Segundo sua atuação, os especialistas foram classificados em: projetistas (50%), gerentes de projeto (28%), fiscais de obra (17%) e analista ambiental (5%). A abordagem com profissionais de diferentes atuações ao longo do processo foi realizada a fim de proporcionar que o mesmo problema fosse analisado de diferentes pontos de vista e exigências técnicas.

Nessa etapa, inicialmente, foi realizada uma fase de pré-teste do instrumento, com a finalidade de identificar possíveis problemas de interpretação. Posteriormente, uma vez que não houve apontamento de necessidades de mudança, procedeu-se com a aplicação do questionário, via e-mail, em duas fases. A primeira etapa ocorreu entre os dias 9 e 18 de março de 2016 e a segunda entre os dias 24 e 31 de março de 2016. O questionário constituiu-se de cinco perguntas abertas, envolvendo os seguintes temas: (i) apontamento de quais estratégias o profissional considera adequadas para utilização, em fase de projeto, a fim de minimizar a geração de RCC; (ii) levantamento de potenciais fatores que impeçam ou dificultem a implantação de tais estratégias; (iii) identificação, segundo a experiência do profissional, das três principais causas da geração de resíduos em obras; (iv) identificação de técnicas construtivas mais comumente utilizadas, ou observadas pelo profissional em utilização, nas tipologias de projetos de infraestrutura urbana analisadas; e (v) escolha das técnicas que podem ocasionar menor ou maior geração de resíduos, para cada tipo de projeto, dentre a listagem apresentada. Nas questões um a três, as respostas dos participantes foram agrupadas por afinidade e alocadas de acordo com o perfil dos especialistas que as citaram. Nas questões quatro e cinco, os entrevistados puderam assinalar quantas técnicas julgassem necessárias, sendo que, no 5º questionamento, deveriam ser identificadas, no mínimo, duas técnicas construtivas como maiores geradoras e duas como menores geradoras por tipologia de projeto.

Na segunda etapa de aplicação do questionário, foi solicitado aos especialistas que apontassem os cinco itens de maior importância, dentre todas as respostas apresentadas nas três primeiras questões. Cada participante recebeu os itens em uma ordem diversa, a fim de que fosse minimizada a indução na escolha. Indicou-se então que, para cada questão, os cinco itens julgados como mais importantes fossem ordenados de um (mais importante) a cinco (menos importante). Para o cálculo do percentual de importância resultante, foi aplicado o método da soma dos inversos.

A quinta etapa, de identificação de boas práticas, foi realizada considerando diretrizes identificadas por outros autores, métodos próprios do sistema LC, o diagnóstico da geração de resíduos de obras estudadas na etapa três, bem como as opiniões de especialistas coletadas na etapa quatro. A pesquisa incluiu dados de avaliações de campo, estudos de caso, bem como a coleta de dados de programas de orientação para projetos mais sustentáveis na administração pública. Foi considerada ainda a análise da metodologia desenvolvida por Mendler et al.

(2006), a qual está baseada em critérios do sistema *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED).

As boas práticas identificadas foram categorizadas em seis tipos, de acordo com a sua origem, sendo: estratégias (E), advindas da etapa de *survey*; barreiras (B), que são boas práticas admitidas como soluções para as barreiras de implantação, citadas pelos especialistas; diretrizes (identificadas como D), as quais são resultados de estudos desenvolvidos por outros pesquisadores; aplicação de ferramentas *Lean Construction* (LC), que são boas práticas oriundas de técnicas de utilização desse sistema; boas práticas baseadas nos critérios LEED (M), obtidas a partir do método desenvolvido por Mendler et al. (2006); e, por fim, boas práticas para contratações sustentáveis na administração pública (AP).

Para cada uma das boas práticas, foi atribuído um código composto por letras e números. As letras correspondem à sua categoria quanto à origem (E, B, D, LC, M e AP) e os números foram atribuídos de duas maneiras: nas boas práticas advindas da etapa de *survey* (E e B), correspondem à ordem de importância resultante da atribuição por parte dos especialistas; nos demais casos, foi adotada a ordem usada pelos autores consultados.

2.4 Resultados e discussões

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a cada uma das cinco etapas do trabalho, bem como os seus desdobramentos e as discussões pertinentes.

2.4.1 Mapeamento das etapas de projeto

O mapeamento das etapas de projeto resultou na identificação de quatro principais etapas: (i) Programa de necessidades; (ii) Estudos de viabilidade; (iii) Projeto básico; e (iv) Projeto executivo. Cada uma dessas foi desdobrada em atividades de projeto, as quais representam o passo-a-passo para o desenvolvimento das etapas. A figura 3 apresenta o mapeamento dessas etapas e das atividades projetuais recomendadas.

Embora ambos os órgãos consultados (TCU e SEAP) tragam indicações específicas para cada tipo de projeto a ser elaborado, neste estudo, optou-se por estruturar as etapas de modo genérico, de forma que possam ser consideradas não só para projetos de infraestrutura, mas também para outros tipos de empreendimentos públicos em áreas urbanas, como para edificações e para projetos de urbanismo. Dentre as etapas mapeadas, os estudos de viabilidade (etapa dois) e o projeto básico (etapa três) apresentam a maior quantidade de atividades relacionadas, apontando, assim, sua relevância para as potenciais oportunidades de

melhoria a serem identificadas. Em complemento, essas etapas, por se caracterizarem como as decisões iniciais de projeto, podem ser decisivas para os resultados das etapas seguintes. O projeto executivo (etapa quatro), por sua vez, é dependente das diversas estratégias projetuais definidas nas etapas dois e três. Além disso, possibilita uma verificação complementar das decisões técnicas tomadas, bem como das soluções de gestão dos projetos e de planejamento das obras.

Figura 3 – Etapas de projetos de infraestrutura urbana

ETAPAS DE PROJETO	Nº DA ATIVIDADE	ATIVIDADES DE PROJETO
1. Programa de Necessidades	1.1	Determinação de caracteres obrigatórios e de desempenho do projeto
	1.2	Definição do tipo de obra, principais características e dimensão simplificada
	1.3	Levantamento da demanda de uso (água, esgoto, tráfego, entre outros)
2. Estudos de Viabilidade	2.1	Escolha do terreno
	2.2	Análise da área de influência do empreendimento
	2.3	Levantamentos gerais: planialtimétrico e cadastral; geológico-geotécnico, incluindo solo e lençol freático
	2.4	Levantamento climatológico e hidrológico: drenagem natural, regime de chuvas e índices pluviométricos
	2.5	Levantamentos de características ambientais e de cobertura vegetal
	2.6	Avaliação de dados das concessionárias quanto às redes existentes (água, esgoto, transporte, entre outros)
	2.7	Verificação de normas e exigências legais
	2.8	Estabelecimento de critérios e padrões de projeto
	2.9	Análise de possíveis soluções construtivas
	2.10	Comparação das possíveis soluções
	2.11	Seleção da solução adequada
	2.12	Análise da Viabilidade técnica do empreendimento
3. Projeto Básico	3.1	Definição do método construtivo
	3.2	Elaboração do Projeto geral de concepção do sistema
	3.3	Avaliação dos impactos ambientais e escolha de medidas mitigadoras
	3.4	Dimensionamento das soluções construtivas
	3.5	Especificação de materiais
	3.6	Desenvolvimento de Projetos Complementares
	3.7	Compatibilização entre projetos
	3.8	Memorial descritivo e de cálculo dos sistemas e dos componentes
	3.9	Definição do prazo de execução – Cronograma preliminar
	3.10	Quantitativo de materiais, equipamentos e serviços
	3.11	Elaboração do Orçamento preliminar
4. Projeto Executivo	4.1	Elaboração de detalhes construtivos e de interface entre projetos
	4.2	Elaboração de plantas definitivas
	4.3	Definição de ações de Planejamento de canteiro e elaboração de seu <i>layout</i>
	4.4	Elaboração do PGRCC
	4.5	Revisão e complementação dos memoriais de cálculo e descritivos
	4.6	Definição da localização dos empréstimos e bota-fora, quando necessários
	4.7	Elaboração do Orçamento final

Fonte: adaptado de TCU, 2014; SEAP, 2014

2.4.2 Principais técnicas construtivas associadas a projetos de infraestrutura urbana

Com base no levantamento das técnicas construtivas envolvidas em projetos de infraestrutura urbana, foram identificadas cinco principais tipologias de projeto: drenagem; redes de água e esgoto; áreas pavimentadas; cercamentos; e instalações provisórias de canteiro. A figura 4 apresenta a relação das principais técnicas construtivas encontradas e as tipologias de projeto de infraestrutura urbana associadas.

Figura 4 – Principais técnicas construtivas em projetos de infraestrutura urbana

TÉCNICAS CONSTRUTIVAS	TIPOLOGIAS DE PROJETOS DE INFRAESTRUTURA URBANA				
	Água e esgoto	Áreas pavimentadas	Cercamento	Drenagem	Instalações Provisórias
Alvenaria de tijolo maciço	X			X	
Argamassa misturada <i>in loco</i>	X	X		X	
Assentamento de Brita e Pó de brita		X			
Assentamento de Brita graduada		X			
Assentamento de elemento tátil		X			
Assentamento e rejuntamento em areia		X			
Canalização de escoamento	X			X	
Cimento Asfáltico		X			
Concreto armado moldado <i>in loco</i>	X	X		X	X
Concreto Betuminoso		X			
Concreto simples misturado <i>in loco</i>	X	X	X	X	
Container: Aluguel					X
Elemento em basalto		X			
Elemento em ferro dúctil	X			X	
Elemento em fibrocimento					X
Elemento granítico		X			
Elemento pré-moldado de concreto	X	X	X	X	
Movimentações de terra	X	X	X	X	
Estrutura em chapas compensadas resinadas					X
Formas em madeira	X	X		X	X
Mistura de agregados de pavimentação		X			
Peça de mourão para cercas			X		

Fonte: adaptado de TCPO, 2104; ORSE, 2016; SINAPI, 2016

As técnicas construtivas que mais figuraram dentre as tipologias de projeto analisadas, em ordem decrescente de utilização, foram: concreto armado moldado *in loco*, concreto simples misturado *in loco*, movimentações de terra, formas em madeira, argamassa misturada *in loco* e alvenaria de tijolos maciços. Das tipologias de projeto, verificou-se que a de ‘áreas pavimentadas’ possui maior número de técnicas construtivas associadas, devido à diversidade de opções disponíveis no mercado. Em relação à aplicação na fase de execução, verifica-se que apenas quatro das 22 técnicas construtivas não envolvem preparação ou corte em canteiro de obras: assentamento de brita e pó de brita; assentamento de brita graduada; assentamento e rejuntamento em areia; e container de aluguel. As demais técnicas construtivas envolvem corte, preparação em obra, ou ambos os procedimentos.

2.4.3 Levantamento dos resíduos gerados por etapa de execução

Na fase de levantamento dos RCCs gerados durante a execução de obras de infraestrutura, realizou-se a análise documental de 14 projetos de diferentes tipologias. Para esse levantamento, no caso de projetos já executados, foram considerados os dados reais de geração de resíduos; para aqueles em andamento, utilizaram-se os dados previstos no PGRCC.

Dos 14 projetos analisados, dez (71,40%) possuíam em seu escopo a execução de projetos de drenagem, seis (42,90%) de redes de água e esgoto, 13 (92,90%) de áreas pavimentadas, e seis (42,90%) de cercamentos. A tabela 2 apresenta as cinco técnicas construtivas empregadas, mais economicamente relevantes, na forma de valor percentual em relação ao total das obras, por tipologia de projeto analisado, considerando-se os serviços de infraestrutura executados.

Tabela 2 – Custo percentual das principais técnicas construtivas adotadas

Principais técnicas empregadas	Tipologias de projetos urbanos			
	Água e Esgoto	Áreas Pavimentadas	Cercamentos	Drenagem
Alvenaria de tijolo maciço	9,85%	-	-	13,57%
Arame farpado ou recozido	-	-	0,57%	-
Argamassa misturada <i>in loco</i>	-	-	-	10,81%
Assentamento de elemento tátil	-	2,70%	-	-
Canalização de escoamento em PEAD	10,66%	-	-	-
Canalização de escoamento em PVC	27,24%	-	-	9,55%
Concreto armado moldado <i>in loco</i>	21,57%	32,48%	-	-
Elemento em aço galvanizado	-	-	5,59%	-
Elemento em basalto	-	4,65%	-	-
Elemento pré-moldado de concreto	-	5,25%	49,72%	56,43%
Movimentações de terra	13,11%	21,66%	40,68%	2,47%
Peça de mourão para cercas	-	-	1,19%	-

Fonte: elaborado pelos autores

Dentre as principais técnicas construtivas adotadas, para as cinco tipologias de projeto, verificou-se que as movimentações de terra são economicamente representativas em todos os casos. O emprego de elemento pré-moldado de concreto mostrou-se relevante quando utilizado em projetos de drenagem e de cercamento, chegando a custar mais da metade do valor médio das obras. Em projetos de áreas pavimentadas, os custos mostraram-se equilibrados; sendo considerado como expressivo o custo do concreto armado moldado *in loco*. No levantamento realizado, surgiram três técnicas construtivas não consideradas inicialmente na figura 4, mas que se mostraram economicamente representativas, sendo essas: canalização de escoamento em PEAD, elemento de aço galvanizado e arame farpado ou recozido.

Nas instalações provisórias de canteiro, observou-se o emprego, principalmente, de: tapumes e barracões de obras, cada um com um percentual de utilização de 85,71% (12 projetos); baias para armazenamento de agregados, com um percentual de 64,29% (nove projetos), tela tapume, com 35,71% (cinco projetos); e galpão aberto de obra, com 14,29% (dois projetos). Em termos de técnicas construtivas mais utilizadas, identificaram-se, majoritariamente: estrutura em chapas compensadas resinadas (3.348,99 m² em 11 projetos); telha em fibrocimento (688 m² em nove projetos); container de aluguel (10 unidades em cinco projetos); e tela tapume em polietileno (1.159,20 m em cinco projetos).

Com base nos quantitativos gerados, os RCCs foram levantados a partir de uma unidade padrão de m³ de RCC/m² construído, tendo sido considerada a área total de intervenção do empreendimento. Dessa forma, utilizando-se a unidade de medida de m², relativizou-se a geração de resíduos sem a influência do porte da obra.

Os RCCs foram categorizados de acordo com a classe adotada pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n. 307 de 5 de julho de 2002 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2002). Assim, foram classificados como resíduos de classe A todos aqueles que têm potencial de reutilização ou reciclagem na forma de agregados; ao passo que os resíduos de classe B foram considerados como os possíveis de reciclagem em outras destinações, que não como agregados. Os resíduos de classe D, por sua vez, foram aqueles considerados como resíduos perigosos da construção civil.

As médias dos volumes de RCC, por tipo de obra de infraestrutura urbana, bem como as etapas de execução e os processos construtivos, possivelmente, responsáveis por essa geração são apresentados na tabela 3. Nos 14 projetos analisados, verificou-se um volume total de 0,8419 m³ de RCC/m² construído, dos quais 0,7844 m³/m² (93,17%) são resíduos de classe A;

0,0438 m³/m² (5,21%) são resíduos de classe B; e 0,0137 m³/m² (1,62%) são resíduos de classe D. Os maiores volumes totais de RCC estão atrelados aos projetos de redes de água e esgoto (30,98%) e de cercamento (26,74%), os quais, juntos, contabilizam mais da metade do total de resíduos gerados (57,72%). Na avaliação por classe de RCC, os projetos de redes de água e esgoto são os maiores geradores nas três classes (29,85% da classe A; 46,32% da classe B; e 46,35% da classe D); sendo que, para os resíduos de classe A, em segundo lugar estão os projetos de cercamento, com 28,38%; enquanto que, para os resíduos de classes B e D, o segundo lugar fica com os projetos de drenagem (28,08% e 27,74%, respectivamente).

Tabela 3 – Volume de RCC por tipo de obra e etapa de execução

Classe de RCC	Volume de RCC gerado (m ³ RCC/m ² construído)				Etapas de execução	Potenciais processos construtivos geradores
	Água e esgoto	Áreas pavimentadas	Cercamentos	Drenagem		
Classe A	0,2341	0,1571	0,2226	0,1705	Preparação do terreno	Limpeza do terreno e destocamentos
					Execução de pavimento	Colocação de calçamento com argamassa
						Corte de placa de basalto
Classe B	0,0203	0,0094	0,0019	0,0123	Instalação de redes de água e esgoto e de drenagem	Corte de meio-fio pré-moldado de concreto
						Corte de bloco pré-moldado de concreto
					Execução de pavimento	Corte de placa de piso tátil
Classe D	0,0063	0,0029	0,0006	0,0038		Escavação de vala
					Instalação de redes de água e esgoto e de drenagem	Reaterro com solo local ou de empréstimo
						Corte de canaleta pré-moldada de concreto
TOTAL	0,2608	0,1694	0,2251	0,1866	-	Execução de caixa de inspeção em alvenaria
						Execução de lastro de concreto simples moldado <i>in loco</i>
TOTAL	0,2608	0,1694	0,2251	0,1866	-	Corte de tubulação em PVC
						Descarte de tubulação em PEAD
TOTAL	0,2608	0,1694	0,2251	0,1866	-	Descarte de embalagens plásticas
						Descarte de tela tapume em polietileno
TOTAL	0,2608	0,1694	0,2251	0,1866	-	Descarte de tintas e solventes utilizados em sinalização horizontal
						Descarte de material de pintura contaminado
TOTAL	0,2608	0,1694	0,2251	0,1866	-	Instalações Provisórias de canteiro
						Descarte de madeira beneficiada, proveniente de barracões, galpões, baias e tapumes

Fonte: elaborado pelos autores

2.4.4 Identificação de oportunidades de melhoria

Nesta seção são apresentadas as potenciais oportunidades de melhoria, para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana, identificadas através de entrevista com especialistas. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

2.4.4.1 Análise da questão nº 1: Estratégias de projeto

O primeiro questionamento se referiu à identificação de estratégias projetuais que contribuíssem para a minimização da geração de RCC em infraestrutura urbana. A tabela 4

apresenta as 19 estratégias citadas, por ordem decrescente de importância, assim como o percentual de respostas associado a cada perfil profissional.

Em sete das 19 estratégias (3, 4, 6, 10, 12, 15 e 18), verificou-se a concordância de opiniões entre projetistas, gerentes de projeto e fiscais de obra, reforçando a ideia de que determinadas abordagens são percebidas como importantes nas diferentes instâncias de atuação. A partir desse levantamento, realizou-se uma correspondência entre as estratégias e as etapas de projeto, verificando-se em que atividades essas podem ser aplicadas. A figura 5 apresenta a relação das estratégias identificadas com as atividades de projeto, sendo destacadas as cinco estratégias de maior importância.

Tabela 4 – Estratégias de projeto para redução de RCC, segundo os especialistas

Estratégias de projeto identificadas	Importância resultante (%)	Distribuição de citação por especialistas (%)			
		Projetistas	Gerentes de Projeto	Fiscais de obras	Analista ambiental
1 Comunicação plena entre equipe de projeto e analistas ambientais, na fase de projeto	13,97	0,00	0,00	0,00	100,00
2 Detalhamento completo, adequado e compatibilizado dos componentes de projeto	13,71	66,67	33,33	0,00	0,00
3 Planejamento para reuso dos materiais empregados	8,02	12,50	50,00	37,50	0,00
4 Planejamento para gerenciamento dos resíduos gerados	7,87	50,00	33,33	16,67	0,00
5 Uso de materiais/técnicas construtivas padronizados	7,41	100,00	0,00	0,00	0,00
6 Emprego de materiais/técnicas construtivas racionalizados e industrializados	7,36	58,34	33,33	8,33	0,00
7 Uso adequado do terreno, de forma a reduzir movimentações de terra	6,35	100,00	0,00	0,00	0,00
8 Quantificação correta e precisa de materiais a serem empregados	5,03	0,00	100,00	0,00	0,00
9 Especificações técnicas completas e detalhadas (de projeto e de produto)	4,57	0,00	100,00	0,00	0,00
10 Adoção de sistemas modulares	4,42	37,50	50,00	12,50	0,00
11 Uso de técnicas de projeto integrado (ferramenta BIM)	3,40	100,00	0,00	0,00	0,00
12 Emprego de materiais de qualidade reconhecida e duráveis	3,05	25,00	50,00	25,00	0,00
13 Planejamento adequado do canteiro de obras	2,59	66,67	33,33	0,00	0,00
14 Levantamento completo e adequado das demandas de projeto (Programa de necessidades)	2,54	66,67	33,33	0,00	0,00
15 Controle de estoque e de disponibilização de materiais no canteiro	2,54	33,34	33,33	33,33	0,00
16 Preferência por transporte de materiais em curta distância	2,13	100,00	0,00	0,00	0,00
17 Adoção, em áreas pavimentadas, de técnicas e materiais que permitam a adaptação para outros usos da área	1,68	100,00	0,00	0,00	0,00
18 Consideração de perdas inerentes aos materiais na fase de projeto	1,68	40,00	40,00	20,00	0,00
19 Planejamento do tratamento de efluentes do canteiro de obras, previsto no projeto	1,68	0,00	100,00	0,00	0,00

Fonte: elaborado pelos autores

As atividades de projeto com maior número de estratégias relacionadas são as de ‘estabelecimento de critérios e padrões de projeto’ (atividade 2.8), ‘especificação de materiais’ (atividade 3.5), e ‘ações de planejamento de canteiro’ (atividade 4.3). Considerando as cinco estratégias de projeto prioritárias, as atividades 2.8, 4.3 e 4.4, são as que concentram maior número dessas. Em complemento, foi identificada uma média de seis estratégias relacionadas a cada atividade de projeto, sendo a estratégia mais presente em atividades, a de

‘uso de técnicas de projeto integrado’ (estratégia nº 11), relacionada a 14 atividades; seguida por ‘uso adequado do terreno’ (estratégia nº 7), com 13 atividades relacionadas; e ‘comunicação plena entre equipe de projeto e analistas ambientais’ (estratégia nº 1), relacionada a 11 atividades.

Figura 5 – Relação entre as atividades de projeto e as estratégias

ETAPAS DE PROJETO	Nº DA ATIVIDADE	ATIVIDADES DE PROJETO	ESTRATÉGIAS DE PROJETO RELACIONADAS								
1. Programa de Necessidades	1.1	Determinação de caracteres obrigatórios e de desempenho do projeto	14	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.2	Definição do tipo de obra, principais características e dimensão simplificada	1	7	14	17	-	-	-	-	-
	1.3	Levantamento da demanda de uso	14	-	-	-	-	-	-	-	-
2. Estudos de Viabilidade	2.1	Escolha do terreno	1	7	14	-	-	-	-	-	-
	2.2	Análise da área de influência do empreendimento	7	-	-	-	-	-	-	-	-
	2.3	Levantamentos gerais: planialtimétrico e cadastral; geológico-geotécnico	7	14	-	-	-	-	-	-	-
	2.4	Levantamento climatológico e hidrológico	7	14	-	-	-	-	-	-	-
	2.5	Levantamentos de características ambientais e de cobertura vegetal	1	7	14	-	-	-	-	-	-
	2.6	Avaliação de dados das concessionárias quanto às redes existentes	14	-	-	-	-	-	-	-	-
	2.7	Verificação de normas e exigências legais	1	3	7	14	-	-	-	-	-
	2.8	Estabelecimento de critérios e padrões de projeto	1	3	5	6	7	10	12	17	-
	2.9	Análise de possíveis soluções construtivas	5	6	10	17	-	-	-	-	-
	2.10	Comparação das possíveis soluções	5	6	10	-	-	-	-	-	-
	2.11	Seleção da solução adequada	5	6	10	-	-	-	-	-	-
	2.12	Análise da Viabilidade técnica do empreendimento	1	7	11	17	-	-	-	-	-
3. Projeto Básico	3.1	Definição do método construtivo	1	5	6	10	-	-	-	-	-
	3.2	Elaboração do Projeto geral de concepção do sistema	1	7	11	12	17	-	-	-	-
	3.3	Avaliação dos impactos ambientais e escolha de medidas mitigadoras	1	4	7	11	12	17	-	-	-
	3.4	Dimensionamento das soluções construtivas	10	11	-	-	-	-	-	-	-
	3.5	Especificação de materiais	3	5	6	9	10	12	16	-	-
	3.6	Desenvolvimento de Projetos Complementares	2	11	-	-	-	-	-	-	-
	3.7	Compatibilização entre projetos	2	11	-	-	-	-	-	-	-
	3.8	Memorial descritivo e de cálculo dos sistemas e dos componentes	8	9	11	18	-	-	-	-	-
	3.9	Definição do prazo de execução – Cronograma preliminar	11	-	-	-	-	-	-	-	-
	3.10	Quantitativo de materiais, equipamentos e serviços	2	8	9	11	18	-	-	-	-
	3.11	Elaboração do Orçamento preliminar	8	11	18	-	-	-	-	-	-
4. Projeto Executivo	4.1	Elaboração de detalhes construtivos e de interface entre projetos	2	11	18	-	-	-	-	-	-
	4.2	Elaboração de plantas definitivas	2	11	-	-	-	-	-	-	-
	4.3	Definição de ações de Planejamento de canteiro e elaboração de seu <i>layout</i>	1	3	4	7	13	15	19	-	-
	4.4	Elaboração do PGRCC	1	3	4	7	13	19	-	-	-
	4.5	Revisão e complementação dos memoriais de cálculo e descritivos	8	9	11	18	-	-	-	-	-
	4.6	Definição da localização dos empréstimos e bota-fora, quando necessários	4	16	18	-	-	-	-	-	-
	4.7	Elaboração do Orçamento final	2	8	9	11	18	-	-	-	-

Fonte: elaborado pelos autores

2.4.4.2 Análise da questão nº 2: Barreiras de implementação

O levantamento das possíveis barreiras para implementação das estratégias de projeto sugeridas foi importante para a identificação de oportunidades de melhoria, principalmente, por se tratar de estudo envolvendo o setor público. Isso se deve ao fato de os órgãos públicos no Brasil serem regidos por legislações específicas que podem limitar ou até mesmo impedir a

utilização de determinadas abordagens usualmente consideradas como adequadas. Em especial, no que tange à Lei de Licitações 8.666, de 21 de junho de 1993², cuja rigidez, para Oliveira e Melhado (2002) é uma das principais razões para a dificuldade de adoção de métodos inovadores de contratações, gerenciamento de obras e de projetos, na esfera pública. A tabela 5 apresenta as 12 barreiras identificadas pelos especialistas, em ordem decrescente de importância.

Tabela 5 – Barreiras para implantação das estratégias, segundo os especialistas

Barreiras para implantação das estratégias	Importância resultante (%)	Distribuição de citação por especialistas (%)			
		Projetistas	Gerentes de Projeto	Fiscais de obras	Analista ambiental
1 Falta de comunicação entre os profissionais de projeto e de execução	18,41	0,00	100,00	0,00	0,00
2 Não preocupação com as questões ambientais nas etapas de projeto e de execução	14,96	50,00	0,00	50,00	0,00
3 Resistência cultural a novas técnicas construtivas e a novas estratégias projetuais	12,43	75,00	25,00	0,00	0,00
4 Cultura de improvisação em obra	11,28	50,00	0,00	50,00	0,00
5 Prazos reduzidos para elaboração de projetos	10,47	57,14	28,57	14,29	0,00
6 Falta de capacitação de mão de obra para execução, em todos os níveis	6,50	75,00	25,00	0,00	0,00
7 Comunicação falha entre os profissionais da equipe de projeto	6,16	50,00	0,00	0,00	50,00
8 Falta de planejamento de longo prazo	5,70	100,00	0,00	0,00	0,00
9 Dificuldade de comprovação da qualidade de materiais reaproveitados ou com resíduos em sua composição	5,18	0,00	0,00	100,00	0,00
10 Custo elevado de técnicas construtivas industrializadas e inovadoras	3,11	50,00	37,50	12,50	0,00
11 Variabilidade de mão de obra nas obras públicas	2,93	0,00	100,00	0,00	0,00
12 Falta de capacitação dos projetistas	2,88	50,00	37,50	12,50	0,00

Fonte: elaborado pelos autores

Com base na priorização obtida e analisando a literatura, verifica-se que o distanciamento entre as equipes de projeto e de execução é apontado como fator predominante para a redução da qualidade de obras públicas. Essa barreira favorece o retrabalho e prejudica a retroalimentação de informações para as equipes envolvidas em projetos futuros de mesma natureza (OLIVEIRA; MELHADO, 2002; ALBUQUERQUE, 2012). Assim, a falta de comunicação entre as equipes desencadeia uma possível fragmentação do processo de desenvolvimento dos empreendimentos, a qual vai de encontro às tendências mundiais de abordagens colaborativas na construção civil. Por outro lado, os reduzidos prazos para elaboração de projetos (barreira nº 5) propiciam a recorrente adoção de soluções que nem

² BRASIL. Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 8.666**, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Brasília, DF, 1993.

sempre são as mais adequadas para o cenário existente, abrindo oportunidade para o reforço à cultura de improvisação em obra (4ª barreira mais importante).

2.4.4.3 Análise da questão nº 3: Razões da geração de RCC durante a execução

O principal objetivo do questionamento nº 3 foi o de identificar quais causas da geração de resíduos, durante a execução, poderiam ter relação com o processo de projeto. A tabela 6 apresenta as 15 razões de geração de RCC apontadas pelos especialistas, em ordem decrescente de importância, com a identificação das 12 razões relacionadas ao desenvolvimento do projeto.

Tabela 6 – Razões da geração de RCC na fase de execução

	Razões da geração de RCC na execução	Importância resultante (%)	Relação com a elaboração de projeto
1	Falta de preocupação com os impactos ambientais gerados pela atividade	12,68	X
2	Perda por falta de compatibilização entre projetos	10,07	X
3	Adoção de sistemas e materiais que geram intrinsecamente mais RCC	8,93	X
4	Elaboração de PGRCC inadequado, sem ações efetivas	8,44	X
5	Perdas e retrabalhos associados a mão de obra desqualificada	8,27	
6	Planejamento inadequado da execução	7,78	
7	Falta de planejamento de canteiro	7,29	X
8	Falta de controle no emprego de técnicas não-industrializadas	6,70	X
9	Detalhamento de projeto pouco claro ou inexistente, para execução da atividade	6,04	X
10	Falta de modulação de projeto	5,23	X
11	Falta de controle e fiscalização da execução	4,90	
12	Falta de racionalização da produção	4,79	X
13	Falta de previsão de reaproveitamento de materiais em projeto	3,70	X
14	Inexistência de especificação técnica adequada para execução da atividade	3,38	X
15	Armazenamento inadequado de insumos	1,80	X

Fonte: elaborado pelos autores

A partir desse levantamento, verificou-se que algumas razões de geração (nº 1, 5, 8, 11 e 15) estão associadas diretamente ao comportamento de projetistas ou executores e não necessariamente ao processo de tomada de decisão projetual. Isso porque tais razões de geração costumam ser desencadeadas por uma falta de compreensão das consequências ambientais das decisões tomadas no desenvolvimento dos empreendimentos. Assim, para a redução de ocorrência dessas razões, é necessário que haja uma mudança efetiva de

consciência ambiental das equipes, apoiada por trabalho contínuo e integrado de projetistas, executores e analistas ambientais.

Nesta etapa, foram identificadas, ainda, inter-relações entre as razões citadas; como no caso da razão de nº 15 de ‘armazenamento inadequado de insumos’. A geração de RCC ligada ao armazenamento impróprio pode ser causada pela falta de controle da produção, mas também pelo planejamento superficial, ou inexistente, do canteiro de obras; estando, assim, associada também à razão de nº 7.

Com base na razão de ‘falta de planejamento de canteiro’, realizou-se uma verificação complementar, buscando identificar uma possível influência entre a qualidade das instalações provisórias de canteiro e a geração de RCC nas obras estudadas (etapa 3 do trabalho). Foram analisadas as sete obras com maior volume de geração, criando-se uma escala de quatro pontos de avaliação, conforme a figura 6. O ponto 1 foi atribuído às instalações sem planejamento de canteiro (barracões, baias, tapumes ou galpão); e o ponto 4 para as instalações com excelente planejamento (com projeto específico e utilização prioritária de container de aluguel).

Figura 6 – Escala para instalações provisórias de canteiro

Pontuação	Descrição das instalações provisórias
1	Sem planejamento de canteiro
2	Pouco planejamento de canteiro
3	Bom planejamento de canteiro
4	Excelente planejamento de canteiro

Fonte: elaborado pelos autores

Assim, verificou-se a existência de uma relação entre a qualidade do planejamento de canteiro e a quantidade de resíduos gerados. As 4 obras de maior geração de RCC tiveram o canteiro classificado como pouco ou regular (pontuação 2); as 2 obras intermediárias, como bom (pontuação 3); e a menor geradora, como planejamento excelente (pontuação 4). Dessa forma, entende-se que o planejamento de instalações provisórias de canteiro, desde a fase de projeto, pode ser relevante na redução da geração de resíduos associada ao empreendimento. No entanto, é importante ressaltar que a minimização dessa geração pode ser influenciada, ainda, por outros fatores próprios da empresa executora do projeto, tais como: cultura organizacional de controle do canteiro de obras, bem como foco sobre a programação efetiva da produção.

2.4.4.4 Análise da questão nº 4: Técnicas construtivas de maior utilização

A questão de nº 4 buscou identificar quais as principais práticas de mercado associadas aos projetos de infraestrutura urbana estudados. Aos especialistas entrevistados, solicitou-se apontar as técnicas construtivas mais comumente empregadas, para cada tipologia de projeto, a partir de uma listagem fornecida, a qual foi originada na figura 4 deste estudo. A tabela 7 apresenta as técnicas construtivas mais identificadas pelos especialistas, por tipologia de projeto e em número de citações, sendo destacadas as mais citadas.

A partir do ponto de vista dos especialistas, realizou-se uma comparação entre as principais técnicas construtivas apontadas e aquelas verificadas nas 14 obras analisadas na seção 2.4.3. Apenas para o caso dos projetos de drenagem, todas as citadas pelos especialistas foram empregadas nas obras; para as demais tipologias de projeto, a utilização observada foi da ordem de 80% para áreas pavimentadas; e de 60% para redes de água e esgoto, cercamentos e instalações provisórias.

Tabela 7 – Técnicas construtivas mais utilizadas, em número de citações

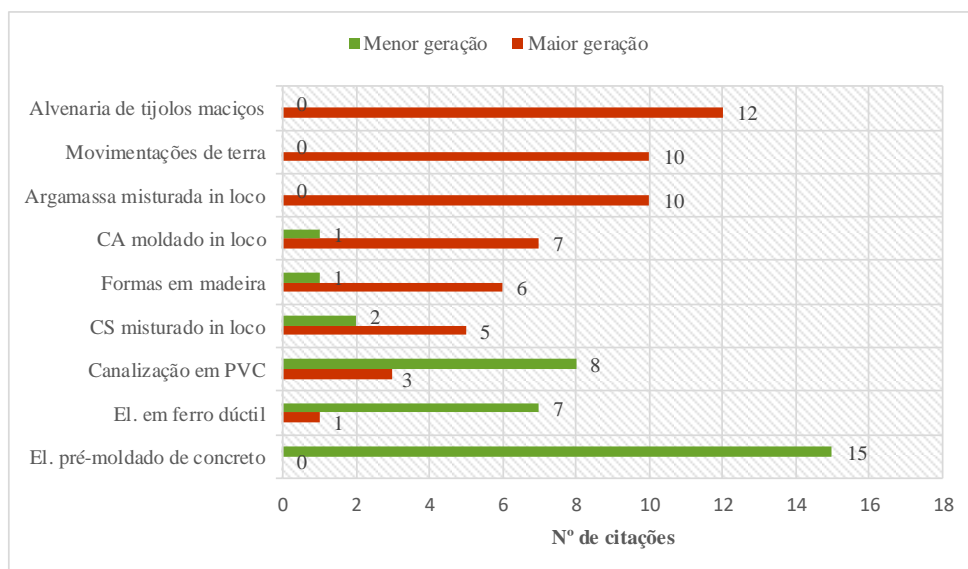
Técnicas construtivas	Nº de citações por tipologia de projeto					
	Água e esgoto	Áreas pavimentadas	Cercamento	Drenagem	Instalações Provisórias	Total de citações
Alvenaria de tijolo maciço	7	-	-	9	-	16
Argamassa misturada <i>in loco</i>	8	8	-	8	-	24
Assentamento de Brita e Pó de brita	-	14	-	-	-	14
Assentamento de Brita graduada	-	13	-	-	-	13
Assentamento de elemento tátil	-	10	-	-	-	10
Assentamento e rejuntamento em areia	-	14	-	-	-	14
Canalização de escoamento em PVC	14	-	-	13	-	27
Cimento Asfáltico	-	10	-	-	-	10
Concreto armado moldado <i>in loco</i>	3	5	-	3	3	14
Concreto Betuminoso	-	6	-	-	-	6
Concreto simples misturado <i>in loco</i>	6	9	5	3	-	23
Container: Aluguel	-	-	-	-	17	17
Elemento em basalto	-	16	-	-	-	16
Elemento em ferro dúctil	5	-	-	4	-	9
Elemento em fibrocimento	-	-	-	-	7	7
Elemento granítico	-	7	-	-	-	7
Elemento pré-moldado de concreto	15	16	17	14	-	62
Estrutura em chapas compensadas resinadas	-	-	-	-	18	18
Formas em madeira	2	4	-	2	10	18
Mistura de agregados de pavimentação	-	8	-	-	-	8
Movimentações de terra	18	13	10	18	-	59
Peça de mourão para cercas	-	-	9	-	-	9

Fonte: elaborado pelos autores

2.4.4.5 Análise da questão nº 5: Técnicas construtivas de maior e menor geração de RCC

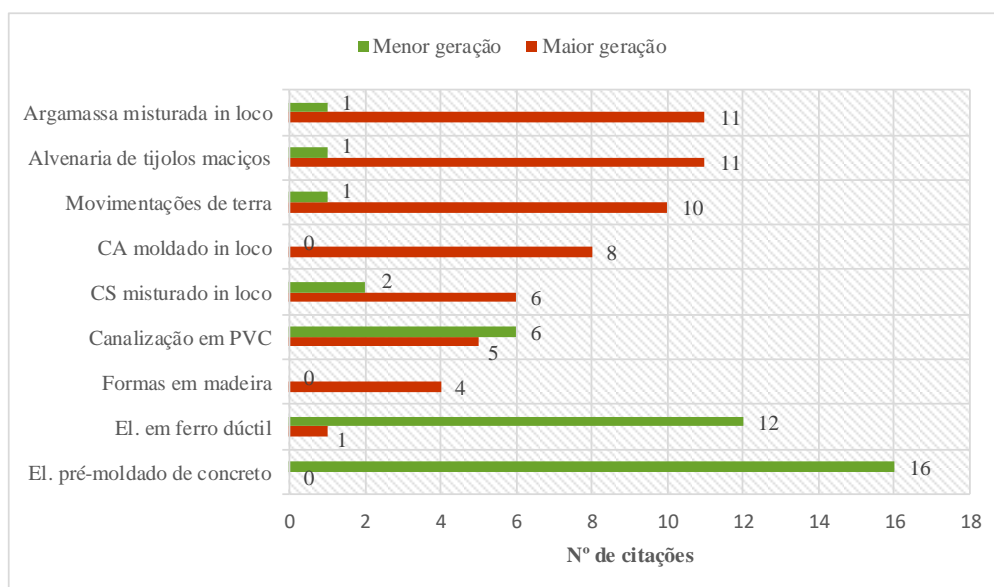
Na questão nº 5, os especialistas apontaram as técnicas construtivas de maior e de menor geração de RCC, de acordo com cada tipologia de projeto. Em diversos casos, uma técnica foi considerada, ao mesmo tempo, maior e menor geradora, havendo conflitos, principalmente, entre projetistas e gerentes de projeto. As figuras 7 a 11 apresentam as técnicas construtivas consideradas pelos especialistas como maiores e menores geradoras de RCC, para cada uma das tipologias de projeto.

Figura 7 – Técnicas consideradas como maiores e menores geradoras de RCC em Redes de Água e Esgoto



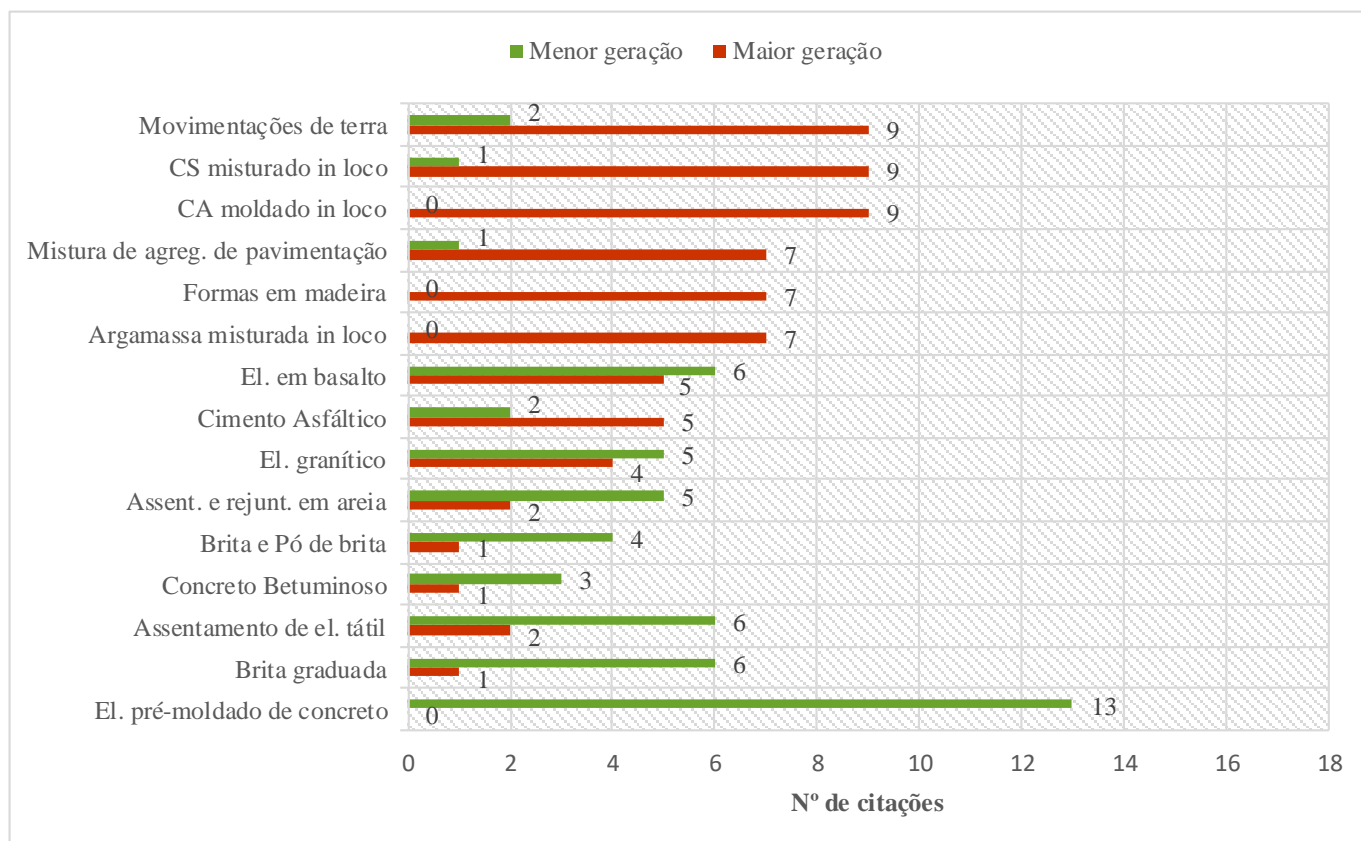
Fonte: elaborado pelos autores

Figura 8 – Técnicas consideradas como maiores e menores geradoras de RCC em Drenagem



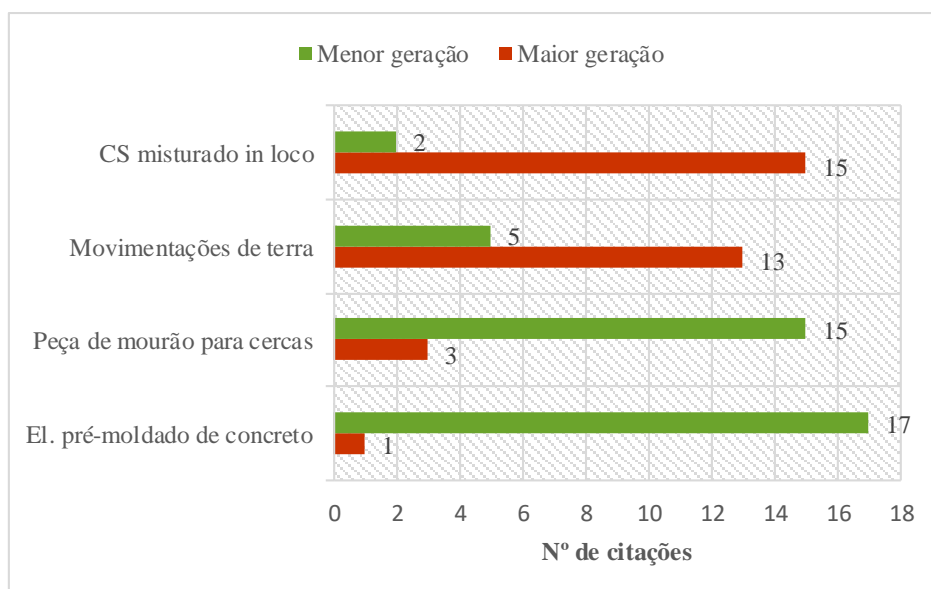
Fonte: elaborado pelos autores

Figura 9 – Técnicas consideradas como maiores e menores geradoras de RCC em Áreas Pavimentadas



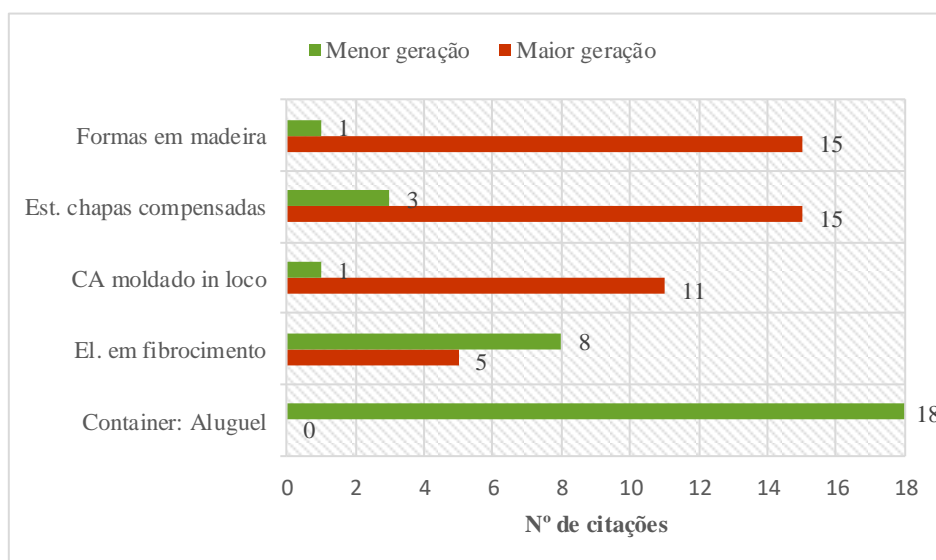
Fonte: elaborado pelos autores

Figura 10 – Técnicas consideradas maiores e menores geradoras de RCC em Cercamentos



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 11 – Técnicas consideradas maiores e menores geradoras de RCC em Instalações Provisórias



Fonte: elaborado pelos autores

Os resultados dos gráficos das figuras 7 a 11 foram cruzados com as informações obtidas na questão nº 4, de maneira a verificar a existência de relação entre os cinco principais tipos de técnicas construtivas mais utilizadas e as maiores geradoras de RCC. Verificou-se que, para projetos de redes de água e esgoto e de drenagem, três das principais técnicas construtivas adotadas (movimentações de terra, argamassa e alvenaria) estavam associadas ao fato de serem, também, as maiores geradoras de resíduos; a técnica de ‘elemento pré-moldado de concreto’ como sendo a de menor geração; e a técnica de ‘canalização em PVC’ esteve em conflito de classificação. Em projetos de áreas pavimentadas, a técnica de ‘movimentações de terra’ figurou como a maior geradora; as de ‘elemento pré-moldado de concreto’, ‘assentamento e rejuntamento em areia’ e ‘assentamento de brita e Pó de brita’ como as de menor geração; e a técnica de ‘elemento em basalto’, esteve em conflito de classificação. Em cercamentos, duas das técnicas mais utilizadas, ‘movimentações de terra’ e ‘concreto simples misturado *in loco*’, foram indicadas como maiores geradoras e as outras duas, ‘elemento pré-moldado de concreto’ e ‘peça de mourão para cercas’ como menores geradoras. Por fim, no caso de instalações provisórias de canteiro, três técnicas mais utilizadas figuraram entre as maiores geradoras (estrutura em chapas compensadas resinadas, formas em madeira e concreto armado moldado *in loco*) e duas técnicas como menores geradoras (container de aluguel e elemento em fibrocimento).

Observou-se um conflito de classificação nas técnicas construtivas de ‘canalização em PVC’, em projetos de drenagem, e de ‘elemento em basalto’ e ‘elemento granítico’, em projetos de

áreas pavimentadas. Uma possível explicação dessa dicotomia de opiniões é a de que os especialistas avaliam o grau de geração de resíduos com base em suas observações profissionais e que, no caso das técnicas citadas, as quebras não estão relacionadas unicamente ao material empregado, mas, principalmente, à modulação dos componentes de projeto adotada. Assim, tais técnicas podem ter sido consideradas como maiores geradoras em função de o profissional tê-las referenciado a um projeto com falta de modulação, enquanto que outro especialista pode ter realizado a correlação a partir da observância de um projeto adequadamente modulado.

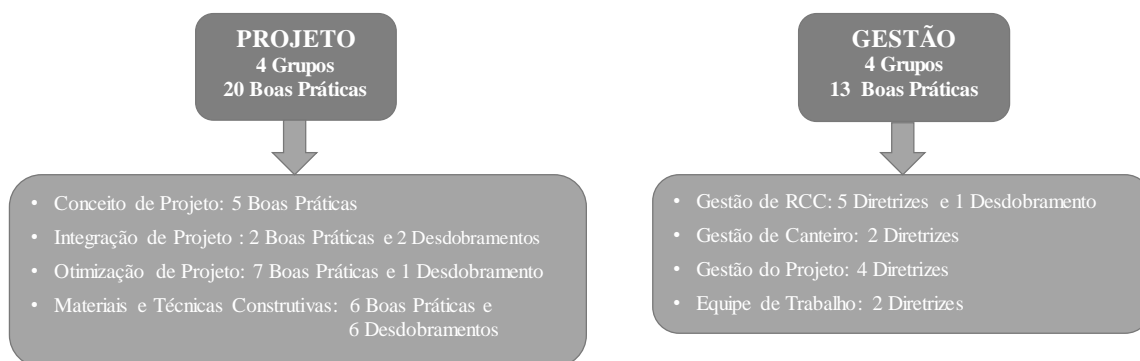
Em complemento, analisando as 14 obras analisadas neste estudo, verifica-se que a tipologia de maior geração de RCC foi a de redes de água e esgoto. Uma justificativa para tal pode estar associada ao fato de que a mesma empregou, em maior número, técnicas consideradas como de maior geração, pelos especialistas: movimentações de terra; argamassa; e alvenaria.

Com base nas etapas de trabalho desenvolvidas, associadas a diretrizes identificadas por outros pesquisadores, foram identificadas boas práticas para redução da geração de RCC, aplicáveis à fase de projeto, as quais são apresentadas na próxima seção.

2.4.5 Boas práticas para redução da geração de RCC na fase de projeto

As boas práticas propostas neste estudo foram divididas em dois grandes temas: projeto, que trata das atividades projetuais; e gestão, que se refere à condução do processo de projeto até a sua execução. Cada um dos temas possui quatro grupos, contando com um total de 33 boas práticas (algumas com desdobramentos), conforme apresentado na figura 12.

Figura 12 – Divisões das boas práticas identificadas



Fonte: elaborado pelos autores

A lista de boas práticas identificadas neste estudo é apresentada com o código de cada boa prática ou desdobramento, a sua descrição e a fonte de referência, incluindo aquelas originadas na etapa de entrevistas, conforme figura 13.

Figura 13 – Boas práticas identificadas

TEMA	FONTE DE REFERÊNCIA
GRUPO	
PROJETO	
CONCEITO DE PROJETO	
Cód. Boas Práticas e Desdobramentos	
E7	Uso adequado do terreno, de forma a reduzir movimentações de terra <i>Survey</i>
E17	Adoção, em áreas pavimentadas, de técnicas e materiais que permitam a adaptação para outros usos da área <i>Survey</i>
D4	Soluções de projeto pouco complexas, reduzindo as possibilidades de erros de execução Udawatta et al., 2015
LC1	Total conhecimento dos requisitos de projeto, com foco na redução da geração de RCC, como geração de valor Marhani et al., 2012
M1	Estabelecimento de minimização da geração de RCC como estratégia de projeto Mendler et al., 2006
INTEGRAÇÃO DE PROJETO	
Cód. Boas Práticas e Desdobramentos	
E1	Comunicação plena entre equipe de projeto e analistas ambientais, na fase de projeto <i>Survey</i>
D5	Estabelecimento de rotina de reuniões diárias para comunicação da equipe de projeto Udawatta et al., 2015
M4	Empregar abordagens de processo de projeto integrado e colaborativo Mendler et al., 2006
E11	Uso de técnicas de projeto integrado (ferramenta BIM) <i>Survey</i>
OTIMIZAÇÃO DE PROJETO	
Cód. Boas Práticas e Desdobramentos	
E2	Detalhamento completo, adequado e compatibilizado dos componentes de projeto <i>Survey</i>
E8	Quantificação correta e precisa de materiais a serem empregados <i>Survey</i>
E9	Especificações técnicas completas e detalhadas (de projeto e de produto) <i>Survey</i>
E14	Levantamento completo e adequado das demandas de projeto (Programa de necessidades) <i>Survey</i>
E18	Consideração de perdas inerentes aos materiais na fase de projeto <i>Survey</i>
D2	Disseminação de índices de geração de RCC aos profissionais, para auxílio à tomada de decisão Udawatta et al., 2015
D6	Considerar a avaliação do ciclo de vida (ACV) como ferramenta de tomada de decisão Mendler et al., 2006; Udawatta et al., 2015
M2	Incluir a avaliação do custo de ciclo de vida dos produtos (ACCV) no escopo do projeto Mendler et al., 2006
MATERIAIS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS	
Cód. Boas Práticas e Desdobramentos	
E5	Uso de materiais/processos construtivos padronizados <i>Survey</i>
AP1	Emprego de materiais reutilizados, reciclados e que reduzem a necessidade de manutenção Brasil, 2010
M5	Selecionar materiais e técnicas construtivas menos impactantes ambientalmente, evitando o emprego de produtos com conteúdo tóxico Mendler et al., 2006; Begum et al., 2007
E6	Emprego de materiais/técnicas construtivas racionalizados e industrializados <i>Survey</i>
B2	Investimento em processos e técnicas inovadoras, que geram menos RCC <i>Survey</i> ; Udawatta et al., 2015; Wang et al., 2015
D7	Emprego de formas metálicas em vez de formas em madeira, maximizando as possibilidades de reuso Jaillon et al., 2009; Wang et al., 2014
D9	Emprego prioritário de técnicas de construção a seco Wang et al., 2014
D10	Em instalações provisórias de canteiro, emprego prioritário de estruturas prontas de aluguel Wang et al., 2014
E10	Adoção de sistemas modulares <i>Survey</i>
E12	Emprego de materiais de qualidade reconhecida e duráveis <i>Survey</i>
E16	Preferência por transporte de materiais em curta distância <i>Survey</i>
D11	Evitar o uso de técnicas construtivas baseadas em atividades de execução <i>in loco</i> (argamassa, concreto e alvenaria), com emprego preferencial de tecnologias pré-fabricadas Tam et al., 2007; Wang et al., 2014
GESTÃO	
GESTÃO DE RCC	
Cód. Boas Práticas e Desdobramentos	
E3	Planejamento para reuso dos materiais empregados <i>Survey</i>
D8	Previsão, em projeto, do uso de materiais reciclados como agregados Wang et al., 2014; Brasil, 2010
E4	Planejamento para gerenciamento dos resíduos gerados <i>Survey</i>
E19	Planejamento do tratamento de efluentes do canteiro de obras, previsto no projeto <i>Survey</i>
D1	Planejamento das atividades de execução com foco em etapas potencialmente geradoras de RCC Poon et al., 2004; Solís-Guzmán et al., 2009
GESTÃO DE CANTEIRO	
Cód. Boas Práticas e Desdobramentos	
E13	Planejamento adequado do canteiro de obras <i>Survey</i> ; Ekanayake e Ofori, 2004; Saez et al., 2013
E15	Controle de estoque e de disponibilização de materiais no canteiro <i>Survey</i>
GESTÃO DO PROJETO	
Cód. Boas Práticas e Desdobramentos	
D3	Registro documental adequado de decisões e de critérios de projeto Udawatta et al., 2015
LC2	Priorização de transparência do processo nas etapas de projeto Marhani et al., 2012
LC3	Retroalimentação de informações para a equipe de trabalho, a fim de evitar mudanças de projeto durante a fase de execução Marhani et al., 2012
LC4	Emprego de métodos de acompanhamento de cronograma Ghosh et al., 2014
M3	Estabelecimento de metas de desempenho de projeto e de formas de medição dessas Mendler et al., 2006
EQUIPE DE TRABALHO	
Cód. Boas Práticas e Desdobramentos	
B1	Investimento em treinamentos, para a equipe de trabalho, a fim de promover a conscientização ambiental das decisões de projeto <i>Survey</i>
B3	Investimento em capacitação da equipe de projeto para emprego de processos e técnicas inovadoras <i>Survey</i> ; Ekanayake e Ofori, 2004

Fonte: elaborado pelos autores

As boas práticas oriundas das estratégias de nº 1, 3, 5, 6, e 18, além da M4 apresentaram, em seu escopo, alguns desdobramentos, os quais foram definidos como possíveis maneiras de se alcançar os objetivos a eles relacionados. Em alguns casos, os desdobramentos apresentam processos construtivos usuais, para o alcance das boas práticas, como o desdobramento D8, referente à boa prática de ‘planejamento para reuso dos materiais empregados’. Esse sugere a utilização de quebras de materiais como agregados, a qual é, inclusive, normatizada para uso em áreas pavimentadas, através da NBR 15.116/2004 (ABNT, 2004). Além disso, a Instrução Normativa Nº 01, de 19 de novembro de 2010, do Governo Federal, a qual dispõe sobre critérios de sustentabilidade na administração pública, torna mandatário que, quando possível, seja exigido nas obras públicas o uso de agregados reciclados (BRASIL, 2010).

A boa prática M5 e o desdobramento D10 tratam de uma questão relevante no que diz respeito à natureza dos resíduos gerados. Esses destacam que não só o volume de resíduos requer atenção quanto aos impactos ambientais causados, mas também a periculosidade do material. Quando não são utilizadas estruturas prontas de aluguel em instalações provisórias de canteiro, as mesmas são constituídas por chapas compensadas resinadas ou outros tipos de madeiras tratadas, os quais são classificados como RCCs de classe D (perigosos). Com base no diagnóstico das obras analisadas neste estudo, percebeu-se um controle inadequado dos resíduos de desmobilização de obras, sem que haja comprovação da reutilização de estruturas em madeira beneficiada, o que aumenta os riscos de descarte irregular.

A boa prática M2 destaca a abordagem através da análise do custo de ciclo de vida (ACCV) dos produtos, para uma avaliação econômica completa e adequada das escolhas de projeto. Segundo Mendler et al. (2006), o ciclo de vida envolve todos os estágios de um produto no meio ambiente, desde a extração de matéria prima até a sua disposição final. Na ACCV são considerados os custos ao longo da vida útil do produto (aquisição, uso, operação, manutenção e disposição), realizando-se um balanço entre impactos econômicos e ambientais, a fim de nortear a decisão pelo melhor valor. Essa análise se torna relevante, principalmente, quando da especificação, em obras públicas, de produtos ambientalmente menos impactantes, como forma de justificar o seu custo de aquisição mais elevado, em relação a opções existentes no mercado.

A boa prática E7 ressalta a importância da avaliação adequada do terreno, a fim de se minimizar as movimentações de terra. Nesse sentido, observou-se que, conforme a tabela 2, o item movimentações de terra se apresentou como economicamente relevante em todas as tipologias de projeto analisadas. E que, conforme verificado no diagnóstico da geração de

resíduos das mesmas obras, a maioria dos RCCs foi originada a partir dessa técnica construtiva, sendo, assim, considerada como de alto custo e geradora de grandes desperdícios.

A integração de projetos, questão relevante tanto na gestão de projetos quanto de obras, é aqui tratada sob diferentes óticas, uma vez que nem sempre é viável a aquisição de *softwares* especializados para esse fim. No caso de haver essa disponibilidade, verifica-se que a aplicação da tecnologia BIM pode contribuir para o emprego de 10 boas práticas, quais sejam: E1, E2, E3, E8, E9, E10, E13, E18, BP1 e M4. Entretanto, não sendo possível a utilização dessa tecnologia, a integração pode ser inserida no processo de projeto através de métodos que facilitem a comunicação entre a equipe de trabalho, bem como o fluxo de informações. Assim, entende-se que as boas práticas pertencentes ao tema ‘gestão’, grupo ‘gestão do projeto’ expressam formas alternativas de obtenção da integração necessária, sem a dependência de *softwares* especializados, através da abordagem de projeto colaborativo.

Dessa forma, a lista de boas práticas aqui proposta pode contribuir para o processo de projeto, atuando em diferentes atividades projetuais e em importantes etapas de planejamento. Sugere-se, assim, que as boas práticas e os desdobramentos sejam empregados, como itens de controle e de avaliação das decisões adotadas, na forma de *checklist* (Apêndice B). Tal instrumento constitui-se de um apoio prático para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana, focados na minimização da geração de RCC.

2.5 Considerações finais

O presente trabalho se desenvolveu a partir da necessidade de redução de impactos ambientais e econômicos, causados por desperdício de materiais em obras de infraestrutura urbana; tendo como objetivo identificar boas práticas para redução da geração de RCC na etapa de projeto. Para tal, foram utilizados como procedimentos metodológicos: pesquisa bibliográfica; análise documental; e aplicação de pesquisa quali-quantitativa junto a especialistas. Após a análise dos dados obtidos, foi possível realizar algumas considerações, conforme apresentado a seguir.

A primeira etapa do estudo foi qualitativa, realizando-se o ‘mapeamento das etapas de projeto’, o qual foi desdobrado em atividades referentes a cada etapa, segundo recomendações de órgãos de controle do Governo Federal. O levantamento das atividades permitiu a visualização de oportunidades de atuação das boas práticas identificadas, contribuindo para a gestão do processo de projeto.

Os resultados obtidos na segunda etapa podem ser considerados como as principais contribuições deste trabalho. Nessa etapa, foi realizado o mapeamento da relação entre técnicas construtivas, empregadas em projetos de infraestrutura no Brasil, e as tipologias de projeto; o qual foi representado em uma matriz de relacionamento. Essa matriz é a base para o entendimento dos impactos futuros gerados pelas obras urbanas, uma vez que aponta as principais práticas de mercado, evidenciando as escolhas comumente realizadas pelas equipes de projeto. Além disso, a mesma matriz orientou o levantamento de RCC, por etapa de execução nas obras estudadas, bem como permitiu a geração de listas de opções projetuais, utilizadas na etapa de aplicação de questionário aos especialistas.

Na etapa de análise documental de projetos públicos de infraestrutura urbana (terceira etapa), realizou-se o diagnóstico da geração de resíduos, identificando as maiores geradoras, segundo as técnicas construtivas utilizadas e as tipologias de projeto empregadas. Assim, com base nas perdas observadas, foram relacionados fatores de escolhas projetuais associados a tal geração, tais como: movimentações de terra mal planejadas; modulação de projeto inadequada; especificação de técnicas construtivas moldadas *in loco*; e instalações provisórias de canteiro estruturadas em materiais com conteúdo tóxico e pouco reaproveitáveis. Além disso, identificou-se que a técnica construtiva de movimentações de terra possui relevância econômica em todas as tipologias de projeto, sendo também responsável por grande parte da geração de RCC das mesmas obras.

A quarta etapa da pesquisa identificou, a partir da opinião de especialistas: (i) estratégias projetuais para minimização da geração de RCC; (ii) barreiras de implementação das estratégias; (iii) causas da geração de resíduos em obras; e (iv) maiores ou menores geradoras, em técnicas construtivas mais empregadas, por tipologia de projeto. As estratégias de projeto e as barreiras citadas serviram como base para as boas práticas identificadas; seguindo, no caso das barreiras, o princípio de se contornar os impedimentos relatados. Analisando as causas da geração em obra, verificou-se que essa não está associada apenas à escolha de materiais e às decisões de projeto, mas também a uma componente comportamental dos profissionais de projeto e de execução, reforçando a necessidade de boas práticas voltadas à conscientização da equipe de trabalho. Nessa etapa ainda foi possível concluir sobre a importância dos projetos de instalações provisórias de canteiro para o adequado gerenciamento de resíduos, verificando-se que houve uma relação entre a qualidade do planejamento de canteiro e o quantitativo de RCC gerado nas obras analisadas. Contudo,

entende-se que essa relação pode ser influenciada por outras variáveis, as quais são culturalmente características da empresa responsável pela execução.

A última etapa do trabalho resultou em uma lista de 33 boas práticas, com alguns desdobramentos, aplicáveis às atividades de projeto e à gestão desse, pois entende-se que ambos os aspectos são fundamentais para a redução da geração de RCC na fase projetual. Por outro lado, visto as características específicas de obras públicas, ressaltou-se a importância da consideração do princípio da economicidade, expresso nas boas práticas propostas, especialmente através da abordagem de ACCV. Isso porque tal princípio está relacionado à obtenção de uma maior eficiência de gestão orçamentária; proporcionando que os bens públicos possuam um equilíbrio adequado entre qualidade e custos despendidos (TORRES, 1991; ARAÚJO, 2011). Dessa forma, a ACCV pode ser fundamental para a concretização de contratações mais sustentáveis na administração pública, amparada, inclusive, nos eixos temáticos da Agenda A3P e na Instrução Normativa nº 1.

O *checklist* gerado a partir da lista de boas práticas compõe um importante instrumento para apoio às decisões, complementando recomendações apresentadas por Mendler et al. (2006). Além disso, possibilita uma avaliação da qualidade do processo de projeto especificamente para cada cenário, com a liberdade de aplicação das práticas mais adequadas caso a caso.

Assim, com base no exposto, conclui-se que é complexa a avaliação da geração de RCC em obras de infraestrutura urbana, visto que há a influência de diversos fatores, com diferentes origens. Contudo, considera-se possível a minimização dessa geração a partir da combinação adequada, tanto das escolhas de projeto quanto de sua gestão, tendo como base as boas práticas aqui propostas e, enquanto resultado, obtendo-se empreendimentos menos impactantes ambientalmente.

Apesar de ter sido gerado um instrumento de avaliação a partir do *checklist* de boas práticas, entende-se que esta pesquisa possui limitações para a aplicação, uma vez que não apresenta formas de medição do quanto as decisões adotadas podem estar sendo impactantes ou mesmo, quais práticas devem ser priorizadas, de acordo com cada cenário. Assim, como sugestão de trabalhos futuros, aponta-se a necessidade de elaboração de método para aplicação das boas práticas, considerando-se a sua relevância no processo de tomada de decisão. Pode-se também investigar a aplicação das diretrizes a partir da abordagem de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) das decisões de projeto, bem como através de indicadores de desempenho para promoção de projetos mais sustentáveis.

Referências

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2015.

ALBUQUERQUE, A. E. C. **Uma avaliação comparativa entre os métodos *design-build* e o *design-bid-build* para redução de problemas entre projeto e construção de obras públicas brasileiras**. 2012. 191 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

ARAÚJO, E. R. **Princípio da economicidade**. 2011. Disponível em: <<http://www.direitolegal.org/artigos/principio-da-economicidade/>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

AJAYI, S. O.; OYEDELE, L. O.; AKINADE, O. O.; BILAL, M.; OWOLABI, H. A.; ALAKA, H. A.; KADIRI, K. O. Reducing waste to landfill: A need for cultural change in the UK construction industry. **Building Engineering**, v. 5, p. 185-193, Jan. 2016.

AL-HAJJ, A.; HAMANI, K. Material Waste in the UAE construction industry: main causes and minimization practices. **Architectural engineering and design management**, v. 7, Issue 4, p. 221-235, Nov. 2011.

ALWAN, Z.; JONES, P.; HOLGATE, P. Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 349-358, 2017.

BÁEZ, A. G.; SÁEZ, P. V.; MERINO, M. R.; NAVARRO, J. G. Methodology for quantification of waste generated in Spanish railway construction works. **Waste management**, v. 32, p. 920-924, 2012.

BEGUM, R. A.; SIWAR, C.; PEREIRA, J. J.; JAAFAR, A. H. Implementation of waste management and minimisation in the construction industry of Malaysia. **Resources, conservation and recycling**, v. 51, p. 190-202, 2007.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa n. 1**, de 19 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.comprasnet.gov.br/legislacao/legislacaoDetalhe.asp?ctdCod=295>>. Acesso em: 18 mar. 2016.

CHENG, J. C. P.; MA, L. Y. H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste management**, v. 33, p. 1539-1551, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção civil. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

EKANAYAKE, L. L.; OFORI, G. Building waste assessment score: design-based tool. **Building and Environment**, v. 39, Issue 7, p. 851-861, July 2004.

ESIN, T.; COSGUN, N. A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey. **Building and Environment**, v. 42, Issue 4, p. 1667-1674, Apr. 2007.

ETGES, B. M. B. S. **Protocolo de auditoria do uso de práticas da construção enxuta**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Transportes, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FORMOSO, C. T.; SOIBELMAN, L.; CESARE, C.; ISATTO, E. L. Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. **Journal of construction engineering and management**, v. 128, Issue 4, p. 316-325, Jul. 2002.

GHOSH, S.; BHATTACHARJEE, S.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GANAPATHY, R. A case study to examine environmental benefits of Lean Construction. In: 22nd ANNUAL CONFERENCE OF INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION, p. 133-144, 2014. **Proceedings...** Disponível em: < <http://iglc.net/Papers/Details/966>>. Acesso em: 31 jan 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HASSAN, S. H.; AZIZ, H. A.; ADLAN, M. N.; JOHARI, I. The causes of waste generated in Malaysian housing construction sites using site observations and interviews. **International Journal of Environment and waste management**, v. 15, Issue 4, p. 295-308, Jun. 2015.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Fifty Assessment Report of Climate Change**. Cambridge, UK, 2014.

JAILLON, L.; POON, C. S.; CHIANG, Y. H. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. **Waste management**, v. 29, p. 309-320, 2009.

KATZ, A.; BAUM, H. A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites. **Waste management**, v. 31, p. 353-358, 2011.

LI, J.; TAM, V. W. Y.; ZUO, J.; ZHU, J. Designer's attitude and behavior toward construction waste minimization by design: A study in Shenzhen, China. **Resources, conservation and recycling**, v. 105, p. 29-35, 2015.

LI, M.; YANG, J. Critical factors for waste management in office building retrofit projects in Australia. **Resources, conservation and recycling**, v. 93, p. 85-98, 2014.

LINGARD, H.; GRAHAM, P.; SMITHERS, G. Employee perceptions of the solid waste management system operating in a large Australian contracting organization: implications for company policy implementation. **Construction management and economics**, v. 18, Issue 4, p. 383-393, 2000.

LIU, Z.; OSMANI, M.; DEMIAN, P.; BALDWIN, A. A BIM-aided construction waste minimisation framework. **Automation in Construction**, v. 59, p. 1-23, 2015.

LLATAS, C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste management**, v. 31, p. 1261-1276, 2011.

MÁLIA, M. A. B. **Indicadores de resíduos de construção e demolição**. 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

MARHANI, M. A.; JAAPAR, A.; BARI, N. A. A. Lean Construction: Towards enhancing sustainable construction in Malaysia. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 68, p. 87-98, 2012.

MARHANI, M. A.; JAAPAR, A.; BARI, N. A. A.; ZAWAWI, M. Sustainability through Lean Construction Approach: A literature review. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 101, p. 90-99, 2013.

MARZOUK, M.; AZAB, S. Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics. **Resources, conservation and recycling**, v. 82, p. 41-49, 2014.

MENDLER, S.; ODELL, W.; LAZARUS, M. A. **The HOK guidebook to sustainable design**. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NAHMENS, I. From Lean to Green construction: a natural extension. In.: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, p. 1058-10678, 2009. **Proceedings...** Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/41020%28339%29107>>. Acesso em: 25 out 2015.

OLIVEIRA, O. J.; MELHADO, S. B. O papel do projeto em empreendimentos públicos: dificuldades e possibilidades em relação à qualidade. In: WORKSHOP NACIONAL DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIO, p. 2-3, 2002. **Anais...** Porto Alegre: PUCRS, 2002. Disponível em: <<http://www.eesc.usp.br/sap/projetar/files/A017.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2016.

ORSE – ORÇAMENTO DE OBRAS DE SERGIPE. **Pesquisa de Especificações**. [Aracaju], 2016. Disponível em: <<http://187.17.2.135/orse/especificacoes.asp>>. Acesso em: 25 jan. 2016.

OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. D. F. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. **Waste management**, v. 28, p. 1147-1158, 2008.

POON, C. S.; YU, A. T. W.; WONG, S. W.; CHEUNG, E. Management of construction waste in public housing projects in Hong Kong. **Construction Management and Economics**, v. 22, Issue 7, p. 675-689, 2004.

SAEZ, P. V.; MERINO, M. de R.; GONZÁLEZ, A. S.; PORRAS-AMORES, C. Best practice measures assessment for construction and demolition waste management in building constructions. **Resources, conservation and recycling**, v. 75, p. 52-62, 2013.

SALEM, O.; SOLOMON, J.; GENAIDY, A.; LUEGRING, M. Site implementation and assessment of Lean Construction Techniques. **Lean Construction Journal**, v. 2, p. 1-21, Oct. 2005.

SAURIN, T. A. **Método para diagnóstico e diretrizes para planejamento de canteiros de obra de edificações**. 1997. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SEAP – SECRETARIA DE ESTADO DA ADMINISTRAÇÃO E DO PATRIMÔNIO. **Manual de Obras Públicas – Edificações**: Obras da SEAP. Brasília, 2014.

SHEN, L. Y.; TAM, V. W. Y. Implementation of environmental management in the Hong Kong construction industry. **International Journal of Project Management**, v. 20, p. 535-543, 2002.

SINAPI – SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Composições**. [S.l.], 2016. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx#categoria_556>. Acesso em: 25 jan. 2016.

SOLÍS-GUZMÁN, J.; MARRERO, M.; MONTES-DELGADO, M. V.; RAMÍREZ-DE-ARELLANO, A. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste management**, v. 29, Issue 9, p. 2542-2548, 2009.

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M.; ZENG, S. X.; NG, W. C. Y. Towards adoption of prefabrication in construction. **Building and Environment**, v. 42, Issue 10, p. 3542-3654, 2007.

TCPO. **Tabelas de composições de preços para orçamento**. 14 ed. São Paulo: Pini, 2014.

TCU – TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Obras Públicas de Edificações e de Saneamento**: Módulo 1 – Planejamento. Brasília, 2014. Aula 2: Elaboração de Projetos.

TORRES, R. L. O Tribunal de Contas e o controle da legalidade, economicidade e legitimidade. **Revista do TCE/RJ**, v. 22, p. 37-44, 1991.

UDAWATTA, N.; ZUO, J.; CHIVERALLS, K.; ZILLANTE, G. Improving waste management in construction projects: An Australian study. **Resources, conservation and recycling**, v. 101, p. 73-83, 2015.

WANG, J.; LI, Z.; TAM, V. W. Y. Critical factors in effective construction waste minimization at the design stage: a Shenzhen case study, China. **Resources, conservation and recycling**, v. 82, p. 1-7, 2014.

_____. Identifying best design strategies for construction waste minimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p. 237-247, 2015.

WON, J.; CHENG, J. C. P.; LEE, G. Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea. **Waste management**, v. 49, p. 170-180, 2016.

3 ARTIGO 2 – MÉTODO PARA GERENCIAMENTO DE REQUISITOS AMBIENTAIS E DE *TRADE-OFFS* EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA URBANA MENOS IMPACTANTES AMBIENTALMENTE

Resumo

A redução da geração de RCC é uma importante estratégia para a obtenção de empreendimentos menos impactantes ambientalmente na construção civil. Contudo, a inclusão de fatores de sustentabilidade ambiental na elaboração de projetos, principalmente aqueles pertencentes ao setor público, caracteriza-se como de grande complexidade, a qual está fortemente associada à necessidade de gerenciamento de requisitos ambientais e de *trade-offs* próprios desse cenário. Embora existam diversos métodos e recomendações para apoio à tomada de decisão no desenvolvimento de projetos, verifica-se que a maioria é pouco operacional, além de ser direcionada para projetos de edificações; havendo uma lacuna no que diz respeito a projetos de infraestrutura urbana. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo propor um método para o gerenciamento de requisitos ambientais e de *trade-offs* em projetos de infraestrutura urbana menos impactantes ambientalmente, a partir da minimização da geração de RCC. Para tanto, foi desdobrada a Matriz da Qualidade da ferramenta *Quality Function Deployment* (QFD). Como principais resultados da pesquisa foram obtidos: (i) a identificação de requisitos e de indicadores ambientais prioritários, para a redução da geração de resíduos, em projetos de infraestrutura urbana; e (ii) uma sistemática para gerenciamento de *trade-offs* existentes no processo de elaboração desses projetos. Por fim, considera-se que, a partir da adoção do referido método, é possível obter empreendimentos mais ambientalmente amigáveis com adequado desempenho.

Palavras-chave: Projetos de infraestrutura Urbana; Sustentabilidade ambiental; Resíduos de Construção Civil (RCC); Indicadores Ambientais; QFD; Gerenciamento de *Trade-Offs*

3.1 Introdução

A busca por sustentabilidade em diversos setores da indústria tem sido intensificada, principalmente em função da preocupação mundial com a mitigação de impactos ambientais, sociais e econômicos causados pela atividade humana. Nesse sentido, a construção civil, em sua cadeia de produção, é considerada como um dos grandes causadores de impactos ambientais, especialmente, em função do uso de recursos e extração de matéria-prima. Assim, o uso de técnicas construtivas e materiais menos impactantes, bem como a redução da geração dos resíduos de construção civil (RCC), tornaram-se relevantes para o setor. Com o processo de urbanização das cidades e a necessária implantação de infraestrutura urbana de apoio, a geração de RCC se torna mais expressiva (SOLÍS-GUZMÁN et al., 2009), ressaltando a premência da criação de mecanismos que racionalizem processos e produtos. Nas fases iniciais de projeto, as ações para redução dessa geração são consideradas mais efetivas (ESIN; COSGUN, 2007), uma vez que são norteadas pelo princípio da não-geração (BRASIL, 2010), prevenindo riscos na fonte geradora.

No entanto, o desenvolvimento de projetos na construção civil é complexo, demandando, que o processo decisório, nessa fase, seja baseado fortemente em integração técnica e gerencial, além da consideração de análise apurada de potenciais incertezas (ROMANO, 2006; WILLIAMS, 1999). Arena et al. (2009) complementam que, quando da inclusão de fatores de sustentabilidade em projetos e produtos, é necessário ainda um conhecimento profundo do cenário de atuação; dos objetivos a serem alcançados; e de como a sustentabilidade pode ser medida.

Nesse contexto, entende-se que os objetivos de projeto serão alcançados a partir do equilíbrio adequado entre diferentes critérios, os quais podem ser conflitantes entre si; visto que *trade-offs* são parte integrante da tomada de decisão em cenários complexos (MORRISON-SAUNDERS; POPE, 2013; NIELSEN et al., 2016). Isso porque os mesmos surgem da necessidade de compensação entre pontos positivos e negativos na escolha de soluções para um determinado problema, a qual é característica de avaliações de sustentabilidade. Assim, os ganhos em uma área específica são obtidos, necessariamente, com a minimização, ou eliminação, de ganhos em outras (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; MORRISON-SAUNDERS; POPE, 2013).

Dessa forma, tendo em vista que cada projeto é único, as ferramentas adotadas, para apoio ao processo decisório, devem ser suficientemente flexíveis (NIELSEN et al., 2016), como, por exemplo, aquelas baseadas em métodos multicritério (CHOW et al., 2014; MEDINECKIENE

et al., 2015; KANG et al., 2016). Esses métodos são importantes, uma vez que permitem uma análise quali-quantitativa dos requisitos adotados, os quais podem servir como base para o desenvolvimento de indicadores de desempenho. Os indicadores buscam refletir o grau de cumprimento aos objetivos de projeto com que estão relacionados (HALLSTEDT, 2017), podendo ser inclusive, contrários no contexto geral de avaliação. Nesse caso, segundo Morrison-Saunders e Pope (2013), os métodos adotados devem também explicitar os *trade-offs* característicos do cenário, de forma que esses possam ser adequadamente tratados.

Dentre as ferramentas desenvolvidas para apoio a projetos de edificações mais sustentáveis, o principal foco recai sobre questões de habitabilidade, por meio do desenvolvimento de simulações e de algoritmos baseados em certificações ambientais (CERANIC et al., 2015; RACKES et al., 2016; SHAFAGHAT et al., 2016; WU et al., 2016;). Contudo, verifica-se uma lacuna associada a métodos e, até mesmo, a recomendações para gerenciamento de requisitos e de *trade-offs* no desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana mais sustentáveis ambientalmente. Isso se deve ao fato de os impactos ambientais associados a essa natureza de empreendimentos estarem relacionados a fatores diferentes dos de edificações, como a elevada geração de RCC e a extensa área de intervenção. Por outro lado, considera-se ainda que as ferramentas e as recomendações existentes, embora pudessem ser adaptadas para projetos de infraestrutura urbana, em sua maioria, são pouco operacionais, ocasionando em dificuldades de adoção nas rotinas de elaboração de projetos, bem como de execução das obras.

Assim sendo, este trabalho tem como objetivo a proposição de um método para o gerenciamento de requisitos ambientais e de *trade-offs* em projetos de infraestrutura urbana menos impactantes ambientalmente, a partir da minimização da geração de RCC. A construção desse foi baseada na ferramenta *Quality Function Deployment* (QFD), com o desdobramento da Matriz da Qualidade. Como principais resultados, foram obtidos: (i) a identificação de requisitos e de indicadores ambientais prioritários, para a redução da geração de resíduos, em projetos de infraestrutura urbana; e (ii) uma sistemática para gerenciamento de *trade-offs* existentes no processo de elaboração desses projetos.

O trabalho estrutura-se a partir de cinco seções, em que a primeira apresenta as diretrizes do estudo. A segunda contém o referencial teórico, tratando do processo de tomada de decisão no desenvolvimento de projetos mais sustentáveis, das dificuldades associadas e do acompanhamento dos objetivos projetuais por meio de indicadores de desempenho. A terceira seção apresenta os procedimentos metodológicos empregados, sendo que, na quarta seção, são

discutidos os resultados obtidos. Na quinta e última seção são apresentadas as considerações finais do trabalho e as sugestões para pesquisas futuras.

3.2 Tomada de Decisão no desenvolvimento de projetos mais sustentáveis

Nesta seção, são apresentados os conteúdos de referencial teórico, os quais embasam o desenvolvimento deste trabalho: processo decisório no desenvolvimento de projetos mais sustentáveis; emprego de métodos e ferramentas de apoio à decisão; e emprego de indicadores de sustentabilidade.

3.2.1 Métodos e ferramentas de apoio à tomada de decisão

A inclusão de fatores de sustentabilidade em projetos da construção civil demanda ações relacionadas tanto ao planejamento quanto ao seu desenvolvimento e execução. Porém, nem sempre o entendimento do que representam esses fatores, ou de como podem ser operacionalizados, está claro para as equipes de trabalho e tomadores de decisão. Para a consideração de quaisquer critérios sustentáveis em projetos e produtos, é vital que os processos de gestão estejam baseados em integração, a partir de uma abordagem sistêmica, em relação às dimensões do desenvolvimento sustentável, devendo ser considerados os aspectos específicos de cada caso (JABAREEN, 2008; FANTINATTI et al., 2015; KANG et al., 2016). Tendo em vista, contudo, que projetos de engenharia são de desenvolvimento complexo, com um grande número de inter-relações entre os requisitos a serem considerados, além de prazos reduzidos para elaboração e a necessidade de um robusto conjunto de dados, a inclusão de fatores mais sustentáveis torna ainda mais urgente o emprego de gestão integrada (ROMANO, 2006; HALLSTEDT, 2017).

Com o intuito de reduzir impactos ambientais relacionados, a integração deve se fazer presente nas etapas iniciais de desenvolvimento, acompanhando desde a concepção do empreendimento, até a escolha de materiais e técnicas construtivas; uma vez que as decisões tomadas nessa etapa podem determinar não só o volume de resíduos gerados, mas também o tipo de tratamento que será necessário no fim de vida (BUCHERT et al., 2015). Dessa forma, de acordo com Hallstedt (2017), o enfoque sustentável, nas decisões iniciais do desenvolvimento de produtos menos impactantes (McALOONE; TAN, 2005) – principalmente aqueles inovadores –, é imprescindível e deve ser tratado como estratégia de longo prazo.

Por esses motivos, o processo decisório no contexto de sustentabilidade de projetos deve estar baseado nas considerações subjetivas de cada cenário, bem como no ponto de vista de valor

para o projeto, segundo a opinião de tomadores de decisão e projetistas. Nielsen et al. (2016) destacam que, para que sejam atingidos os resultados desejados, os métodos de avaliação e tomada de decisão para construções mais sustentáveis devem se basear fortemente em trocas compensatórias (*trade-offs*) em todo o seu desenvolvimento (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006), as quais se tornam de difícil inclusão quando adotadas abordagens tradicionais de priorização de critérios. O adequado gerenciamento desses *trade-offs* é fundamental para a operacionalização da inclusão de fatores de sustentabilidade na tomada de decisão, uma vez que é determinante na avaliação de opções preferenciais para atendimentos aos objetivos de projeto (MORRISON-SAUNDERS; POPE, 2013). Dessa forma, métodos que auxiliam na priorização das escolhas, explicitando os *trade-offs* do processo, tais como métodos multicritério, são considerados apropriados (CHOW et al., 2014; ROGMANS; GHUNAIM, 2016).

De acordo com Khalili e Duecker (2013), os métodos multicritério de apoio à tomada de decisão ou *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA) podem servir de base a diversas ações para prevenção de impactos ambientais, tais como redução da geração de poluentes e práticas de Produção Limpa (PL). Uma vez que o espaço urbano possui características em rede e conflitantes, quaisquer intervenções realizadas envolverão a análise de uma grande quantidade e diferentes naturezas de critérios (MEDINECKIENE et al., 2015). Para Fantinatti et al. (2015), os métodos de análise multicritério devem ser empregados com o intuito de reduzir a subjetividade das escolhas, através de explicitação e quantificação de critérios. Ainda segundo os autores, a decisão final deve levar em conta aspectos qualitativos como quantitativos, tais como: percepção de valor dos tomadores de decisão; informações de custos; características físicas, químicas e ambientais; e valores estabelecidos por Normas. Os critérios devem expressar os objetivos do projeto através de medidas de desempenho e, a partir desses, as decisões devem ser baseadas em uma matriz de critérios, a qual torna possível a avaliação e a classificação de alternativas, considerando riscos e incertezas (KHALILI; DUECKER, 2013; FANTINATTI et al., 2015). Nesse sentido, Pohekar e Ramachandran (2004) destacam que as decisões são dependentes das preferências atribuídas pelos decisores, devendo-se chegar a um consenso, o qual deverá ser tratado como um compromisso, com o gerenciamento adequado dos *trade-offs* identificados.

Dentre os métodos de análise multicritério, destaca-se o *Analytical Hierarchy Process* (AHP), elaborado por Saaty (1977; 1991), o qual realiza o julgamento de critérios através da comparação pareada, estruturando o problema em níveis hierárquicos, com a construção de

uma matriz de avaliação (KANG et al., 2016). O método tem sido empregado em diversos estudos para inclusão de sustentabilidade em projetos de edificações, durante a fase de projeto (CUADRADO et al., 2015; KANG et al., 2016; NIELSEN et al., 2016); bem como para avaliação e classificação dessas edificações segundo critérios de certificações ambientais (MEDINECKIENE et al., 2015). Em alguns casos, o AHP é combinado a outros métodos, de forma a conferir maior agilidade aos processos de priorização e avaliação.

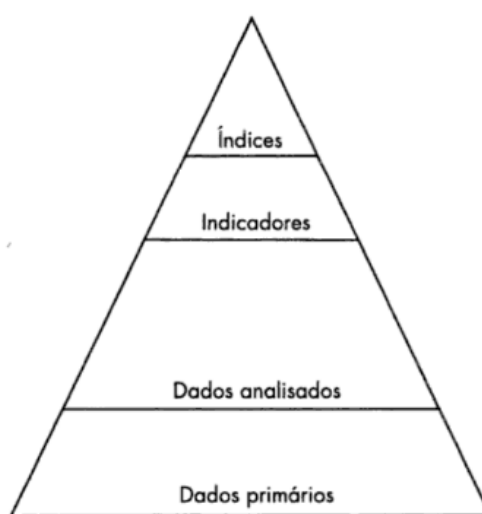
Em seu estudo, Pegoraro (2010) propôs diretrizes para gestão de requisitos ambientais em projetos de ambientes construídos, empregando o AHP para tratamento dos requisitos da fase de domínio do negócio e a priorização simples na fase de domínio de projeto. Canto-Perello et al. (2015) combinaram AHP com o método VIKOR para seleção de tipos de telhados mais sustentáveis em edifícios de médio porte; ao passo que Vučijak et al. (2016), utilizaram-se dos mesmos métodos para seleção de técnicas de gerenciamento de resíduos sólidos mais alinhadas à sustentabilidade. Arroyo et al. (2015) aplicaram o método AHP, em comparação ao método *Choosing By Advantages* (CBA), para seleção de técnicas construtivas de isolamento térmico mais sustentáveis. Pohekar e Ramachandran (2004) analisaram oito métodos de análise multicritério para o gerenciamento mais sustentável da energia em edificações, sendo destacados como os mais empregados: AHP; *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE); *Elimination and Choice Translating Reality* (ELECTRE); e *Multi-attribute Utility Theory* (MAUT). O método PROMETHEE, segundo mais empregado, de acordo com o estudo, realiza comparações par-a-par de critérios, classificando as alternativas de acordo com uma escala; tendo sido utilizado por Chen e Pan (2016) para avaliação de soluções em projetos de edifícios com baixa emissão de Carbono (*Low-Carbon Building*).

Outro método de análise multicritério usualmente empregado é o *Measuring Attractiveness by a Categorical Evaluation Technique* (MACBETH), o qual apoiou o trabalho de Fantinatti (2011) para o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade em empreendimentos residenciais, focando na problemática dos impactos de ocupação urbana. Ainda pode ser destacada a utilização de sistemas matriciais para avaliação e priorização de requisitos de sustentabilidade, com auxílio da ferramenta QFD, conforme recomendado por Salgado (1998) e empregado por Bigolin et al. (2016). Os métodos aqui apresentados baseiam-se em sistemas estruturados de acompanhamento dos objetivos, contribuindo para o planejamento da qualidade dos projetos. Esse acompanhamento pode ser apoiado com o emprego de indicadores de desempenho e de sustentabilidade, conforme apresentado no próximo subitem.

3.2.2 Indicadores de sustentabilidade

Os indicadores de desempenho são uma importante medida de acompanhamento das decisões tomadas no desenvolvimento de projetos, informando a respeito do atendimento ao objetivo a ser alcançado (DIZDAROGLU, 2015). Além disso, torna mais perceptível a tendência dos resultados (HAMMOND et al., 1995), bem como possibilita a comparação entre possíveis soluções (HIREMATH et al., 2013). De acordo com Hammond et al. (1995), embora os indicadores estejam relacionados a dados estatísticos, não podem ser definidos como tal, mas sim como uma medida de avaliação baseada nesses dados (figura 14).

Figura 14 – Pirâmide de informações



Fonte: Hammond et al., 1995

Os indicadores de desempenho tornam as informações disponíveis mais explícitas, auxiliando nas ações de planejamento e de controle (SCHUCH, 2001), porém, são apenas uma representação da realidade e não a própria, devendo, portanto, serem considerados como um apoio; e desenvolvidos em uma lógica bem estruturada de mensuração (VAN BELLEN, 2006). Como, por exemplo, em escalas de níveis de maturidade, de forma que as comparações sejam realizadas em níveis iguais, sem distorções (HALLSTEDT, 2017). É importante ressaltar, contudo, que indicadores de desempenho, sejam eles de sustentabilidade ou não (CALLADO, 2010), não devem ter uma conotação unicamente numérica ou contábil, mas sim devem representar um valor medido ou atribuído à determinada variável, no alcance dos objetivos, sejam eles quantitativos ou qualitativos (VELEVA; ELLENBECKER, 2001; SILVA, 2007; HALLSTEDT, 2017); buscando aliar, sempre que possível, desenvolvimento e proteção ambiental (HIREMATH et al., 2013).

Para Silva (2007), os indicadores de sustentabilidade devem estar fortemente baseados em comparações dinâmicas, uma vez que desempenhos considerados hoje aceitáveis, futuramente, podem não o ser; tornando necessária a existência de uma base de dados confiável, originada em benchmark. Assim, o significado dos indicadores se torna mais compreensível e, conseqüentemente, o objetivo de sustentabilidade mais facilmente alcançável. Van Belle (2006) destaca ainda que, nem sempre, os dados necessários para essa comparação estão disponíveis ou foram adequadamente coletados, sendo frequente e errônea a comparação de dados não análogos, em função de sua natureza distinta.

Assim, Rogmans e Ghunaim (2016) defendem que os sistemas de indicadores de sustentabilidade devem possuir cinco características obrigatórias: (i) definição clara de sustentabilidade na metodologia do sistema de indicadores; (ii) transparência no sistema de medição e classificação, em justificativas e cálculos; (iii) adaptabilidade do sistema de indicadores para condições ambientais locais e específicas de cada cenário; (iv) medição de sustentabilidade durante a fase de operação da construção e não apenas na fase de projeto e execução; e (v) facilidade de entendimento do sistema de pontuação, evitando ambigüidades. Em seu trabalho, Hardi e Zdan (1997) desenvolveram 10 princípios para a avaliação prática de desenvolvimento sustentável através de indicadores de desempenho, chamados de Princípios de Bellagio. Esses princípios englobam quatro grandes temas de recomendações: (i) desenvolvimento de visão e metas de sustentabilidade; (ii) foco nas questões consideradas como prioritárias no processo decisório; (iii) transparência e comunicação nas medições; e (iv) necessidade de rotina de avaliações.

Conforme apresentado por Silva (2007), existem, no mundo, diversos indicadores de sustentabilidade consolidados, geralmente baseados em certificações ambientais, direcionados a projetos de edificações. Por outro lado, Fantinatti et al. (2015) desenvolveram indicadores de sustentabilidade para o cenário específico de loteamentos urbanos, focando no uso e ocupação do solo. Consideram-se ainda estudos voltados ao desenvolvimento de indicadores para produtos mais sustentáveis na construção civil, como o de Bigolin et al. (2016), o qual analisou a produção de blocos de concreto para vedação, a partir da incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD). No entanto, verifica-se a escassez de estudos voltados a projetos de infraestrutura urbana, considerando as particularidades do setor público, os quais possuem características técnicas, normativas e ambientais que divergem dos casos mais comumente pesquisados.

3.3 Procedimentos Metodológicos

Nesta seção, são apresentados os procedimentos metodológicos adotados no estudo, incluindo a sua classificação e o método de pesquisa.

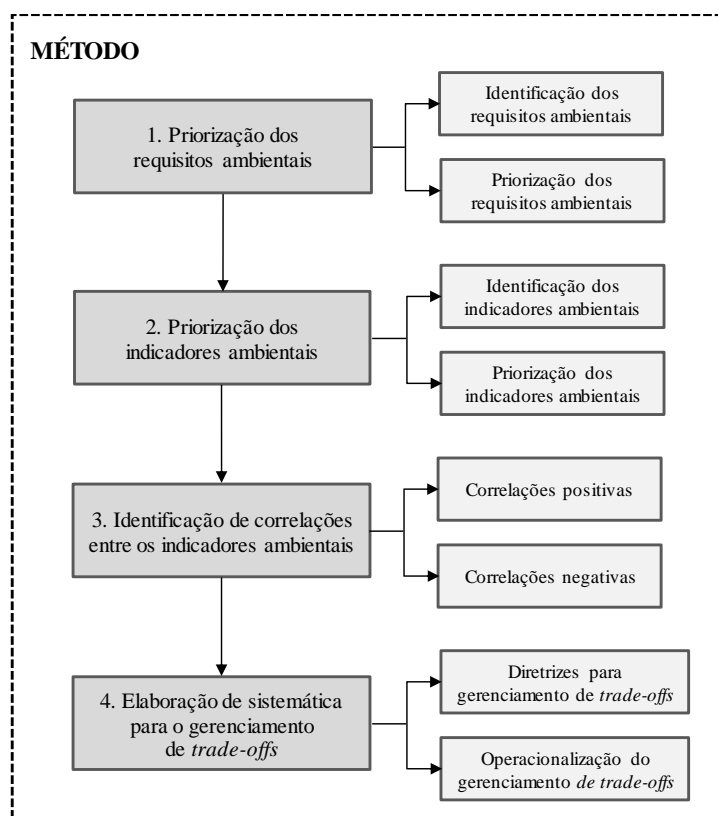
3.3.1 Classificação da Pesquisa

Quanto à sua classificação, este trabalho está baseado em pesquisa exploratória (GIL, 2010), com o emprego dos seguintes procedimentos metodológicos: aplicação de pesquisa quantitativa junto a especialistas, identificando os níveis de importância dos requisitos considerados; avaliação das relações entre os requisitos e os indicadores de qualidade, com base na abordagem de *Design Science Research* (DSR); e pesquisa bibliográfica em boas práticas de gerenciamento de *trade-offs* em projetos e produtos menos impactantes ambientalmente. O método de pesquisa, com as etapas do trabalho, é apresentado no próximo subitem.

3.3.2 Método de Pesquisa

Este trabalho foi desenvolvido em quatro etapas principais, conforme apresentado na figura 15, e descrito nos próximos subitens.

Figura 15 – Etapas do método de trabalho



Fonte: elaborado pelas autoras

3.3.2.1 Priorização dos requisitos ambientais

A primeira etapa do trabalho se destinou a identificar requisitos ambientais prioritários para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana focados na redução da geração de RCC. A identificação dos requisitos foi realizada a partir de duas fontes principais: boas práticas para redução da geração de RCC (item 2.4.5 deste estudo); e requisitos de sistemas de avaliação e certificação ambiental internacionais, para empreendimentos na construção civil. Os requisitos identificados levaram em conta tanto as boas práticas propostas quanto seus desdobramentos, adaptando-os sempre que necessário (quando os mesmos representavam uma solução técnica e não uma demanda); ao passo que, itens que se mostraram redundantes, foram unificados em um único requisito. Da mesma forma, os requisitos baseados em certificações ambientais, orientados para projetos de edificações, foram adaptados para o cenário de projetos de infraestrutura urbana. Assim, foram analisados os seguintes sistemas de certificação: *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), dos Estados Unidos; *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method* (BREEAM), do Reino Unido; e *Evaluation Standard for Green Building* (ESGB), da China.

Os requisitos ambientais definidos foram hierarquizados em três níveis (primário, secundário e terciário), dando origem à árvore de qualidade demandada (árvore lógica) do problema. A priorização desses baseou-se no trabalho de Ribeiro et al. (2001), a partir do desdobramento da Matriz da Qualidade, dentro da ferramenta QFD. A seleção dessa ferramenta se deu uma vez que a mesma pode auxiliar tanto no gerenciamento de projetos simples quanto de projetos de maior complexidade (RIBEIRO et al., 2001).

Na priorização dos requisitos ambientais, como premissa, foi estabelecido que as divisões pertencentes ao nível primário da árvore lógica (abordagens) possuíam a mesma importância. Assim, de maneira a identificar a importância dos níveis secundário (grupos) e terciário (requisitos), foi elaborado um questionário quantitativo (questões fechadas), com o auxílio da ferramenta *Google Forms*, o qual foi enviado a especialistas, via e-mail, entre os dias 31 de agosto e 5 de setembro de 2016. A amostra para aplicação desse foi constituída por diferentes organizações envolvidas com atividades de projeto e de execução de infraestrutura urbana na esfera pública, regidas por legislação própria de licitações e de contratos de serviços. Tal questionário foi aplicado, por conveniência, a 24 profissionais dos seguintes segmentos: uma Universidade Federal; uma Prefeitura Municipal de grande porte; duas empresas de economia mista (concessionária de saneamento e concessionária de energia elétrica); e uma empresa

prestadora de serviços a órgãos públicos em diversos estados do País. A figura 16 apresenta o perfil profissional dos especialistas participantes desta etapa do trabalho.

Figura 16 – Perfil dos especialistas – priorização dos requisitos ambientais

Perfil Especialista	Formação	Atuação no mercado (Tipo de empresa)	Função em relação ao projeto
1	Arquiteta	Pública	Projetista
2	Engenheiro Civil	Pública	Projetista
3	Arquiteta	Pública	Gerente de Projeto
4	Engenheiro Ambiental	Pública	Analista Ambiental
5	Engenheira Agrônoma	Pública	Gerente de Projeto
6	Engenheira Civil	Pública	Orçamentista
7	Engenheira Civil	Pública	Fiscal de obras
8	Engenheiro Civil	Pública	Orçamentista
9	Arquiteta	Pública	Gerente de Projeto
10	Arquiteta	Pública	Projetista
11	Arquiteta	Pública	Projetista
12	Engenheira Civil	Pública	Projetista
13	Engenheiro Civil	Pública	Projetista
14	Engenheira Civil	Economia Mista	Projetista
15	Engenheira Civil	Economia Mista	Projetista
16	Engenheira Civil	Economia Mista	Projetista
17	Engenheira Civil	Economia Mista	Projetista
18	Engenheira Civil	Economia Mista	Projetista
19	Engenheira Civil	Economia Mista	Orçamentista
20	Engenheiro Eletricista	Economia Mista	Projetista
21	Engenheiro Eletricista	Economia Mista	Gerente de Projeto
22	Arquiteto	Pública	Gerente de Projeto
23	Engenheiro Civil	Pública	Projetista
24	Engenheira Civil	Privada	Gerente de Projeto

Fonte: elaborado pelas autoras

Para priorização dos itens de nível secundário e terciário, no questionário, foram empregados dois métodos distintos. A primeira priorização realizada foi a do nível terciário, através de uma escala Likert de dez pontos, em que o limite inferior (um) significava pouca importância, enquanto que o limite superior (dez) significava muita importância.

O segundo método empregado dedicou-se à priorização do nível secundário, com o ordenamento das demandas de um a três. Nesse caso, o ‘um’ dizia respeito à demanda mais importante, o ‘dois’, à segunda mais importante e, por consequência, o ‘três’, à terceira mais importante. O cálculo da importância das demandas foi obtido através de média aritmética das atribuições na Escala Likert, as quais foram distribuídas proporcionalmente, considerando a soma dos inversos da ordenação de um a três (apresentada na equação 1).

$$IS = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R} \quad (1)$$

Em que:

IS = importância do item secundário

R = valor de resposta associado ao item secundário pelos n respondentes

3.3.2.2 Priorização dos indicadores ambientais

Na segunda etapa do estudo, foram identificados critérios técnicos (indicadores) associados a cada requisito ambiental. Esses indicadores são denominados, no QFD, como características de qualidade (RIBEIRO et al., 2001) e, no presente estudo, por estarem relacionados à dimensão ambiental de sustentabilidade, foram intitulados de indicadores ambientais.

Com a definição dos requisitos e dos indicadores ambientais, foi verificada a existência de relações entre esses, através da elaboração da Matriz da Qualidade; a qual proporcionou uma visão integrada de todos os elementos envolvidos. A construção dessa matriz foi realizada por uma equipe multidisciplinar, atuante na elaboração de projetos de infraestrutura urbana de uma Universidade Federal, entre os dias 5 e 12 de setembro de 2016. As reuniões para o preenchimento da Matriz da Qualidade ocorreram diariamente, em horário fixo no turno da tarde, com duração de, aproximadamente, 4 horas diárias. A equipe multidisciplinar contou com dois projetistas (um engenheiro civil e uma arquiteta), uma gerente de projeto (arquiteta), um analista ambiental (engenheiro ambiental) e uma orçamentista (engenheira civil). Além da atuação na Universidade, os membros da equipe possuíam experiência prévia em: uma Prefeitura Municipal de grande porte; uma concessionária de energia elétrica (empresa de economia mista); uma concessionária de gás natural (empresa de economia mista); e uma empresa privada prestadora de serviços de infraestrutura a órgãos públicos. O preenchimento da Matriz da Qualidade se deu a partir da escala de intensidade apresentada na figura 17. Os valores adotados na referida escala foram definidos quando da criação da ferramenta QFD e têm por objetivo evidenciar e valorizar os relacionamentos fortes, quando identificados (MIZUNO; AKAO, 1994; RIBEIRO et al., 2001).

Para tais indicadores, foram definidas ainda suas tendências, entre: quanto maior é melhor (símbolo ↑), quanto menor é melhor (símbolo ↓) ou quando o valor nominal é melhor

(símbolo \odot). Considerando a importância dos requisitos e as relações identificadas na Matriz da Qualidade, foi possível, então, calcular a importância relativa dos indicadores ambientais, bem como priorizá-los.

Figura 17 – Escala de intensidade de relações – Matriz da Qualidade

Pontuação	Relações
1	Relação fraca
3	Relação média
9	Relação forte

Fonte: Mizuno e Akao, 1994

3.3.2.3 Identificação de correlações entre os indicadores ambientais

A terceira etapa do trabalho realizou a identificação das correlações existentes entre os indicadores ambientais, considerando as duas abordagens, a partir da Matriz de Correlações. Assim, verificou-se a influência que um indicador exercia sobre os demais, fosse essa positiva ou negativa. Para tal verificação, utilizou-se uma matriz do tipo L (MOURA, 1994), a qual foi preenchida pela mesma equipe que elaborou a Matriz da Qualidade, entre os dias 14 e 16 de setembro de 2016. A análise de correlações entre os indicadores ambientais foi realizada par a par, de forma mútua, atribuindo-se os valores apresentados na figura 18. A realização dessa análise contribuiu para a identificação e a compreensão de objetivos conflitantes entre os indicadores, caracterizando o gerenciamento de *trade-offs* (MORRISON-SAUDERS; POPE, 2013) em projetos de infraestrutura urbana na esfera pública.

Figura 18 – Escala para identificação de correlações de indicadores ambientais

Pontuação	Correlações
-2	Correlação negativa forte
-1	Correlação negativa fraca
+1	Correlação positiva fraca
+2	Correlação positiva forte

Fonte: Ribeiro et al., 2001

Como finalização da etapa três, a fim de avaliar os resultados obtidos, os mesmos foram discutidos com representantes dos órgãos públicos e empresas mistas ou privadas, descritos anteriormente. Para tanto, inicialmente, selecionou-se, de forma randômica, uma coluna da Matriz da Qualidade (um indicador ambiental) e solicitou-se que o profissional estabelecesse as relações dessa com todos os requisitos ambientais (linhas da matriz). O mesmo procedimento foi realizado posteriormente com a Matriz das Correlações. Assim, havendo concordância entre a avaliação do especialista e a estabelecida pela equipe multidisciplinar, as

relações eram confirmadas; no caso de haver discordância, essas eram novamente discutidas com os profissionais da equipe.

3.3.2.4 Elaboração de sistemática para o gerenciamento de *trade-offs*

Na última etapa do trabalho, a partir da análise dos *trade-offs* identificados, realizou-se a proposição de uma sistemática para o seu gerenciamento, no contexto de projetos de infraestrutura urbana menos impactantes ambientalmente, focados na redução da geração de RCC. A sistemática elaborada é constituída por: (i) diretrizes para o processo decisório em gerenciamento de *trade-offs*; e (ii) operacionalização desse gerenciamento. As diretrizes foram baseadas em pesquisa bibliográfica de boas práticas, no gerenciamento de *trade-offs*, para o desenvolvimento de projetos e de produtos mais ambientalmente sustentáveis. Essas buscaram, essencialmente, o equilíbrio das decisões técnicas e gerenciais, entre a redução dos impactos ocasionados e a melhoria da qualidade de obras públicas de infraestrutura urbana. Por sua vez, a operacionalização para o gerenciamento dos *trade-offs* é apresentada na forma de uma planilha, composta por cinco análises comparativas sequenciais, a serem realizadas entre os objetivos conflitantes encontrados. A sistemática proposta, como um todo, incluindo diretrizes e operacionalização, também foi elaborada para aplicação de forma sequencial.

3.4 Resultados e Discussões

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos a partir das etapas de trabalho, bem como as discussões a eles relacionadas.

3.4.1 Identificação e priorização de requisitos ambientais

Foram identificados, no total, 48 requisitos ambientais, associados a projetos de infraestrutura urbana; os quais foram organizados em uma estrutura hierárquica de três níveis: primário, secundário e terciário. Tais requisitos formaram seis grupos de afinidade no nível secundário; sendo esses divididos em dois níveis primários, que correspondem às abordagens de estudo.

Tendo em vista as premissas relacionadas ao QFD, apresentadas por Ribeiro et al. (2001), verifica-se que houve equilíbrio entre a quantidade de itens nos agrupamentos realizados. Assim, a figura 19 apresenta a Árvore Lógica dos requisitos ambientais identificados, bem como seus agrupamentos por níveis.

Figura 19 – Árvore Lógica dos requisitos ambientais

Nível Primário	Nível Secundário	Nível Terciário
Questões Ambientais Técnicas de Projeto	Definição do Conceito de Projeto	Otimização da ocupação do terreno
		Racionalização do volume entre solo escavado e solo de empréstimo
		Flexibilidade para futuras adaptações de uso (mudança de uso)
		Fácil reconfiguração para expansão a longo prazo (mesmo uso)
		Priorização de soluções de projeto de fácil execução
		Conhecimento adequado dos requisitos de projeto
		Boa comunicação entre equipe de projeto e analistas ambientais
		Estabelecimento de metas claras de redução da geração de RCC
	Desenvolvimento do Detalhamento de Projeto	Boa compatibilização nas interfaces entre projetos
		Bom detalhamento das especificações técnicas e dos componentes de projeto
		Precisão na quantificação de materiais
		Completo atendimento das demandas do Programa de Necessidades
		Conhecimento dos índices de perdas dos materiais empregados
		Planejamento adequado do canteiro de obras
		Clara definição das ações relacionadas aos resíduos, no PGRCC
	Especificação de Materiais e de Técnicas Construtivas	Consideração do custo do ciclo de vida dos materiais na sua especificação
		Emprego de materiais e técnicas construtivas padronizados e racionalizados
		Maior emprego de materiais reciclados e de reuso
		Uso de técnicas construtivas e de materiais menos impactantes ambientalmente, com menor necessidade de ações mitigatórias
		Menor emprego de materiais com conteúdo tóxico
		Facilidade de reaproveitamento dos materiais e componentes
Modularização adequada dos sistemas (para produção e para manutenção)		
Emprego de materiais de boa qualidade e duráveis		
Racionalização da especificação de materiais, considerando a distância entre a sua origem e a obra		
Questões Ambientais de Gerenciamento	Gestão do Detalhamento de Projeto	Registro documental adequado dos critérios e das decisões de projeto
		Maior integração dos profissionais no desenvolvimento do projeto
		Bom fluxo de informações entre a equipe de projeto e de execução
		Poucas mudanças de projeto após a licitação
		Bom acompanhamento do cronograma de projeto
		Acompanhamento adequado das metas de desempenho do projeto
		Maior conscientização ambiental da equipe de projeto
		Maior capacitação da equipe para emprego de soluções ambientalmente adequadas
	Gestão da Execução do Projeto	Maior reaproveitamento dos materiais na própria obra
		Controle de execução das ações previstas no PGRCC
		Segregação adequada dos resíduos no canteiro de obra
		Total acompanhamento das etapas de execução potencialmente geradoras de RCC
		Controle da execução de acordo com as definições de projeto
		Monitoramento da implantação do canteiro de obras conforme projeto
		Perda mínima associada ao fluxo de materiais no canteiro
	Gestão do Tempo e de Desperdícios	Capacitação técnica da equipe de execução compatível com o projeto
		Redução de desperdício de água durante a construção
		Redução de desperdício de energia elétrica durante a construção
		Redução de desperdício de insumos na etapa de construção
		Menor produção de defeitos e retrabalhos
		Racionalização da destinação de RCC (perigoso ou não), considerando a distância entre a obra e o destino final ambientalmente adequado
Aumento de eficácia na etapa de projeto		
Aumento de eficácia na etapa de construção		
Cumprimento do prazo de execução		

Fonte: elaborado pelas autoras

A partir de então, com a aplicação do questionário quantitativo, foram obtidas as importâncias relativas dos itens de nível secundário (grupos) e dos requisitos ambientais (IDi), os quais compunham o nível terciário. As importâncias relativas, para cada um dos grupos foram de:

- 19,13 para definição do conceito de projeto;
- 17,05 para desenvolvimento do detalhamento do projeto;
- 13,82 para especificação de materiais e de técnicas construtivas;
- 19,51 para gestão do detalhamento do projeto;
- 16,10 para gestão da execução do projeto;
- 14,39 para gestão do tempo e de desperdícios.

Segundo a ferramenta QFD, de Ribeiro et al. (2001), a priorização dos requisitos deve ser corrigida por fatores de competitividade (Mi) e de estratégia (Ei), a partir dos quais é obtido o índice IDi*. Contudo, neste trabalho, as análises para os índices de correção não foram desenvolvidas, visto que o mesmo se propõe a tratar as priorizações, não de forma particular para cada projeto ou organização, mas sim refletindo a realidade de projetos públicos de infraestrutura urbana no Brasil como um todo. A figura 20 apresenta a priorização dos requisitos ambientais, em ordem decrescente de importância.

A análise de priorização foi desenvolvida observando a concentração de requisitos de mesmo grupo em determinadas posições. Assim, verificou-se que os dez requisitos prioritários pertenciam a dois grupos: 'gestão do detalhamento do projeto' (com quatro requisitos) e 'definição do conceito do projeto' (com seis requisitos). Sendo que a quase totalidade desses dois grupos se concentraram ainda entre as 20 primeiras posições. Ademais, em tais posições, foram identificados requisitos dos grupos 'desenvolvimento do detalhamento do projeto' e 'gestão da execução do projeto'. Os requisitos relacionados aos grupos 'especificação de materiais e de técnicas construtivas' e 'gestão do tempo e de desperdícios' ficaram alocados entre as últimas 15 posições. Isso se deve, principalmente, ao fato de os dois grupos terem recebido menores valores no cálculo de importâncias relativas.

Figura 20 – Priorização dos requisitos ambientais

Grupos	Requisitos ambientais	ID _i
GP	Bom fluxo de informações entre a equipe de projeto e de execução	2,68
GP	Maior integração dos profissionais no desenvolvimento do projeto	2,63
GP	Maior capacitação da equipe de projeto para soluções ambientalmente adequadas	2,63
CP	Conhecimento adequado dos requisitos de projeto	2,58
CP	Boa comunicação entre equipe de projeto e analistas ambientais	2,55
GP	Maior conscientização ambiental da equipe de projeto	2,51
CP	Racionalização do volume entre solo escavado e solo de empréstimo	2,47
CP	Fácil reconfiguração para expansão a longo prazo (mesmo uso)	2,42
CP	Estabelecimento de metas claras de redução da geração de RCC	2,42
CP	Flexibilidade para futuras adaptações de uso (mudança de uso)	2,41
GP	Registro documental adequado dos critérios e das decisões de projeto	2,30
GP	Acompanhamento adequado das metas de desempenho do projeto	2,30
DP	Boa compatibilização nas interfaces entre projetos	2,26
GP	Poucas mudanças de projeto após a licitação	2,25
DP	Bom detalhamento das especificações técnicas e dos componentes de projeto	2,24
GP	Bom acompanhamento do cronograma de projeto	2,21
CP	Priorização de soluções de projeto de fácil execução	2,20
DP	Clara definição das ações relacionadas aos resíduos, no PGRCC	2,19
GE	Capacitação técnica da equipe de execução compatível com o projeto	2,15
GE	Segregação adequada dos resíduos no canteiro de obra	2,14
DP	Precisão na quantificação de materiais	2,12
DP	Completo atendimento das demandas do Programa de Necessidades	2,10
CP	Otimização da ocupação do terreno	2,07
DP	Planejamento adequado do canteiro de obras	2,07
DP	Consideração do custo do ciclo de vida dos materiais na sua especificação	2,06
GE	Controle da execução de acordo com as definições de projeto	2,05
GE	Controle de execução das ações previstas no PGRCC	2,03
GE	Maior reaproveitamento dos materiais na própria obra	2,01
DP	Conhecimento dos índices de perdas dos materiais empregados	1,99
GT	Menor produção de defeitos e retrabalhos	1,98
GE	Total acompanhamento das etapas de execução potencialmente geradoras de RCC	1,93
GE	Perda mínima associada ao fluxo de materiais no canteiro	1,93
GT	Redução de desperdício de energia elétrica durante a construção	1,88
GE	Monitoramento da implantação do canteiro de obras conforme projeto	1,86
GT	Redução de desperdício de insumos na etapa de construção	1,86
EP	Emprego de materiais de boa qualidade e duráveis	1,85
GT	Racionalização da destinação de RCC (distância obra-destino final)	1,79
GT	Redução de desperdício de água durante a construção	1,78
EP	Menor emprego de materiais com conteúdo tóxico	1,77
EP	Emprego de materiais e técnicas construtivas padronizados e racionalizados	1,76
EP	Modularização adequada dos sistemas	1,76
GT	Aumento de eficácia na etapa de construção	1,75
EP	Uso de técnicas construtivas e de materiais menos impactantes ambientalmente	1,74
GT	Cumprimento do prazo de execução	1,72
EP	Facilidade de reaproveitamento dos materiais e componentes	1,68
EP	Racionalização da especificação de materiais (distância origem-obra)	1,66
GT	Aumento de eficácia na etapa de projeto	1,64
EP	Maior emprego de materiais reciclados e de reuso	1,62

CP Definição do Conceito do Projeto
DP Desenvolvimento do Detalhamento de Projeto
EP Especificação de materiais e de técnicas construtivas
GE Gestão da Execução do Projeto
GP Gestão do Detalhamento do Projeto
GT Gestão do Tempo e de Desperdícios

Fonte: elaborado pelas autoras

3.4.2 Identificação e priorização dos indicadores ambientais

A identificação dos indicadores ambientais foi realizada a partir da tradução técnica dos requisitos; de forma a proporcionar a medição ao atendimento desses. A figura 21 apresenta os indicadores ambientais, relacionados a cada requisito ambiental; bem como sua unidade de medida. Tendo em vista a complexidade dos fatores envolvidos em determinados requisitos, ressalta-se que os indicadores aqui apresentados não se constituem como as únicas formas de mensuração, podendo ser identificadas possibilidades diferentes, dependendo do cenário.

Figura 21 – Indicadores ambientais

Requisitos ambientais	Indicadores ambientais	
Otimização da ocupação do terreno	Área de interferência no terreno (área modificada)	m ²
Racionalização do volume entre solo escavado e solo de empréstimo	Relação entre volume de solo de escavação e solo de empréstimo	%
Flexibilidade para futuras adaptações de uso (mudança de uso)	Porcentagem de investimento necessário para adaptações/valor total da obra	%
Fácil reconfiguração para expansão a longo prazo (mesmo uso)	Área de reserva do entorno/Área construída	-
Priorização de soluções de projeto de fácil execução	m ² de retrabalho gerado por complexidade técnica/m ² construído	-
Conhecimento adequado dos requisitos de projeto	Horas dedicadas para apresentação das demandas de projeto à equipe	h
Boa comunicação entre equipe de projeto e analistas ambientais	Frequência de reuniões entre projetistas e analistas ambientais	h/semana
Estabelecimento de metas claras de redução da geração de RCC	Percentual de cumprimento da meta de redução da geração de RCC	%
Boa compatibilização nas interfaces entre projetos	Percentual de área de interface entre projetos compatibilizada (quantidade de interfaces compatibilizadas/total de interfaces existentes)	%
Bom detalhamento das especificações técnicas e dos componentes de projeto	Quantidade de detalhamentos de pontos críticos de projeto/área total	n ^o /m ²
Precisão na quantificação de materiais	Percentagem de desvios na quantificação de materiais classe A na Curva ABC	%
Completo atendimento das demandas do Programa de Necessidades	Percentual de atendimento, no <i>checklist</i> , das demandas do Programa de Necessidades	%
Conhecimento dos índices de perdas dos materiais empregados	Percentagem de índices de perdas conhecidos pelo projetista/número total de tipos de materiais empregados	%
Planejamento adequado do canteiro de obras	Avaliação do <i>layout</i> de canteiro em escala de 1 a 4	1-4
Clara definição das ações relacionadas aos resíduos, no PGRCC	Percentagem de ações definidas no PGRCC em relação à tabela de especificação de resíduos da obra	%
Consideração do custo do ciclo de vida dos materiais na sua especificação	Percentagem de tipos de insumo que passaram por análise de custo do ciclo de vida na especificação	%
Emprego de materiais e técnicas construtivas padronizados e racionalizados	Percentagem de soluções técnicas padronizadas e racionalizadas/total de técnicas empregadas em cada disciplina de projeto	%
Maior emprego de materiais reciclados e de reuso	Volume de material reciclado ou de reuso empregado/volume total de resíduos gerados	-
Uso de técnicas construtivas e de materiais menos impactantes ambientalmente, com menor necessidade de ações mitigatórias	Emissão de gases do efeito estufa (avaliada através de ACV)	kg.Co ₂ eq
Menor emprego de materiais com conteúdo tóxico	Concentração média de compostos orgânicos voláteis nos materiais	mg/m ³
Facilidade de reaproveitamento dos materiais e componentes	Volume de materiais reaproveitados na obra/volume de materiais segregados por classe ou subclasse	%
Modularização adequada dos sistemas (para produção e para manutenção)	Volume de sobras de material de corte na produção ou em manutenção	m ³
Emprego de materiais de boa qualidade e duráveis	Vida útil média dos materiais, de acordo com a legislação ou garantia do fabricante	anos
Racionalização da especificação de materiais, considerando a distância entre a sua origem e a obra	Distância de transporte fornecedor-obra	km
Registro documental adequado dos critérios e das decisões de projeto	Nº de NCs referentes à falta de registro documental de critérios e decisões de projetos/projeto	n ^o /projeto
Maior integração dos profissionais no desenvolvimento do projeto	Quantidade de horas de reunião para integração de projeto/semana	h/semana
Bom fluxo de informações entre a equipe de projeto e de execução	Frequência de reuniões entre a equipe de projeto e de execução	h/semana
Poucas mudanças de projeto após a licitação	Nº de mudanças de projeto após o início do processo licitatório/projeto	n ^o /projeto
Bom acompanhamento do cronograma de projeto	Percentagem de atividades de projeto concluídas de acordo com o cronograma estabelecido	%
Acompanhamento adequado das metas de desempenho do projeto	Quantidade de medições das metas de desempenho do projeto após o prazo/projeto	n ^o /projeto
Maior conscientização ambiental da equipe de projeto	Homem-hora de treinamentos ambientais com a equipe de projeto/semestre	homem-hora
Maior capacitação da equipe de projeto para emprego de soluções ambientalmente adequadas	Nº de técnicas ambientalmente adequadas empregadas/total de técnicas ambientalmente adequadas possíveis de serem empregadas	n ^o
Maior reaproveitamento dos materiais na própria obra	Volume de resíduos reaproveitados/volume total de resíduos gerados	%
Controle de execução das ações previstas no PGRCC	Percentagem de ações do PGRCC executadas conforme especificado	%
Segregação adequada dos resíduos no canteiro de obra	Volume de resíduos segregados inadequadamente/volume total de resíduos na classe ou subclasse considerada	%
Total acompanhamento das etapas de execução potencialmente geradoras de RCC	Relação entre o volume de resíduos gerados e o volume de resíduos previsto para a atividade de execução	-
Controle da execução de acordo com as definições de projeto	Nº de alterações realizadas entre o Projeto Executivo e o <i>As Built</i> /projeto	n ^o /projeto
Monitoramento da implantação do canteiro de obras conforme projeto	Nº de alterações entre o layout de canteiro executado e o previsto em projeto	n ^o
Perda mínima associada ao fluxo de materiais no canteiro	Volume de resíduos gerados associados ao fluxo de materiais	m ³
Capacitação técnica da equipe de execução compatível com o projeto	Homem-hora de capacitação da mão de obra de execução/projeto	homem-hora
Redução de desperdício de água durante a construção	Consumo mensal de água observado/consumo mensal previsto	%
Redução de desperdício de energia elétrica durante a construção	Consumo mensal de energia elétrica observado/consumo mensal previsto	%
Redução de desperdício de insumos na etapa de construção	Volume de resíduos gerados por etapa do cronograma executivo	m ³ /etapa
Menor produção de defeitos e retrabalhos	(m ² de retrabalho (mão de obra) + m ² de retrabalho (mud.projeto))/m ² construído	-
Racionalização da destinação de RCC (perigoso ou não), considerando a distância entre a obra e o destino final ambientalmente adequado	Distância média de transporte obra-destinação final adequada/projeto	km
Aumento de eficácia na etapa de projeto	Nº de mudanças de projeto antes do início do processo licitatório/projeto	n ^o /projeto
Aumento de eficácia na etapa de construção	Horas despendidas para correção de falhas por etapa de execução	h/etapa
Cumprimento do prazo de execução	Percentual de desvios no prazo de execução em relação ao previsto no cronograma físico-financeiro	%

Fonte: elaborado pelas autoras

Da mesma forma, para que os indicadores ambientais possam expressar adequadamente o grau de atendimento dos requisitos, é fundamental que haja um planejamento bem estruturado, tanto para o gerenciamento das etapas de desenvolvimento dos projetos, como para a execução das obras. Isso se deve ao fato de que a qualidade das informações obtidas com a coleta de dados é dependente do nível de planejamento existente (VAN BELLEN, 2006).

Em se tratando do monitoramento dos indicadores ambientais, deve ser considerada, especialmente, a influência que os fatores de mão de obra exercem sobre a qualidade de projetos e de obras públicas. Isso porque, no referido cenário, as contratações são realizadas por meio de licitações; as quais julgam as propostas, principalmente, através do critério de menor preço para o serviço prestado. Dessa forma, a consideração dos fatores de mão de obra é de grande importância, uma vez que, geralmente, implicam em acréscimo de variabilidade, tanto às atividades de projeto quanto às atividades de execução, incluindo questões técnicas e de gerenciamento.

Tendo em vista que a variabilidade é inerente ao processo, fazem-se necessárias medidas compensatórias para o monitoramento dos indicadores adotados. Dentre essas, pode-se considerar o levantamento de resultados positivos de metas de minimização de RCCs, obtidos em projetos previamente executados, adotando-se, assim, padrões iguais ou superiores de exigências nos futuros editais de contratação. Outra medida recomendada é a obrigatoriedade de que os projetos de infraestrutura contratados sejam desenvolvidos em consonância com certificações ambientais (Alta Qualidade Ambiental – AQUA, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, LEED, entre outras); assim como as empresas executoras possuam certificações de sistemas de gestão da qualidade (como *International Organization for Standardization* – ISO ou Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H).

De forma a ser obtida a importância de cada um dos indicadores, inicialmente, foi desdobrada a Matriz da Qualidade (Apêndice C) do QFD; a qual relaciona cada um dos indicadores aos requisitos ambientais. Essa matriz apresentou um grande número de relações fortes identificadas (49,1% do total de relações estabelecidas), demonstrando, assim, que diferentes indicadores são determinantes na obtenção de empreendimentos menos impactantes ambientalmente, a partir da redução da geração de RCC. Dentre os indicadores mais impactantes, pode-se considerar o de ‘número de mudanças de projeto após o início do processo licitatório/projeto’, sendo esse o que apresentou maior número de relações fortes, com um total de 27 dos 48 requisitos existentes. Por sua vez, o indicador que apresentou o

maior número de relações (fortes, médias e fracas) foi o de ‘volume de resíduos gerados por etapa do cronograma executivo’, com 47 relações identificadas. Os dois indicadores destacados pertencem à abordagem Ambiental de Gerenciamento, reforçando, assim, a importância dessa no atendimento aos objetivos de projeto estabelecidos.

Para a abordagem Ambiental Técnica de Projeto, o indicador ‘percentual de cumprimento da meta de redução da geração de RCC’ foi o que apresentou maior número de relações fortes (26 relações), sendo também um dos três indicadores com maior número de relações estabelecidas (46 relações). Dessa forma, tal indicador pode ser considerado como de grande importância na fase de elaboração dos projetos de infraestrutura urbana. Ainda nessa abordagem, outros dois indicadores apresentaram 46 relações estabelecidas com os requisitos: ‘quantidade de detalhamentos de pontos críticos de projeto/área total’ e ‘frequência de reuniões entre projetistas e analistas ambientais’.

Com os dados de importâncias relativas dos requisitos ambientais (ID_i) e das relações entre esses e os indicadores ambientais (DQ_{ij}), foram obtidas as suas importâncias relativas (IQ_j); as quais, pelos mesmos motivos apresentados na priorização de requisitos, não foram corrigidas pelos fatores de competitividade e de estratégia. A priorização dos indicadores ambientais foi realizada com base em dois tipos de classificação: (i) natureza proativa ou reativa de seus conceitos; e (ii) etapa de projeto com que se relacionavam. As figuras 22 a 24 apresentam as priorizações dos indicadores ambientais, de acordo com cada classificação.

Em relação à sua natureza (figuras 22 e 23), 23 indicadores foram classificados como proativos e 25 indicadores como reativos. Nessa classificação, foi ainda considerada a abordagem a que o indicador pertencia, sendo verificado que um maior número de indicadores proativos pertencia à abordagem Ambiental Técnica de Projeto (74%), assim como os indicadores reativos, em sua maioria, pertenciam à abordagem Ambiental de Gerenciamento (72%). Isso se deve ao fato de os indicadores proativos serem advindos, principalmente, de requisitos ligados às fases de elaboração dos projetos, desde a escolha do terreno até as definições finais; sendo essas realizadas anteriormente à execução das obras, prevenindo, assim, o impacto dos RCCs na fonte geradora. Os demais indicadores, classificados como reativos, estão associados mais diretamente ao controle das atividades, sendo responsáveis por seu monitoramento, com base em decisões projetuais já estabelecidas. Esses indicadores, embora atuem na correção de ações previamente realizadas, são fundamentais para o adequado monitoramento do processo como um todo, visto que estão presentes tanto nas fases de concepção do projeto, quanto de execução das obras. Essa

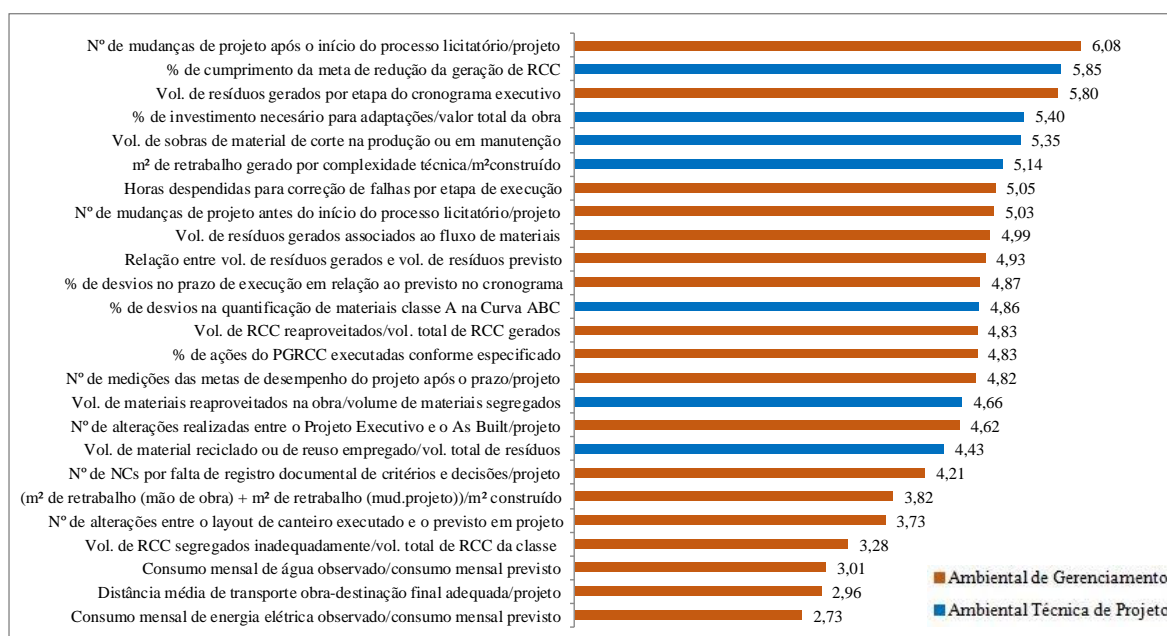
afirmação é corroborada pelo fato de que, para o caso estudado, a natureza reativa incluiu seis dos dez primeiros indicadores priorizados.

Figura 22 – Priorização de indicadores ambientais – natureza proativa



Fonte: elaborado pelas autoras

Figura 23 – Priorização de indicadores ambientais – natureza reativa



Fonte: elaborado pelas autoras

Dentre todos os indicadores relacionados, o de ‘número de mudanças de projeto após o início do processo licitatório/projeto’ ocupou a primeira posição de priorização. Mesmo que esteja

associado à natureza reativa, esse indicador reflete, de forma integrada, os resultados de esforços empenhados em todas as fases de desenvolvimento do projeto até a sua execução, considerando, assim, diversas ações proativas realizadas. Logo, pode ser considerado como um marco de avaliação da qualidade dos projetos, em relação à futura geração de RCC; uma vez que, caso o indicador apresente resultados positivos, expressará o atendimento a diversos requisitos ambientais, refletindo, assim, eficiência no gerenciamento desses requisitos.

Na classificação por etapas de projeto, buscou-se identificar a relação entre essas etapas (incluindo a fase de execução) e os dados necessários para a mensuração de cada um dos indicadores ambientais. Assim, no caso de um indicador estar relacionado a duas etapas, entende-se que os dados referentes às decisões desse período são fundamentais para que ocorra a sua medição de forma adequada. Além da priorização por importância relativa, realizou-se, de forma empírica, a distribuição percentual desse valor entre as etapas a que os indicadores estão associados; evidenciando as etapas mais relevantes para os resultados de cada indicador, conforme apresentado na figura 24.

A partir dessa distribuição, observou-se que, em média, cada indicador está relacionado a duas etapas de projeto e que, dentre os 48 indicadores ambientais, 23 apresentam relação também com a fase de execução das obras. Em se tratando apenas das etapas de projeto, cinco indicadores foram relacionados a uma única etapa; enquanto que quatro indicadores foram associados à totalidade dessas, sendo considerados, portanto, como de grande importância para o monitoramento das atividades de projeto. Dos quatro indicadores destacados, o de 'número de medições das metas de desempenho do projeto após o prazo/projeto' possui natureza reativa, ao passo que os outros três possuem natureza proativa: quantidade de horas de reunião para integração de projeto/semana; frequência de reuniões entre projetistas e analistas ambientais; e percentual de atividades de projeto concluídas de acordo com o cronograma. Dentre as etapas consideradas, verifica-se ainda que há um maior número de indicadores ambientais associados ao projeto básico (31 indicadores) e ao projeto executivo (36 indicadores); estando essas etapas relacionadas, ainda, aos cinco indicadores ambientais de maior importância relativa.

Figura 24 – Priorização de indicadores ambientais – etapas de projeto



Fonte: elaborado pelas autoras

3.4.3 Correlações entre os indicadores ambientais

Na terceira etapa do trabalho, foi verificada a existência de possíveis correlações entre os indicadores ambientais das duas abordagens, apresentadas na matriz do Apêndice D. Das correlações identificadas, 24 apresentaram-se como negativas fracas e 19 como negativas fortes. As correlações positivas não foram detalhadas, uma vez que potencializam os resultados esperados dos indicadores ambientais. Por outro lado, as correlações negativas incorrem na necessidade de gerenciamento de *trade-offs*, visto que o adequado desempenho

de um indicador influencia negativamente no desempenho de outros, evidenciando, assim, os objetivos conflitantes.

Nos *trade-offs* identificados, verificou-se a existência de uma similaridade em termos de causa fundamental, a qual está associada ao aumento da incerteza nos processos de tomada de decisão em projetos de infraestrutura urbana. Essa incerteza pode ser ilustrada a partir de dois exemplos dentre os conflitos apresentados. No caso de atendimento ao indicador ambiental ‘percentual de investimento necessário para adaptações/valor total da obra’, cuja tendência é de quanto menor é melhor, ocorre um impacto negativo no indicador ambiental ‘número de mudanças de projeto após o início do processo licitatório/projeto’, igualmente com tendência de menor é melhor. Isso ocorre em face de que, se o custo de adaptação for relativamente baixo em relação à solução de projeto prevista, aumenta-se a probabilidade de ocorrerem mudanças no projeto, favorecendo a cultura do improvisado na fase de execução; a qual se apresenta como uma das principais barreiras para a melhoria da qualidade em obras públicas. Por outro lado, o atendimento ao primeiro indicador é de grande importância, seja para adaptações realmente necessárias durante as obras, ou para o caso de futuras intervenções na infraestrutura existente (longo prazo).

O segundo exemplo de *trade-off* envolve os indicadores ‘volume de material reciclado ou de reuso empregado/volume total de resíduos gerados’ e ‘número de alterações realizadas entre o Projeto Executivo e o *As Built*/projeto’. O conflito, nesse caso, caracteriza-se em função da potencialização das incertezas em especificações técnicas e, conseqüentemente, da necessidade de alterações de projeto, provocada pelo incentivo ao emprego de materiais reciclados ou de reuso. Isso se justifica pelo histórico de prazos extensos entre projeto e execução no setor público; dessa forma, materiais e componentes considerados em condições de serem reaproveitados, na fase de projeto, podem não estar em condições adequadas de utilização quando da execução.

Assim, tendo em vista a complexidade dos fatores a serem considerados nesse cenário, a próxima seção apresenta uma sistemática para o gerenciamento de *trade-offs*, como apoio à tomada de decisão em projetos de infraestrutura urbana com foco na minimização da geração de resíduos.

3.4.4 Sistemática para gerenciamento dos *trade-offs*

A sistemática para o gerenciamento de *trade-offs* foi elaborada em duas fases principais. A primeira contém 13 diretrizes, divididas em três grupos, as quais têm origem em boas práticas

da literatura para o gerenciamento de *trade-offs*, em projetos menos impactantes ambientalmente. A aplicação dessas diretrizes deve ser realizada de maneira sequencial; para o gerenciamento de quaisquer *trade-offs* presentes no desenvolvimento de produtos com foco em sustentabilidade ambiental.

A segunda fase da sistemática é composta por cinco análises comparativas sequenciais, entre os indicadores ambientais de objetivos conflitantes, realizadas para cada um dos *trade-offs* identificados. Essas análises compõem uma planilha, com as informações dos *trade-offs* analisados, a qual possibilita evidenciar a seleção do objetivo a ser atendido, bem como documentar a justificativa dessa escolha. A figura 25 apresenta a composição da sistemática elaborada para o gerenciamento de *trade-offs*.

Figura 25 – Composição da sistemática para gerenciamento de *trade-offs*



Fonte: elaborado pelas autoras

3.4.4.1 Diretrizes para o processo decisório em gerenciamento de *trade-offs*

Durante a elaboração da lista de diretrizes, identificou-se, na literatura para o gerenciamento de *trade-offs* em projetos mais sustentáveis, uma recomendação básica recorrente. Essa recomendação é composta por três premissas: (i) estabelecimento de requisitos claros a serem atendidos; (ii) priorização desses requisitos por métodos específicos (MCDA, sistemas matriciais, entre outros); e (iii) acompanhamento de seu desempenho através de indicadores (GIBSON, 2006; MORRISON-SAUDERS; POPE; 2013; NIELSEN et al., 2016). Considerando o atendimento a essas premissas, o qual é fundamental para o adequado gerenciamento de *trade-offs*, no desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana menos impactantes, foram listados três grupos de diretrizes (figura 26): decisões iniciais, aspectos aceitáveis e negociáveis e suporte ao processo decisório.

Figura 26 – Diretrizes para gerenciamento de *trade-offs*

GRUPO	DIRETRIZ		REFERÊNCIA
1. DECISÕES INICIAIS	1.1	Nas decisões iniciais, deve ser privilegiado o objetivo fundamental do projeto	Morrison-Saunders e Pope, 2013
	1.2	Antes da proposição de intervenção, deve ser avaliado o potencial de uso do local em relação ao projeto, de forma a minimizar a ocorrência de <i>trade-offs</i> complexos	Bartke e Schwarze, 2015
	1.3	O gerenciamento de <i>trade-offs</i> em um projeto deve ocorrer de maneira sistêmica e não isoladamente uma a uma	Morrison-Saunders e Pope, 2013
	1.4	Dentre dois objetivos conflitantes, deve ser privilegiado aquele que não transfere potenciais impactos ambientais negativos para o futuro	Gibson, 2006
	1.5	As decisões iniciais devem considerar a opinião dos diferentes atores envolvidos no processo	Gibson, 2006
2. ASPECTOS ACEITÁVEIS E NEGOCIÁVEIS	2.1	Inicialmente, devem ser definidos aspectos inaceitáveis do projeto e, a partir desses, estabelecido o grau de flexibilidade a mudanças	Morrison-Saunders e Pope, 2013
	2.2	Devem ser definidos os <i>offsets</i> - aspectos do projeto considerados negociáveis, dentre os inaceitáveis	Morrison-Saunders e Pope, 2013
	2.3	A seleção de alternativas deve ser realizada dentro dos limites estabelecidos para aspectos aceitáveis e negociáveis	Morrison-Saunders e Pope, 2013
3. SUPORTE AO PROCESSO DECISÓRIO	3.1	É premissa mandatária o atendimento aos requisitos mínimos de normas e de legislação	Byggeth e Hochschorner, 2006; Morrison-Saunders e Pope, 2013
	3.2	Todas as decisões devem estar alinhadas aos objetivos estratégicos da organização	Byggeth e Hochschorner, 2006
	3.3	As decisões, <i>nos trade-offs</i> de projeto, devem ser orientadas pelos resultados esperados, previamente definidos no programa de necessidades	Morrison-Saunders e Pope, 2013
	3.4	As decisões devem ser baseadas na minimização ou na acomodação da variabilidade do processo, a qual dificilmente poderá ser eliminada	Gibson, 2006
	3.5	O adequado desempenho do projeto deve ser priorizado em detrimento da adoção de soluções de menor impacto ambiental	Morrison-Saunders e Pope, 2013

Fonte: elaborado pelos autores

As diretrizes do primeiro grupo orientam as decisões iniciais do gerenciamento de *trade-offs*, uma vez que essas são a base das demais análises a serem realizadas. Dessa forma, as soluções específicas são definidas, de forma hierárquica, a partir de conceitos estabelecidos nas decisões iniciais (MORRISON-SAUNDERS; POPE, 2013). Por isso, torna-se fundamental que certas reflexões projetuais ocorram previamente ao processo decisório. Um exemplo da importância dessas decisões é apresentado pela diretriz 1.2, na qual a avaliação de uso do terreno pode resultar na realocação do empreendimento ou mesmo em sua não realização. A diretriz 1.4, por sua vez, previne a transferência de impactos ambientais para o futuro, obtendo ganhos para o empreendimento em longo prazo e evitando que as avaliações de sustentabilidade realizadas sejam superficiais ou limitadas ao cenário atual.

O segundo grupo de diretrizes aborda uma recomendação apresentada por Morrison-Saunders e Pope (2013), para análise de sistemas sustentáveis. Essa recomendação versa sobre a delimitação de aspectos não-aceitáveis, em definições de projeto, os quais são passíveis de negociação durante o gerenciamento de *trade-offs*. Como por exemplo, um projeto que especifica a preservação absoluta de espécies nativas existentes no terreno, pode inviabilizar a

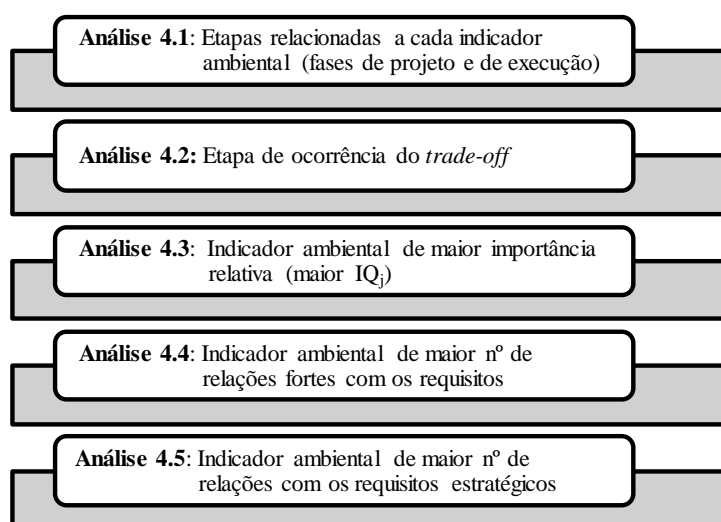
implantação e a execução do empreendimento. Assim sendo, tal definição, inicialmente rígida, deve ser flexibilizada a partir da proposição de medidas de compensação, associadas à retirada de alguns poucos indivíduos. Para tanto, segundo a diretriz 2.3, a seleção de alternativas deve, necessariamente, restringir-se aos limites estabelecidos como aceitáveis e negociáveis, excluindo-se as opções situadas em áreas não-aceitáveis e não-negociáveis.

No grupo três, são tratados tópicos de suporte às diferentes fases do processo decisório, considerando tanto abordagens técnicas quanto gerenciais. A diretriz 3.2, por exemplo, enfatiza a importância de as escolhas técnicas estarem alinhadas às estratégias da organização; uma vez que o apoio de lideranças, nas questões ambientais, é fundamental para o alcance dos objetivos de projeto. Da mesma forma, a diretriz 3.5 ressalta que, embora as decisões de projeto possam ser orientadas para a sustentabilidade ambiental, essas não podem interferir negativamente no atendimento aos requisitos de desempenho do empreendimento. Isso se justifica, uma vez que o comprometimento desses requisitos pode acarretar em problemas ambientais de complexidade ainda maior no futuro.

3.4.4.2 Operacionalização do gerenciamento de *trade-offs*

Tendo como base as diretrizes propostas na primeira fase dessa sistemática, a segunda fase aborda a operacionalização do gerenciamento de *trade-offs*, a partir de cinco análises comparativas, em projetos de infraestrutura urbana com menor geração de RCC. Essas análises comparam, de forma sequencial, características dos indicadores ambientais conflitantes, par a par, conforme apresenta a figura 27.

Figura 27 – Análises comparativas para operacionalização do gerenciamento de *trade-offs*



Fonte: elaborado pelas autoras

As análises 4.1 e 4.2 apoiam o planejamento da elaboração dos projetos e da execução das obras; uma vez que identificam o marco temporal em que se darão os conflitos. Esse marco é definido não só para o período de ocorrência do *trade-off* (identificado na análise 4.2), mas também auxilia em um melhor planejamento das etapas prévias a esse (análise 4.1), contribuindo para uma transição fluida e otimizada de ações. Dessa forma, é possível estabelecer estratégias gerenciais para as etapas que necessitarão de maior atenção das equipes técnicas e dos decisores.





A comparação de importâncias relativas dos indicadores ambientais (análise 4.3), por sua vez, é parte essencial da seleção de objetivos a serem atendidos no gerenciamento de *trade-offs*. Isso porque esses dados refletem, de forma indireta, o peso das relações estabelecidas entre os indicadores e os requisitos ambientais (número e intensidade); sendo o atendimento desses requisitos o objetivo fundamental dos projetos a serem desenvolvidos. Para uma verificação mais detalhada dessas relações, foram propostas ainda as análises 4.4 e 4.5.

A análise 4.4 considera o relacionamento dos indicadores com a totalidade de requisitos ambientais identificados na Matriz da Qualidade (Apêndice C). Por outro lado, na análise 4.5, é avaliada a quantidade de relacionamentos entre os indicadores ambientais e os requisitos considerados estratégicos. A definição de quais e quantos requisitos serão selecionados fica a cargo da organização, de acordo com seu posicionamento estratégico. Para exemplificar as formas de seleção desses requisitos, são sugeridas quatro alternativas, quais sejam: (i) por ordem de priorização dos requisitos ambientais, conforme figura 20; (ii) de acordo com a definição de que abordagens e de que grupos deverão ser privilegiados estrategicamente; (iii) através da definição, por diferentes departamentos, de quantos requisitos podem ser atendidos, segundo a estrutura organizacional disponível; e (iv) através da definição de uma quantidade de requisitos estratégicos a serem privilegiados por grupo.

A fim de ilustrar a operacionalização do gerenciamento de *trade-offs*, as análises foram aplicadas a dez *trade-offs* identificados na Matriz de Correlações (Apêndice D). A seleção desses foi realizada de forma que os casos analisados refletissem os principais tipos de conflitos encontrados. Quanto à priorização dos requisitos estratégicos, adotou-se a alternativa (iv), considerando-se os dois primeiros requisitos de cada grupo. Assim, foram obtidos 12 requisitos estratégicos, originados nos seis grupos existentes. A figura 28 apresenta a operacionalização para os dez *trade-offs* selecionados.

Figura 28 – Operacionalização do gerenciamento de *trade-offs*

Trade-off	Etapas relacionadas aos indicadores					Etapas de ocorrência do <i>trade-off</i>	IQ _j	Nº de relações fortes com os requisitos (48 requisitos)	Nº de relações com requisitos estratégicos (12 requisitos)	Seleção (marcar com 'x')	Justificativa
	Prog. de Neces.	Est. de Viab.	Proj. Básico	Proj. Exec.	Execução						
1	Objetivo 1: Menor porcentagem de investimento necessário para adaptações/valor total da obra			✓		Projeto Básico	5,40	25	10		
	Objetivo 2: Menor nº de mudanças de projeto após o início do processo licitatório/projeto			✓		Projeto Básico	6,08	27	12		
2	Objetivo 1: Mais horas dedicadas para apresentação das demandas de projeto à equipe	✓				Programa de Necessidades	4,67	18	11		
	Objetivo 2: Maior porcentagem de atividades de projeto concluídas de acordo com o cronograma	✓				Programa de Necessidades	4,11	18	9		
3	Objetivo 1: Maior porcentagem de tipos de insumo que passaram por ACCV na especificação			✓	✓	Projeto Básico e Projeto Executivo	5,52	25	10		
	Objetivo 2: Maior porcentagem de atividades de projeto concluídas de acordo com o cronograma			✓	✓	Projeto Básico e Projeto Executivo	4,11	18	9		
4	Objetivo 1: Maior quantidade de detalhamentos de pontos críticos de projeto/área total			✓	✓	Projeto Básico e Projeto Executivo	5,75	24	11		
	Objetivo 2: Menor quantidade de medições das metas de desempenho do projeto após o prazo/projeto			✓	✓	Projeto Básico e Projeto Executivo	4,82	20	9		
5	Objetivo 1: Maior volume de material reciclado ou de reuso empregado/volume total de resíduos gerados				✓	Projeto Executivo e Fase de Execução	4,43	20	7		
	Objetivo 2: Maior volume de resíduos reaproveitados/volume total de resíduos gerados				✓	Projeto Executivo e Fase de Execução	4,83	21	11		
6	Objetivo 1: Maior volume de material reciclado ou de reuso empregado/volume total de resíduos gerados				✓	Projeto Executivo e Fase de Execução	4,43	21	7		
	Objetivo 2: Menor nº de alterações realizadas entre o Projeto Executivo e o <i>As Built</i> /projeto				✓	Projeto Executivo e Fase de Execução	4,62	19	9		
7	Objetivo 1: Maior área de reserva do entorno/área construída			✓		Projeto Básico	4,58	18	10		
	Objetivo 2: Menor (m ² de retrabalho (mão de obra) + n ² de retrabalho (mud.projeto))/m ² construído			✓		Projeto Básico	3,82	16	9		
8	Objetivo 1: Maior volume de materiais reaproveitados na obra/volume de materiais segregados			✓	✓	Projeto Básico, Projeto Executivo e Fase de Execução	4,66	20	8		
	Objetivo 2: Menor percentual de desvios no prazo de execução em relação ao previsto no cronograma			✓	✓	Projeto Básico, Projeto Executivo e Fase de Execução	4,87	20	12		
9	Objetivo 1: Menor porcentagem de investimento necessário para adaptações/valor total da obra					Transição: Projeto Básico e Projeto Executivo	5,40	25	10		
	Objetivo 2: Igualdade entre o volume de resíduos gerados e o volume de resíduos previsto					Transição: Projeto Básico e Projeto Executivo	4,93	21	11		
10	Objetivo 1: Maior volume de material reciclado ou de reuso empregado/volume total de resíduos gerados			✓	✓	Projeto Básico e Projeto Executivo	4,43	21	7		
	Objetivo 2: Menor nº de mudanças de projeto antes do início do processo licitatório/projeto			✓	✓	Projeto Básico e Projeto Executivo	5,03	20	12		

LEGENDA			
	Etapas relacionadas aos indicadores se relacionam		Etapas de ocorrência do <i>trade-off</i>
	Ocorrência de <i>trade-off</i> em transição entre etapas		Valor selecionado (maior valor)

Fonte: elaborado pelas autoras

A análise 4.1 teve origem na figura 24, a qual permitiu destacar as etapas de projeto a que os indicadores ambientais estavam relacionados. Sequencialmente, a análise 4.2 identificou as etapas em comum entre os indicadores, caracterizando a ocorrência dos *trade-offs*. No *trade-off* nº 9, contudo, verificou-se que o conflito ocorreu na transição entre duas etapas (projeto básico e projeto executivo), ressaltando-se, assim, a importância do monitoramento da

transferência de informações entre as etapas, como também para as fases posteriores (contratação e execução).

Em alguns casos, foram identificados indicadores que se relacionavam também à fase de execução dos projetos, criando, assim, a necessidade de inclusão dessa etapa nas análises da figura 28. Isso se justifica, visto que os *trade-offs* podem se estender, como consequência de decisões da fase de projeto, até a realização das obras. Dessa forma, considera-se que o gerenciamento dos *trade-offs* deve se dar de forma integrada, no mínimo, até a entrega final do empreendimento.

A operacionalização proposta pretende tornar mais claro tanto a compreensão do momento de ocorrência dos *trade-offs* quanto do impacto de cada decisão sobre os objetivos de projeto. No entanto, a contribuição dessa etapa se dá tão somente com a estruturação e a orientação da sistemática para o gerenciamento de *trade-offs*, e não com o apontamento de uma solução para os conflitos encontrados. Assim, a coluna ‘seleção’, nos casos analisados, não foi preenchida; pois, mesmo que todos os valores apontem para o atendimento de um dos objetivos, o outro pode ser privilegiado durante o processo decisório, dependendo das características do projeto e da organização. Por isso, foi proposta, ainda, a coluna de ‘justificativa’, a qual possibilita a documentação adequada dos motivos que levaram à seleção, por parte dos decisores. A operacionalização do gerenciamento de *trade-offs* foi avaliada, de forma pontual, pelos especialistas participantes de etapas anteriores, a fim de que fossem realizados ajustes na sistemática, caso necessário. Contudo, não houve mudanças sugeridas, sendo destacadas, pelos avaliadores, clareza e objetividade na sua aplicação.

3.5 Considerações finais

Este estudo foi realizado com a finalidade de apoiar o processo de tomada de decisão, no desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana menos impactantes ambientalmente, a partir da redução da geração de RCC. Para tanto, foi proposto um método para o gerenciamento de requisitos ambientais e de *trade-offs*, com foco no cenário de obras públicas. Para sua estruturação, foi empregada a ferramenta QFD, em especial, com o desdobramento da Matriz da Qualidade. O referido método é composto por quatro etapas principais; sendo a última constituída pela sistemática para gerenciamento de *trade-offs*. A partir dos resultados obtidos, foi possível relacionar as principais contribuições do trabalho, conforme apresentado a seguir.

A primeira etapa, a qual identificou requisitos ambientais na fase de projeto, com foco na redução da geração de resíduos, é considerada como fundamental para orientação do processo decisório. Isso porque, no desenvolvimento de projetos de qualquer natureza, é mister, para o alcance dos objetivos estabelecidos, o atendimento aos requisitos identificados. Além disso, a priorização desses requisitos foi baseada na opinião de especialistas em projetos públicos de infraestrutura urbana; o que contribuiu para a compreensão de quais escolhas são mais impactantes no cenário de estudo. Assim sendo, verifica-se que a existência de métodos estruturados, que deem suporte e agilizem a tomada de decisão, desde o tratamento dos requisitos associados, é essencial e reduz a possibilidade de conflitos futuros.

Na etapa subsequente, a partir da identificação, na Matriz da Qualidade, dos relacionamentos entre os requisitos e os indicadores ambientais, observou-se uma importante contribuição para a gestão do conhecimento das organizações. Essa contribuição se deu em função da intensa socialização de conhecimento ocorrida entre os integrantes das equipes multidisciplinares, possibilitando, assim, que diferentes tópicos e pontos de vista pudessem ser debatidos. Os profissionais participantes dessa etapa relataram a obtenção de uma visão mais ampla dos processos, além da tomada de consciência acerca de níveis de importância distintos para uma mesma problemática.

A partir dos resultados da Matriz, verificou-se que dois indicadores ambientais se destacaram em função do número e da intensidade de relações estabelecidas com os requisitos: (i) número de mudanças de projeto após o início do processo licitatório por projeto; e (ii) volume de resíduos gerados por etapa do cronograma executivo. Ambos os indicadores pertenciam à abordagem Ambiental de Gerenciamento; logo, há evidências de que essa abordagem possa ser mais importante em relação à Ambiental Técnica de Projeto, embora as duas tenham recebido a mesma importância relativa no estudo.

Ainda nesta etapa, considera-se a contribuição através da priorização de importâncias dos indicadores ambientais por duas classificações adicionais à do QFD: (i) por proatividade ou reatividade; e (ii) por etapa de projeto a que os indicadores estavam relacionados. A agregação dessas duas classificações à análise dos resultados originais contribuiu para uma maior solidez do processo decisório, de diferentes maneiras.

Através da primeira classificação, foi possível identificar os indicadores ambientais de maior importância para a prevenção da geração de resíduos, os quais foram relacionados como proativos. Os indicadores assim classificados estavam associados diretamente a atividades anteriores à ocorrência de RCC; ao passo que os indicadores reativos monitoram as

consequências dessa geração. Logo, ainda que, na priorização geral, os indicadores mais importantes tenham sido classificados como reativos, entende-se que os proativos devam receber especial atenção, por parte dos decisores. Em complemento, a segunda classificação possibilitou a estimativa da importância dos indicadores para cada uma das etapas de projeto, de forma que essa distribuição apontasse os pontos críticos para seu monitoramento. Além disso, verificou-se que as etapas de ‘projeto básico’ e de ‘projeto executivo’ tiveram um maior número de indicadores relacionados. Destacando-se, assim, a importância de suas decisões para o adequado gerenciamento tanto de requisitos quanto de *trade-offs*; e, por consequência, para a redução da geração de RCC.

Na terceira etapa do método, a partir da análise dos *trade-offs* identificados, observou-se que esses estavam associados, principalmente, ao aumento da variabilidade e da incerteza nas atividades de projeto e de execução. Em muitos casos, esse aumento esteve atrelado à necessidade de reaproveitamento ou de reuso dos materiais; considerando o pressuposto de que a geração de RCC é inerente a toda obra, apesar dos mecanismos adotados para sua minimização. Logo, diversos *trade-offs* foram pautados pela necessidade de equilíbrio entre projetos de desempenho adequado e com menores impactos ambientais relacionados à geração de resíduos.

Como apoio à obtenção desse equilíbrio, a última etapa do trabalho propôs uma sistemática para o gerenciamento de *trade-offs* em projetos de infraestrutura urbana, a qual pode ser sobreposta ao processo de desenvolvimento desses projetos. A primeira parte da sistemática, composta por diretrizes, contribui com uma maior compreensão da influência das escolhas sobre o desempenho e sobre os impactos ambientais associados ao projeto. Assim, a partir da adoção dessas diretrizes, o contexto do empreendimento se torna mais claro e, conseqüentemente, as incertezas associadas ao processo decisório podem ser reduzidas, obtendo-se soluções técnicas e gerenciais otimizadas.

Por sua vez, a operacionalização do gerenciamento de *trade-offs* direciona as decisões para a compreensão do que é realmente importante, a partir da visão de valor dos envolvidos. Por isso, nos casos apresentados na figura 28, não foram selecionados quais objetivos deveriam ser atendidos; uma vez que essa decisão depende de diversos fatores, próprios das demandas do projeto e da estrutura da organização. Logo, a sistemática para o gerenciamento de *trade-offs* aqui apresentada não se constitui como um passo-a-passo para a obtenção de soluções prontas; mas sim como uma estrutura objetiva de suporte às análises necessárias no processo de tomada de decisão projetual.

Assim, tendo em vista o exposto, conclui-se que, no desenvolvimento de projetos baseados em aspectos de sustentabilidade, como o desta pesquisa, o adequado gerenciamento de requisitos ambientais e de *trade-offs* apresenta-se como de grande importância. Isso porque tais processos incentivam discussões tanto técnicas quanto gerenciais, as quais proporcionam a otimização das decisões, com foco nos objetivos estabelecidos. Ainda que o método proposto tenha sido desenvolvido para o cenário de projetos públicos, entende-se que o mesmo pode ser adaptado para projetos da iniciativa privada, seguindo-se a mesma lógica apresentada.

Como última análise, considera-se que este trabalho, apesar de sua aplicabilidade, apresenta limitações. Isso porque, embora a sistemática desenvolvida tenha sido avaliada positivamente por especialistas, sua aplicação se deu em análises pontuais e não em um cenário complexo de conjunto de *trade-offs*, pertencente a um projeto específico. Por outro lado, para fins do estudo, considerou-se a redução da geração de RCC como representativa de sustentabilidade ambiental; ainda que, para sua obtenção, seja fundamental a existência de outros importantes fatores e condicionantes. Da mesma forma, as correlações entre os indicadores ambientais foram identificadas somente entre as abordagens. Assim, recomenda-se que seja verificada também a existência de possíveis correlações dentro de cada abordagem.

Por fim, como sugestões a trabalhos futuros, podem ser considerados: (i) o emprego do método proposto em outros tipos de projeto; (ii) a análise de projetos de infraestrutura sob a ótica da teoria de sistemas complexos, identificando-se possíveis relações de causa e efeito entre as etapas projetuais e os indicadores propostos; (iii) a verificação das implicações decorrentes, no caso de existência de correlações entre indicadores de uma mesma abordagem; (iv) o desenvolvimento de um método para monitoramento dos impactos associados às decisões implantadas; (v) a quantificação da geração de RCC comparativamente entre projetos tradicionais de infraestrutura urbana e projetos desenvolvidos com a orientação do método proposto; e (vi) o desenvolvimento de um método para o gerenciamento de projetos de infraestrutura urbana que alie minimização de RCC a outros fatores de sustentabilidade ambiental.

Referências

ARENA, M.; CICERI, N.; TERZI, S.; BENGIO, I.; AZZONE, G.; GARETTI, M. A state-of-the-art of industrial sustainability: definitions, tools and metrics. **International Journal of Product Lifecycle Management**, v. 4, Issue 1, p. 207-251, 2009.

ARROYO, P.; TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. Comparing AHP and CBA as decision methods to resolve the choosing problem in detailed design. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, Issue 1, Jan. 2015.

BARTKE, S.; SCHWARZE, R. No perfect tools: trade-offs of sustainability principles and user requirements in designing support tools for land-use decisions between greenfields and brownfields. **Journal of Environmental Management**, v. 153, p. 11-24, 2015.

BIGOLIN, M.; DANILEVICZ, A. M. F.; SILVA FILHO, L. C. P. Sustainability requirements for concrete block elements based on recycled CDW: a case study for supporting social production in Southern Brazil. In: PORTLAND INTERNACIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY – PICMET, 25th, 2016, Honolulu. **Proceedings...** Honolulu: 2016. p. 2413-2419.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para assuntos jurídicos. **Lei n. 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm>. Acesso em: 22 maio 2016.

BUCHERT, T.; NEUGEBAUER, S.; SCHENKER, S.; LINDOW, K.; STARK, R. Multi-criteria decision making as a tool for sustainable product development: Benefits and obstacles. **Procedia CIRP**, v. 26, p. 70-75, 2015.

BYGGETH, S.; HOCHSCHORNER, E. Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 1420-1430, 2006.

CALLADO, A. L. C. **Modelo de mensuração de sustentabilidade empresarial: uma aplicação em vinícolas localizadas na Serra Gaúcha**. 2010. 216 f. Tese (Doutorado em Agronegócios) – Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CANTO-PERELLO, J.; MARTINEZ-GARCIA, M. P.; CURIEL-ESPARZA, J.; MARTIN-UTRILLAS, M. Implementing sustainability criteria for selecting a roof assembly typology in medium span buildings. **Sustainability**, v. 7, p. 6854-6871, 2015.

CERANIC, B.; LATHAM, D.; DEAN, A. Sustainable Design and Building Information Modelling: Case Study of Energy Plus House, Hieron's Wood, Derbyshire UK. **Energy Procedia**, v. 83, p. 434-443, 2015.

CHEN, L.; PAN, W. BIM-aided variable fuzzy multi-criteria decision making of Low-carbon Building measures selection. **Sustainable cities and society**, v.27, p. 222-232, 2016.

CHOW, J. F.; SAVIC, D.; FORTUNE, D.; KAPELAN, Z.; MEBRATE, N. Using a systematic, multi-criteria decision support framework to evaluate sustainable drainage designs. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 343-352, 2014.

CUADRADO, J.; ZUBIZARRETA, M.; ROJÍ, E.; GARCÍA, H.; LARRAURI, M. Sustainability-related decision making in industrial buildings: an AHP analysis. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2015, p. 1-13, 2015.

DIZDAROGLU, D. Developing micro-level urban ecosystem indicators for sustainability assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 54, p. 119-124, 2015.

ESIN, T.; COSGUN, N. A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey. **Building and Environment**, v. 42, Issue 4, p. 1667-1674, Apr. 2007.

FANTINATTI, P. A. P. **Abordagem MCDA como ferramenta de mudança de paradigma no planejamento dos recursos hídricos**. 2011. 400 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

FANTINATTI, P. A. P.; FERRÃO, A. M. A.; ZUFFO, A. C. **Indicadores de sustentabilidade em engenharia: Como desenvolver**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

GIBSON, R. B. Sustainability assessment basic components of a practical approach. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 24, Issue 3, p. 170-182, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HALLSTEDT, S. Sustainability criteria and sustainability compliance index for decision support in product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 251-266, 2017.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Washington, DC: World Resources Institute, 1995.

HARDI, P.; ZDAN, T. **Assessing sustainable development: principles in practice**. Winnipeg: IISD, 1997.

HIREMATH, R. B.; BALACHANDRA, P.; KUMAR, B.; BANSODE, S. S.; MURALI, J. Indicator-based urban sustainability: A review. **Energy for Sustainable Development**, v. 17, p. 555-563, 2013.

JABAREEN, Y. A new conceptual framework for sustainable development. **Environment, Development and Sustainability**, v. 10, Issue 2, p. 179-192, 2008.

KANG, H.; LEE, Y.; KIM, S. Sustainable building assessment tool for project decision makers and its development process. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 58, p. 34-47, 2016.

KHALILI, N. R.; DUECKER, S. Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 188-198, 2013.

LIMA, L. F. C.; JORGE, P. L. Sucessos e dificuldades na implantação de novos procedimentos no gerenciamento de obras públicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 7th, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1998, p. 693-700.

MORRISON-SAUNDERS, A.; POPE, J. Conceptualising and managing trade-offs in sustainability assessment. **Environmental Impact and Assessment Review**, v. 38, p. 54-63, 2013.

MOURA, E. **As sete ferramentas gerenciais da qualidade**: implementando a melhoria contínua com maior eficácia. São Paulo: McGraw-Hill, 1994.

McALOONE, T.; TAN, A. R. Sustainable product development through a life-cycle approach to product and service creation: An exploration of the extended responsibilities and possibilities for developers. **Proceedings of Eco-X Conference: Ecology and Economy in Electronix**. Vol. CD-ROM, p. 1-12, 2005.

MEDINECKIENE, M.; ZAVADSKAS, E. K.; BJÖK, F.; TURSKIS, Z. Multi-criteria decision-making system for sustainable building assessment/certification. **Archives of civil and mechanical engineering**, v. 15, p. 11-18, 2015.

MIZUNO, S.; AKAO, Y. **QFD**: the customer-driven approach to Quality Planning and Deployment. Tokyo: Asian Productivity Organization (APO), 1994.

NIELSEN, A. N.; JENSEN, R. L.; LARSEN, T. S.; NISSEN, S. B. Early stage decision support for sustainable building renovation: a review. **Building and Environment**, v. 103, p. 165-181, 2016.

PEGORARO, C. **Diretrizes para a gestão de requisitos no processo de projeto de ambientes construídos**: um estudo de caso com enfoque nos requisitos ambientais. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Transportes, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PEREZ, C. P. **Proposta e implementação de um plano de qualidade para obras públicas de pequeno porte**. 2011. 181 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 8, p. 365-381, 2004.

RACKES, A.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Naturally comfortable and sustainable: Informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates. **Applied Energy**, v. 174, p. 256-274, 2016.

RIBEIRO, J. L. D.; ECHEVESTE, M.; DANILEVICZ, A. M. F. **A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços**. Série Monográfica Qualidade. Fundação Empresa Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, Porto Alegre.

ROGMANS, T.; GHUNAIM, M. A framework for evaluating sustainability indicators in the real estate industry. **Ecological indicators**, v. 66, p. 603-611, 2016.

ROMANO, F. V. Modelo de referência para o gerenciamento do processo de projeto integrado de edificações. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 1, p. 23-46, 2006.

SAATY, T. L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, p. 234-281, 1977.

_____. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1991.

SALGADO, M. S. QFD – Quality Function Deployment: Ferramenta para planejamento da qualidade do projeto. In: DEL RIO, V. (Org.). **Arquitetura: Pesquisa e Projeto**. São Paulo: ProEditores – FAU/UFRJ, 1998.

SCHUCH, C. **Análise de indicadores voltados à tomada de decisão gerencial**: um comparativo entre a teoria e a prática. 2001. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Transportes, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SHAFAGHAT, A.; KEYVANFAR, A.; ABD.MAJID, M. Z.; LAMIT, H. B.; AHMAD, M. H.; FERWATI, M. S.; GHOSHAL, S. K. Methods for adaptive behaviors satisfaction assessment with energy efficient building design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 250-259, 2016.

SILVA, V. G. Indicadores de sustentabilidade de edifícios: estado da arte e desafios para desenvolvimento no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 1, p. 47-66, 2007.

SOLÍS-GUZMÁN, J.; MARRERO, M.; MONTES-DELGADO, M. V.; RAMÍREZ-DE-ARELLANO, A. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste management**, v. 29, Issue 9, p. 2542-2548, 2009.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. 2 ed, Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

VELEVA, V.; ELLENBECKER, M. Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, p. 519-549, 2001.

VUČIJAČ, B.; KURTAGIĆ, S. M.; SILAJDŽIĆ, I. Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario: a municipal case study from Bosnia and Herzegovina. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 166-174, 2016.

WILLIAMS, T. M. The need for new paradigms for complex projects. **International Journal of Project Management**, v. 17, Issue 5, p. 269-273, 1999.

WU, M. H.; NG, T. S.; SKITMORE, M. R. Sustainable building envelope design by considering energy cost and occupant satisfaction. **Energy for Sustainable Development**, v. 31, p. 118-129, 2016.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi desenvolvida a fim de contribuir com a obtenção de projetos de infraestrutura urbana menos impactantes ambientalmente, a partir da minimização da geração de RCC. Para tanto, foram propostos mecanismos de apoio à tomada de decisão projetual, os quais atuam de maneira complementar, com dois enfoques: um enquanto controle e avaliação, e o outro como uma estrutura de orientação. Esses mecanismos foram desenvolvidos com o intuito de possibilitar o alcance ao objetivo principal do estudo, podendo, nesse sentido, ser destacadas algumas considerações, conforme apresentado a seguir.

O desenvolvimento do Artigo 1 (Capítulo 2) teve como foco o atendimento ao primeiro objetivo específico do trabalho, com a identificação de boas práticas para a redução de RCC nos projetos de infraestrutura urbana. Para tal, o trabalho buscou uma maior compreensão da problemática da geração de resíduos nesses projetos, a fim de levantar os fatores determinantes para a produção de perdas em obras de infraestrutura urbana. De forma a contribuir com o conhecimento acerca desses fatores, foi realizado o levantamento das principais técnicas construtivas presentes nos sistemas oficiais de preços do Governo Federal (empregados em obras públicas). Essas foram então associadas às tipologias de projeto de infraestrutura urbana em que são aplicadas, a partir de uma matriz de relacionamento. A matriz desempenhou um importante papel no entendimento da origem da geração de RCC no cenário de estudo, visto que possibilitou uma visão mais detalhada da base de escolhas projetuais mais comumente empregadas. Além disso, auxiliou também na caracterização dos resíduos gerados durante a execução, pois esses são originários de sobras de materiais relacionados às técnicas construtivas utilizadas.

A partir do levantamento de resíduos gerados, por etapa de execução, e das escolhas projetuais empregadas nos projetos estudados, foi possível concluir a respeito de outros fatores de geração de RCC, que não os associados diretamente à especificação de materiais. No estudo, destacaram-se problemas relacionados à ausência de modulação de projeto, bem como aos planejamentos de implantação e de execução inadequados. Essas falhas resultaram em quantitativos expressivos de sobras de corte, restos de produção de técnicas moldadas *in loco*, além de elevados volumes de solo originados em movimentações de terra mal planejadas. Considerando tanto os impactos ambientais quanto os econômicos associados à última técnica construtiva citada, entende-se que a otimização das etapas de projeto que definem as intervenções de terreno é fundamental para a obtenção de empreendimentos com menor índice de geração de RCC.

Também foi possível verificar que as adequações de detalhamentos de projeto e de planejamento das instalações provisórias de canteiro são estratégias importantes para a minimização de resíduos. Nesse contexto, a partir dos projetos analisados, observaram-se falhas recorrentes no controle das etapas de desmobilização de obras. E, sendo as instalações provisórias de canteiro constituídas, em sua maioria, por materiais de conteúdo tóxico e pouco reaproveitáveis, as possibilidades de descarte inadequado dessas estruturas aumentam. Por outro lado, a falta de detalhamento nos projetos de canteiro pode ocasionar, dentre outros problemas, em perdas importantes por fluxo inadequado de materiais. Essa razão, inclusive, foi destacada, por especialistas, como a sétima mais importante, entre as 15 citadas, para a geração de RCC em obras. Outra conclusão obtida pelo estudo está relacionada à identificação de relação direta entre a qualidade do planejamento do canteiro de obras, considerando as estruturas previstas, e a redução na geração de resíduos observada.

Por fim, a pesquisa identificou uma lista de 33 boas práticas para a redução de RCC, na fase de projeto, em empreendimentos de infraestrutura urbana. Essas boas práticas contemplam os temas de projeto e de gestão, uma vez que tanto as atividades técnicas desenvolvidas quanto a condução do processo de projeto desempenham papel importante para o alcance da racionalização desejada. As boas práticas também deram origem a dois instrumentos de controle e avaliação de projetos, na forma de *checklists*, para cada um dos temas. Os *checklists* se constituem como mecanismos de apoio à tomada de decisão, visto que possibilitam a avaliação da qualidade dos projetos analisados, permitindo que haja flexibilidade em sua aplicação. Isso porque esses documentos podem ser empregados considerando os itens que melhor se aplicam ao contexto e às características do projeto de infraestrutura urbana a ser desenvolvido.

O segundo artigo (Capítulo 3) buscou atender ao objetivo específico de proposição de um método para gerenciamento de requisitos ambientais e de *trade-offs*, existentes nos projetos de infraestrutura urbana menos impactantes, a partir da minimização de RCC. A motivação para tal surgiu da lacuna associada à carência de métodos quantitativos de suporte à tomada de decisão para essa natureza de projetos.

Assim sendo, uma das principais contribuições do Artigo 2 está relacionada à identificação e priorização de requisitos ambientais a serem atendidos pelos projetos de infraestrutura urbana. Esses requisitos foram obtidos a partir das boas práticas identificadas anteriormente e priorizados com base em importâncias relativas atribuídas por especialistas da área, atuantes em órgãos públicos, empresas privadas e empresas de economia mista. A partir de então, foi

possível compreender as principais demandas a serem atendidas por esses empreendimentos, considerando suas importâncias para condução das estratégias projetuais.

A obtenção dos indicadores ambientais, associados a cada requisito, permitiu estabelecer um sistema de monitoramento das consequências das escolhas realizadas, mantendo o foco dos projetos sobre seus objetivos, em todas as etapas de desenvolvimento. No entanto, é importante ressaltar que, de forma a auxiliar a gestão de projetos e de obras na prática, há a necessidade de uma análise de integração desses indicadores, ainda que seja considerada eventual redução de seus significados. A partir da identificação das relações existentes entre requisitos e indicadores ambientais, esses puderam ser priorizados em três diferentes classificações; fornecendo, assim, subsídios mais consistentes ao processo de tomada de decisão.

A primeira classificação foi originada na priorização direta do QFD, enquanto que a segunda esteve relacionada à natureza das ações projetuais dos indicadores, dividindo-se entre proativa e reativa. A classificação proativa foi associada aos indicadores ambientais que desempenham importante papel na prevenção da geração de RCC. A terceira classificação, por etapa de projeto, destacou os pontos críticos para o adequado monitoramento dos indicadores ambientais. Por conseguinte, a partir dessa classificação, puderam ser evidenciadas as etapas com um maior número de indicadores ambientais relacionados, as quais demandam um melhor planejamento de suas atividades, quais sejam: projeto básico e projeto executivo. Assim, as decisões associadas a essas etapas foram consideradas como as de maior relevância para o adequado gerenciamento de requisitos ambientais e, por consequência, dos *trade-offs* que possam ocorrer, ou mesmo, ser evitados.

A partir dos *trade-offs* identificados, foi possível concluir que esses possuem uma relação bidirecional de causa-e-efeito entre as incertezas de projeto e a variabilidade de execução das obras. Tais relações foram observadas, por exemplo, em *trade-offs* que consideraram a necessidade de reaproveitamento ou de reuso de materiais, a qual é desencadeada pela geração de RCC, inerente às obras na construção civil, em maior ou menor grau. Por consequência, é possível afirmar que o adequado gerenciamento de *trade-offs* pode proporcionar o equilíbrio entre desempenho satisfatório de empreendimentos e menores impactos ambientais associados.

Assim sendo, o estudo propôs, como parte do método elaborado, uma sistemática específica para esse gerenciamento. A sistemática para gerenciamento de *trade-offs* se constituiu como um suporte às análises necessárias, realizadas durante o desenvolvimento dos projetos de

infraestrutura urbana. Para tanto, buscou apoiar tanto decisões técnicas quanto gerenciais, desdobrando-se em diretrizes e em atividades para sua operacionalização. A partir das diretrizes, a sistemática contribuiu com uma maior compreensão, por parte dos decisores, da influência de suas escolhas sobre o desempenho futuro do empreendimento, bem como sobre os impactos ambientais desencadeados por essas escolhas. Por sua vez, a operacionalização proposta agregou a orientação das escolhas sobre o que é mais importante, no cenário avaliado, além de ter permitido a rastreabilidade das decisões tomadas, a partir de sua documentação, colaborando com a criação de um banco de dados para os projetos futuros.

Dessa forma, é possível conferir maior objetividade e efetividade ao desenvolvimento dos projetos de infraestrutura urbana, por meio de uma estrutura de apoio à tomada de decisão, a qual se baseia na visão de valor dos diferentes envolvidos nesse processo. Destarte, o método proposto, que tem seu início em demandas ambientais e se desdobra até o gerenciamento de *trade-offs* existentes, vem a contribuir com o adequado planejamento das etapas relacionadas, tanto aos projetos quanto à execução dos empreendimentos. Essa conclusão ratifica a relevância do estudo e responde à lacuna de pesquisa referente às deficiências de planejamento em projetos de infraestrutura urbana, as quais são consideradas como uma das principais causas do baixo desempenho desses empreendimentos no Brasil.

Assim sendo, a partir do estudo desenvolvido, é possível concluir que muitos são os fatores que influenciam a redução da geração de RCC em projetos de infraestrutura urbana, tornando complexas as avaliações de efetividade das estratégias projetuais adotadas. No entanto, considera-se que a adoção de mecanismos adequados, para condução das decisões na fase de projeto, pode ser determinante para a efetiva minimização de RCC.

Nesse sentido, tendo em vista o caráter colaborativo e multidisciplinar dos mecanismos aqui propostos, entende-se que é possível sua inclusão na rotina de desenvolvimento de projetos de infraestrutura urbana; visto que atuam de forma complementar, resguardando as etapas projetuais tradicionais. A partir do emprego de tais mecanismos, promove-se ainda um incentivo às discussões de possíveis alternativas, entre equipes de projeto e gestores, contribuindo com a efetiva compatibilização dos projetos, bem como com a obtenção de empreendimentos menos impactantes ambientalmente.

Considerando as oportunidades para o desenvolvimento de trabalhos futuros, sugere-se a incorporação, seja no mecanismo desenvolvido ou em mecanismos complementares, de outras abordagens, tais como Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), *Green Infrastructure* (GI), entre outras. Podem ser recomendados ainda: (i) o emprego do método desenvolvido em outros

tipos de projetos; (ii) a análise de projetos de infraestrutura e a geração de RCC, sob a ótica da teoria de sistemas complexos; (iii) o desenvolvimento de um método para avaliação dos impactos ambientais relacionados à geração de RCC; e (iv) a elaboração de um método para o gerenciamento de projetos de infraestrutura urbana que alie minimização de RCC a outros fatores de sustentabilidade ambiental, econômica e social, como a abordagem *Social Accountability*. Por fim, sugere-se a quantificação comparativa, associada à geração de RCC, entre projetos de infraestrutura urbana que consideram o emprego do método proposto e outros desenvolvidos sem a sua aplicação.

REFERÊNCIAS

ABELE, E.; ANDERL, R.; BIRKHOFFER, H. G. **Environmentally-friendly product development: methods and tools**. London: Springer, 2005.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2015.

AJAYI, S. O.; OYEDELE, L. O.; AKINADE, O. O.; BILAL, M.; OWOLABI, H. A.; ALAKA, H. A.; KADIRI, K. O. Reducing waste to landfill: A need for cultural change in the UK construction industry. **Building Engineering**, v. 5, p. 185-193, Jan. 2016.

AL-HAJJ, A.; HAMANI, K. Material Waste in the UAE construction industry: main causes and minimization practices. **Architectural engineering and design management**, v. 7, Issue 4, p. 221-235, Nov. 2011.

ALBUQUERQUE, A. E. C. **Uma avaliação comparativa entre os métodos *design-build* e o *design-bid-build* para redução de problemas entre projeto e construção de obras públicas brasileiras**. 2012. 191 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

ALWAN, Z.; JONES, P.; HOLGATE, P. Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 349-358, 2017.

ANDERSON, J. E.; WULFHORST, G.; LANG, W. Expanding the use of life-cycle assessment to capture induced impacts in the built environment. **Building and environment**, v. 94, p. 403-416, 2015.

ARAÚJO, E. R. **Princípio da economicidade**. 2011. Disponível em: <<http://www.direitolegal.org/artigos/principio-da-economicidade/>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

ARENA, M.; CICERI, N.; TERZI, S.; BENGIO, I.; AZZONE, G.; GARETTI, M. A state-of-the-art of industrial sustainability: definitions, tools and metrics. **International Journal of Product Lifecycle Management**, v. 4, Issue 1, p. 207-251, 2009.

ARROYO, P.; TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. Comparing AHP and CBA as decision methods to resolve the choosing problem in detailed design. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, Issue 1, Jan. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

BÁEZ, A. G.; SÁEZ, P. V.; MERINO, M. R.; NAVARRO, J. G. Methodology for quantification of waste generated in Spanish railway construction works. **Waste management**, v. 32, p. 920-924, 2012.

BARTKE, S.; SCHWARZE, R. No perfect tools: trade-offs of sustainability principles and user requirements in designing support tools for land-use decisions between greenfields and brownfields. **Journal of Environmental Management**, v. 153, p. 11-24, 2015.

BEGUM, R. A.; SIWAR, C.; PEREIRA, J. J.; JAAFAR, A. H. Implementation of waste management and minimisation in the construction industry of Malaysia. **Resources, conservation and recycling**, v. 51, p. 190-202, 2007.

BIGOLIN, M.; DANILEVICZ, A. M. F.; SILVA FILHO, L. C. P. Sustainability requirements for concrete block elements based on recycled CDW: a case study for supporting social production in Southern Brazil. In: PORTLAND INTERNACIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY – PICMET, 25th, 2016, Honolulu. **Proceedings...** Honolulu: 2016. p. 2413-2419.

BLENGINI, G. A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. **Building and Environment**, v. 44, p. 319-330, 2009.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa n. 1**, de 19 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. Disponível em: < <http://www.comprasnet.gov.br/legislacao/legislacaoDetalhe.asp?ctdCod=295>>. Acesso em: 01 out. 2016.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para assuntos jurídicos. **Lei n. 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm>. Acesso em: 22 maio 2016.

BUCHERT, T.; NEUGEBAUER, S.; SCHENKER, S.; LINDOW, K.; STARK, R. Multi-criteria decision making as a tool for sustainable product development: Benefits and obstacles. **Procedia CIRP**, v. 26, p. 70-75, 2015.

BYGGETH, S.; HOCHSCHORNER, E. Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 1420-1430, 2006.

CALLADO, A. L. C. **Modelo de mensuração de sustentabilidade empresarial**: uma aplicação em vinícolas localizadas na Serra Gaúcha. 2010. 216 f. Tese (Doutorado em

Agronegócios) – Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CANTO-PERELLO, J.; MARTINEZ-GARCIA, M. P.; CURIEL-ESPARZA, J.; MARTIN-UTRILLAS, M. Implementing sustainability criteria for selecting a roof assembly typology in medium span buildings. **Sustainability**, v. 7, p. 6854-6871, 2015.

CERANIC, B.; LATHAM, D.; DEAN, A. Sustainable Design and Building Information Modelling: Case Study of Energy Plus House, Hieron's Wood, Derbyshire UK. **Energy Procedia**, v. 83, p. 434-443, 2015.

CHENG, J. C. P.; MA, L. Y. H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste management**, v. 33, p. 1539-1551, 2013.

CHEN, L.; PAN, W. BIM-aided variable fuzzy multi-criteria decision making of Low-carbon Building measures selection. **Sustainable cities and society**, v.27, p. 222-232, 2016.

CHOW, J. F.; SAVIC, D.; FORTUNE, D.; KAPELAN, Z.; MEBRATE, N. Using a systematic, multi-criteria decision support framework to evaluate sustainable drainage designs. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 343-352, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção civil. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

CUADRADO, J.; ZUBIZARRETA, M.; ROJÍ, E.; GARCÍA, H.; LARRAURI, M. Sustainability-related decision making in industrial buildings: an AHP analysis. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2015, p. 1-13, 2015.

DEMUZERE, M.; ORRU, K.; HEIDRICH, O.; OLAZABAL, E.; GENELETTI, D.; ORRU, H.; BHAVE, A. G.; MITTAL, N.; FELIU, E.; FAEHNLE, M. Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. **Journal of Environmental Management**, v. 146, p. 107-115, 2014.

DERKZEN, M. L.; TEEFFELEN, A. J. A. van; VERBURG, P. H. Green infrastructure for urban climate adaptation: How do residents' views on climate impacts and green infrastructure shape adaptation preferences? **Landscape and Urban Planning**, v. 157, p. 106-130, 2017.

DIZDAROGLU, D. Developing micro-level urban ecosystem indicators for sustainability assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 54, p. 119-124, 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EKANAYAKE, L. L.; OFORI, G. Building waste assessment score: design-based tool. **Building and Environment**, v. 39, Issue 7, p. 851-861, July 2004.

ESIN, T.; COSGUN, N. A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey. **Building and Environment**, v. 42, Issue 4, p. 1667-1674, Apr. 2007.

ETGES, B. M. B. S. **Protocolo de auditoria do uso de práticas da construção enxuta**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Transportes, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FANTINATTI, P. A. P. **Abordagem MCDA como ferramenta de mudança de paradigma no planejamento dos recursos hídricos**. 2011. 400 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

FANTINATTI, P. A. P.; FERRÃO, A. M. A.; ZUFFO, A. C. **Indicadores de sustentabilidade em engenharia: Como desenvolver**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

FORMOSO, C. T.; SOIBELMAN, L.; CESARE, C.; ISATTO, E. L. Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. **Journal of construction engineering and management**, v. 128, Issue 4, p. 316-325, Jul. 2002.

GHOSH, S.; BHATTACHARJEE, S.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GANAPATHY, R. A case study to examine environmental benefits of Lean Construction. In: 22nd ANNUAL CONFERENCE OF INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION, p. 133-144, 2014. **Proceedings...** Disponível em: < <http://iglc.net/Papers/Details/966>>. Acesso em: 31 jan 2016.

GIBSON, R. B. Sustainability assessment basic components of a practical approach. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 24, Issue 3, p. 170-182, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HALLSTEDT, S. Sustainability criteria and sustainability compliance index for decision support in product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 251-266, 2017.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Washington, DC: World Resources Institute, 1995.

HARDI, P.; ZDAN, T. **Assessing sustainable development: principles in practice**. Winnipeg: IISD, 1997.

HASSAN, S. H.; AZIZ, H. A.; ADLAN, M. N.; JOHARI, I. The causes of waste generated in Malaysian housing construction sites using site observations and interviews. **International Journal of Environment and waste management**, v. 15, Issue 4, p. 295-308, Jun. 2015.

HIREMATH, R. B.; BALACHANDRA, P.; KUMAR, B.; BANSODE, S. S.; MURALI, J. Indicator-based urban sustainability: A review. **Energy for Sustainable Development**, v. 17, p. 555-563, 2013.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Fifty Assessment Report of Climate Change**. Cambridge, UK, 2014.

JABAREEN, Y. A new conceptual framework for sustainable development. **Environment, Development and Sustainability**, v. 10, Issue 2, p. 179-192, 2008.

JAILLON, L.; POON, C. S.; CHIANG, Y. H. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. **Waste management**, v. 29, p. 309-320, 2009.

JALLOW, A. K.; DEMIAN, P.; BALDWIN, A. N.; ANUMBA, C. An empirical study of the complexity of requirements management in construction projects. **Engineering Construction and Architectural Management**, v. 21, n. 5, p. 505-531, 2014.

JAYASOORIYA, V. M.; NG, A. W. M.; MUTHUKUMARAN, S.; PERERA, B. J. C. Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. **Urban Forestry & urban Greening**, v. 21, p. 34-47, 2017.

JENSEN, P. A. Inclusive briefing and user involvement: case study of a media center in Denmark. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 7, n. 1, p. 38-49, 2011.

JIA, Z.; TANG, S.; LUO, W.; LI, S.; ZHOU, M. Small scale green infrastructure design to meet different urban hydrological criteria. **Journal of Environmental Management**, v. 171, p. 92-100, 2016.

KAEBERNICK, H.; KARA, S.; SUN, M. Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 19, Issue 6, p. 461-468, 2003.

KAMARA, J. M.; ANUMBA, C. J.; EVBUOMWAN, N. F. O. Client requirements processing in construction: a new approach using QFD. **Journal of Architectural Engineering**, v. 5, p. 8-15, 1999.

KANG, H.; LEE, Y.; KIM, S. Sustainable building assessment tool for project decision makers and its development process. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 58, p. 34-47, 2016.

KATZ, A.; BAUM, H. A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites. **Waste management**, v. 31, p. 353-358, 2011.

KHALILI, N. R.; DUECKER, S. Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 188-198, 2013.

KULATUNGA, U.; AMARATUNGA, D.; HAIGH, R.; RAMEEZDEEN, R. Attitudes and perceptions of construction workforce on construction waste in Sri Lanka. **Management of environmental quality: an international journal**, v. 17, p. 57-72, 2006.

LI, J.; TAM, V. W. Y.; ZUO, J.; ZHU, J. Designer's attitude and behavior toward construction waste minimization by design: A study in Shenzhen, China. **Resources, conservation and recycling**, v. 105, p. 29-35, 2015.

LI, M.; YANG, J. Critical factors for waste management in office building retrofit projects in Australia. **Resources, conservation and recycling**, v. 93, p. 85-98, 2014.

LIMA, L. F. C.; JORGE, P. L. Sucessos e dificuldades na implantação de novos procedimentos no gerenciamento de obras públicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE

TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 7th, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1998, p. 693-700.

LINGARD, H.; GRAHAM, P.; SMITHERS, G. Employee perceptions of the solid waste management system operating in a large Australian contracting organization: implications for company policy implementation. **Construction management and economics**, v. 18, Issue 4, p. 383-393, 2000.

LIU, Z.; OSMANI, M.; DEMIAN, P.; BALDWIN, A. A BIM-aided construction waste minimisation framework. **Automation in Construction**, v. 59, p. 1-23, 2015.

LLATAS, C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste management**, v. 31, p. 1261-1276, 2011.

LU, W.; YUAN, H. A framework for understanding waste management studies in construction. **Waste management**, v. 31, Issue 6, p. 1252-1260, June 2011.

MÁLIA, M. A. B. **Indicadores de resíduos de construção e demolição**. 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

MARHANI, M. A.; JAAPAR, A.; BARI, N. A. A. Lean Construction: Towards enhancing sustainable construction in Malaysia. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 68, p. 87-98, 2012.

MARHANI, M. A.; JAAPAR, A.; BARI, N. A. A.; ZAWAWI, M. Sustainability through Lean Construction Approach: A literature review. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 101, p. 90-99, 2013.

MARZOUK, M.; AZAB, S. Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics. **Resources, conservation and recycling**, v. 82, p. 41-49, 2014.

McALOONE, T.; TAN, A. R. Sustainable product development through a life-cycle approach to product and service creation: An exploration of the extended responsibilities and possibilities for developers. **Proceedings of Eco-X Conference: Ecology and Economy in Electronix**. Vol. CD-ROM, p. 1-12, 2005.

McDONALD, R. I.; WEBER, K.; PADOWSKI, J.; FLÖRKE, M.; SCHNEIDER, C.; GREEN, P. A.; GLEESON, T.; ECKMAN, S.; LEHNER, B.; BALK, D.; BOUCHER, T.; GRILL, G.; MONTGOMERY, M. Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. **Global Environmental Change**, v. 27, p. 96-105, 2014.

MEDINECKIENE, M.; ZAVADSKAS, E. K.; BJÖK, F.; TURSKIS, Z. Multi-criteria decision-making system for sustainable building assessment/certification. **Archives of civil and mechanical engineering**, v. 15, p. 11-18, 2015.

MEEROW, S.; NEWELL, J. P. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. **Landscape and Urban Planning**, v. 159, p. 62-75, 2017.

MENDLER, S.; ODELL, W.; LAZARUS, M. A. **The HOK guidebook to sustainable design**. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.

MIZUNO, S.; AKAO, Y. **QFD**: the customer-driven approach to Quality Planning and Deployment. Tokyo: Asian Productivity Organization (APO), 1994.

MORRISON-SAUNDERS, A.; POPE, J. Conceptualising and managing trade-offs in sustainability assessment. **Environmental Impact and Assessment Review**, v. 38, p. 54-63, 2013.

MOURA, E. **As sete ferramentas gerenciais da qualidade**: implementando a melhoria contínua com maior eficácia. São Paulo: McGraw-Hill, 1994.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NAHMENS, I. From Lean to Green construction: a natural extension. In.: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, p. 1058-10678, 2009. **Proceedings...** Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/41020%28339%29107>>. Acesso em: 25 out 2015.

NAUMANN, S. DAVIS, M.; KAPHENGST, T.; PIETERSE, M.; RAYMENT, M. **Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects**. Final Report Brussels, European Commission, 2011.

NIELSEN, A. N.; JENSEN, R. L.; LARSEN, T. S.; NISSEN, S. B. Early stage decision support for sustainable building renovation: a review. **Building and Environment**, v. 103, p. 165-181, 2016.

OLIVEIRA, O. J.; MELHADO, S. B. O papel do projeto em empreendimentos públicos: dificuldades e possibilidades em relação à qualidade. In: WORKSHOP NACIONAL DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIO, p. 2-3, 2002. **Anais...** Porto Alegre: PUCRS, 2002. Disponível em: <<http://www.eesc.usp.br/sap/projetar/files/A017.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2016.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and building materials**, v. 23, p. 28-39, 2009.

ORSE – ORÇAMENTO DE OBRAS DE SERGIPE. **Pesquisa de Especificações**. [Aracaju], 2016. Disponível em: <<http://187.17.2.135/orse/especificacoes.asp>>. Acesso em: 25 jan. 2016.

OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. D. F. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. **Waste management**, v. 28, p. 1147-1158, 2008.

PAKZAD, P.; OSMOND, P. Developing a sustainability indicator set for measuring green infrastructure performance. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 216, p. 68-79, 2016.

PEGORARO, C. **Diretrizes para a gestão de requisitos no processo de projeto de ambientes construídos**: um estudo de caso com enfoque nos requisitos ambientais. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Transportes, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PEGORARO, C.; SAURIN, T. A.; PAULA, I. C. de. Gestão de requisitos na construção civil: um estudo de caso focado nos requisitos ambientais de um projeto urbanístico. **Produção**, v. 23, n. 2, p. 345-363, 2013.

PEREZ, C. P. **Proposta e implementação de um plano de qualidade para obras públicas de pequeno porte**. 2011. 181 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PHAIR, J. W. Green chemistry for sustainable cement production and use. **Green chemistry**, v. 8, p. 763-780, 2006.

POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 8, p. 365-381, 2004.

POON, C. S.; YU, A. T. W.; WONG, S. W.; CHEUNG, E. Management of construction waste in public housing projects in Hong Kong. **Construction Management and Economics**, v. 22, Issue 7, p. 675-689, 2004.

RACKES, A.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Naturally comfortable and sustainable: Informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates. **Applied Energy**, v. 174, p. 256-274, 2016.

RIBEIRO, J. L. D.; ECHEVESTE, M.; DANILEVICZ, A. M. F. **A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços**. Série Monográfica Qualidade. Fundação Empresa Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, Porto Alegre.

ROGMANS, T.; GHUNAIM, M. A framework for evaluating sustainability indicators in the real estate industry. **Ecological indicators**, v. 66, p. 603-611, 2016.

ROMANO, F. V. Modelo de referência para o gerenciamento do processo de projeto integrado de edificações. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 1, p. 23-46, 2006.

SAATY, T. L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, p. 234-281, 1977.

_____. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1991.

SAEZ, P. V.; MERINO, M. de R.; GONZÁLEZ, A. S.; PORRAS-AMORES, C. Best practice measures assessment for construction and demolition waste management in building constructions. **Resources, conservation and recycling**, v. 75, p. 52-62, 2013.

SALEM, O.; SOLOMON, J.; GENAIDY, A.; LUEGRING, M. Site implementation and assessment of Lean Construction Techniques. **Lean Construction Journal**, v. 2, p. 1-21, Oct. 2005.

SALGADO, M. S. QFD – Quality Function Deployment: Ferramenta para planejamento da qualidade do projeto. In: DEL RIO, V. (Org.). **Arquitetura: Pesquisa e Projeto**. São Paulo: ProEditores – FAU/UFRJ, 1998.

SAURIN, T. A. **Método para diagnóstico e diretrizes para planejamento de canteiros de obra de edificações**. 1997. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SCHUCH, C. **Análise de indicadores voltados à tomada de decisão gerencial: um comparativo entre a teoria e a prática**. 2001. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Transportes, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SEAP – SECRETARIA DE ESTADO DA ADMINISTRAÇÃO E DO PATRIMÔNIO. **Manual de Obras Públicas – Edificações: Obras da SEAP**. Brasília, 2014.

SERRA-LLOBET, A.; HERMIDA, M. A. Opportunities for green infrastructure under Ecuador's new legal framework. **Landscape and Urban Planning**, v. 159, p. 1-4, 2017.

SHAFAGHAT, A.; KEYVANFAR, A.; ABD.MAJID, M. Z.; LAMIT, H. B.; AHMAD, M. H.; FERWATI, M. S.; GHOSHAL, S. K. Methods for adaptive behaviors satisfaction assessment with energy efficient building design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 250-259, 2016.

SHEN, L. Y.; TAM, V. W. Y. Implementation of environmental management in the Hong Kong construction industry. **International Journal of Project Management**, v. 20, p. 535-543, 2002.

SILVA, V. G. Indicadores de sustentabilidade de edifícios: estado da arte e desafios para desenvolvimento no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 1, p. 47-66, 2007.

SINAPI – SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Composições**. [S.l.], 2016. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx#categoria_556>. Acesso em: 25 jan. 2016.

SINGHAPUTTANGKUL, N.; LOW, S. P.; TEO, A. L.; HWANG, B. Knowledge-based Decision Support System Quality Function Deployment (KBDSS-QFD) tool for assessment of building envelopes. **Automation in Construction**, v. 35, p. 314-328, 2013.

SOLÍS-GUZMÁN, J.; MARRERO, M.; MONTES-DELGADO, M. V.; RAMÍREZ-DE-ARELLANO, A. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste management**, v. 29, Issue 9, p. 2542-2548, 2009.

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M.; ZENG, S. X.; NG, W. C. Y. Towards adoption of prefabrication in construction. **Building and Environment**, v. 42, Issue 10, p. 3542-3654, 2007.

TCPO. **Tabelas de composições de preços para orçamento**. 14 ed. São Paulo: Pini, 2014.

TCU – TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Obras Públicas de Edificações e de Saneamento: Módulo 1 – Planejamento**. Brasília, 2014. Aula 2: Elaboração de Projetos.

TORRES, R. L. O Tribunal de Contas e o controle da legalidade, economicidade e legitimidade. **Revista do TCE/RJ**, v. 22, p. 37-44, 1991.

TZOULAS, K.; KORPELA, K.; VENN, S.; YLI-PELKONEN, V.; KAZMIERCZAK, A.; NIEMELA, J.; JAMES, P. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. **Landscape and Urban Planning**, v. 81, p. 167-178, 2007.

UDAWATTA, N.; ZUO, J.; CHIVERALLS, K.; ZILLANTE, G. Improving waste management in construction projects: An Australian study. **Resources, conservation and recycling**, v. 101, p. 73-83, 2015.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. 2 ed, Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

VAN DE POL, J. F. **Infrastructure sustainability assessment method**. Twente, Netherlands: University of Twente, 2010.

VELEVA, V.; ELLENBECKER, M. Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, p. 519-549, 2001.

VUČIJK, B.; KURTAGIĆ, S. M.; SILAJDŽIĆ, I. Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario: a municipal case study from Bosnia and Herzegovina. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 166-174, 2016.

YIM, H.; HERRMANN, C. Eco-voice of consumer (VOC) on QFD. In: HRID INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTALY CONSCIOUS DESING AND INVERSE MANUFACTURING, 2003, Tokyo. **Proceedings...** Tokyo: 2003. p. 618-625, 2003.

YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste management**, v. 31, Issue 4, p. 670-679, Apr. 2011.

WANG, J.; LI, Z.; TAM, V. W. Y. Critical factors in effective construction waste minimization at the design stage: a Shenzhen case study, China. **Resources, conservation and recycling**, v. 82, p. 1-7, 2014.

_____. Identifying best design strategies for construction waste minimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p. 237-247, 2015.

WILLIAMS, T. M. The need for new paradigms for complex projects. **International Journal of Project Management**, v. 17, Issue 5, p. 269-273, 1999.

WON, J.; CHENG, J. C. P.; LEE, G. Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea. **Waste management**, v. 49, p. 170-180, 2016.

WU, M. H.; NG, T. S.; SKITMORE, M. R. Sustainable building envelope design by considering energy cost and occupant satisfaction. **Energy for Sustainable Development**, v. 31, p. 118-129, 2016.

ZÖLCH, T.; MADERSPACHER, J.; WAMSLER, C.; PAULEIT, S. Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 20, p. 305-316, 2016.

APÊNDICE A – Questionário de Pesquisa Quali-Quantitativa



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Mestrado Profissional

FASE 1

Apresentação

Este questionário é parte integrante das atividades de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção, da aluna Ruane Fernandes de Magalhães, cuja dissertação é intitulada: MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA URBANA: MECANISMOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO PROJETUAL.

As questões aqui apresentadas buscam identificar, junto ao profissional entrevistado, quais suas principais impressões quanto às práticas de mercado, bem como suas potenciais contribuições para a melhoria do processo de projeto, refletido na execução de obras, buscando a minimização da geração de resíduos de construção civil.

O questionário está estruturado em 5 questões, sendo duas específicas e três gerais. Por favor, responda ao questionário com o maior detalhamento possível; não há respostas certas ou erradas, mas apenas a sua opinião em relação ao questionamento.

As informações fornecidas para esta pesquisa são confidenciais, sendo divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas. Não haverá, sob nenhuma hipótese, a identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre sua participação (confidencialidade).

A. Identificação do entrevistado

A.1 Nome:

A.2 Profissão:

A.3 Empresa:

A.4 Área de atuação:

A.5 Tempo de experiência:

B. Questionário**B.1 Questões gerais**

Questão 1: Quais estratégias, aplicáveis na fase de projeto, você considera adequadas para a minimização da geração de resíduos de construção civil? Por quê?
Por favor, insira a sua resposta no quadro abaixo.

--

Questão 2: Que barreiras, na sua opinião, dificultam ou impedem a adoção de tais estratégias no dia a dia do desenvolvimento de projetos? Por quê?

Por favor, insira a sua resposta no quadro abaixo.

--

Questão 3: Na sua opinião, quais são as três principais causas da geração de resíduos de construção civil durante a execução de obras?

Por favor, insira a suas respostas no quadro abaixo.

Resposta	Por quê?
1.	
2.	
3.	

B.2 Questões específicas

Questão 4: Dentre as técnicas construtivas abaixo relacionadas, para cada tipo de projeto de infraestrutura urbana, quais você mais utiliza, ou identifica em utilização por outros profissionais?

Marque com um “x” ao lado de cada técnica escolhida, podendo ser selecionadas tantas técnicas quanto o necessário.

Como áreas pavimentadas, consideram-se: áreas de circulação de pedestres, passeios, estacionamentos, bicicletários e vias locais.

4.1 Redes de água e esgoto:

1	Alvenaria de tijolo maciço	
2	Argamassa misturada <i>in loco</i>	
3	Canalização de escoamento em PVC	
4	Concreto armado moldado <i>in loco</i>	
5	Concreto simples moldado <i>in loco</i>	
6	Elemento em ferro dúctil sem corte na obra	
7	Elemento pré-moldado de concreto	
8	Escavações de solo/movimentações de terra	
9	Formas em madeira	

4.2 Drenagem:

1	Alvenaria de tijolo maciço	
2	Argamassa misturada <i>in loco</i>	
3	Canalização de escoamento em PVC	
4	Concreto armado moldado <i>in loco</i>	
5	Concreto simples moldado <i>in loco</i>	
6	Elemento em ferro dúctil sem corte na obra	
7	Elemento pré-moldado de concreto	
8	Escavações de solo/movimentações de terra	
9	Formas em madeira	

4.3 Áreas pavimentadas:

1	Argamassa misturada <i>in loco</i>	
2	Assentamento de Brita 2, 3 e Pó de brita	
3	Assentamento de Brita Graduada	
4	Assentamento de elemento tátil	
5	Assentamento e rejuntamento em areia	
6	Cimento Asfáltico	
7	Concreto armado moldado <i>in loco</i>	
8	Concreto Betuminoso	
9	Concreto simples misturado <i>in loco</i>	
10	Elemento em basalto	
11	Elemento granítico	
12	Elemento pré-moldado de concreto	
13	Escavações de solo/movimentações de terra	
14	Formas em madeira	
15	Mistura de agregados de pavimentação asfáltica	

4.4 Cercamento:

1	Concreto simples moldado <i>in loco</i>	
2	Elemento pré-moldado de concreto	
3	Escavações de solo/movimentações de terra	
4	Peça de sustentação tipo mourão em madeira	

4.5 Instalações Provisórias de Canteiro:

1	Concreto armado moldado <i>in loco</i>	
2	Container de aluguel	
3	Estrutura em chapas compensadas resinadas (baías, barracões, tapumes, depósitos e galpões)	
4	Elemento em fibrocimento	
5	Formas em madeira	

Questão 5: Dentre essas mesmas técnicas construtivas, para cada tipo de projeto de infraestrutura urbana, quais, na sua opinião, geram mais e menos resíduos de construção civil? Para instalações provisórias, considere as fases de mobilização e desmobilização de obras.

Marque com um “x” ao lado de cada processo escolhido, por favor, escolha, no mínimo, quatro técnicas no total (duas para maiores geradoras e duas para menores geradoras).

5.1 Redes de água e esgoto:

		Maior geração	Menor geração
1	Alvenaria de tijolo maciço		
2	Argamassa misturada <i>in loco</i>		
3	Canalização de escoamento em PVC		
4	Concreto armado moldado <i>in loco</i>		
5	Concreto simples moldado <i>in loco</i>		
6	Elemento em ferro dúctil sem corte na obra		
7	Elemento pré-moldado de concreto		
8	Escavações de solo/movimentações de terra		
9	Formas em madeira		

5.2 Drenagem:

		Maior geração	Menor geração
1	Alvenaria de tijolo maciço		
2	Argamassa misturada <i>in loco</i>		
3	Canalização de escoamento em PVC		
4	Concreto armado moldado <i>in loco</i>		
5	Concreto simples moldado <i>in loco</i>		
6	Elemento em ferro dúctil sem corte na obra		
7	Elemento pré-moldado de concreto		
8	Escavações de solo/movimentações de terra		
9	Formas em madeira		

5.3 Áreas pavimentadas:

		Maior geração	Menor geração
1	Argamassa misturada <i>in loco</i>		
2	Assentamento de Brita 2, 3 e Pó de brita		
3	Assentamento de Brita Graduada		
4	Assentamento de elemento tátil		
5	Assentamento e rejuntamento em areia		
6	Cimento Asfáltico		
7	Concreto armado moldado <i>in loco</i>		
8	Concreto Betuminoso		
9	Concreto simples misturado <i>in loco</i>		
10	Elemento em basalto		
11	Elemento granítico		
12	Elemento pré-moldado de concreto		
13	Escavações de solo/movimentações de terra		
14	Formas em madeira		
15	Mistura de agregados de pavimentação asfáltica		

5.4 Cercamento:

		Maior geração	Menor geração
1	Concreto simples moldado <i>in loco</i>		
2	Elemento pré-moldado de concreto		
3	Escavações de solo/movimentações de terra		
4	Peça de sustentação tipo mourão em madeira		

5.5 Instalações Provisórias de Canteiro:

		Maior geração	Menor geração
1	Concreto armado moldado <i>in loco</i>		
2	Container de aluguel		
3	Estrutura em chapas compensadas resinadas (baias, barracões, tapumes, depósitos e galpões)		
4	Elemento em fibrocimento		
5	Formas em madeira		



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Mestrado Profissional

FASE 02

Apresentação

Esta seção do questionário se relaciona às mesmas abordagens já tratadas na primeira fase, na qual você foi voluntário. Nesta etapa complementar, a intenção é a de identificar a percepção de importância, atribuída pelos profissionais, a determinadas alternativas sugeridas nos questionamentos anteriores.

Assim, na sua opinião, por favor, preencha a página a seguir conforme as orientações:

- Cada coluna trata de um dos seguintes assuntos: Estratégias de projeto para redução da geração de resíduos de construção civil (coluna 1), Barreiras para implantação das estratégias (coluna 2) e Razões da geração de resíduos em obras (coluna 3);
- Por favor, escolha as 5 (cinco) abordagens mais importantes, na sua opinião, para cada assunto;
- Dentre as 5 escolhas realizadas, classifique o grau de importância de cada uma, de **1 a 5**, sendo **1 a alternativa MAIS importante** e **5 a MENOS importante**;
- Por favor, escolha 5 alternativas e classifique de 1 a 5, sem que haja a repetição de números.

Estratégias de Projeto

Planejamento para reuso dos materiais empregados	
Adoção de sistemas modulares	
Uso adequado do terreno, de forma a reduzir movimentações de terra	
Detalhamento completo, adequado e compatibilizado dos componentes de projeto	
Comunicação plena entre equipe de projeto e analistas ambientais, na fase de projeto	
Adoção, em áreas pavimentadas, de técnicas e materiais que permitam a adaptação para outros usos da área	
Planejamento adequado do canteiro de obras	
Planejamento do tratamento de efluentes do canteiro de obras, previsto no projeto	
Emprego de materiais de qualidade reconhecida e duráveis	
Uso de materiais/técnicas construtivas padronizados	
Uso de técnicas de projeto integrado (ferramenta BIM)	
Planejamento para gerenciamento dos resíduos gerados	
Preferência por transporte de materiais em curta distância	
Especificações técnicas completas e detalhadas (de projeto e de produto)	
Levantamento completo e adequado das demandas de projeto (Programa de necessidades)	
Quantificação correta e precisa de materiais a serem empregados	
Consideração de perdas inerentes aos materiais na fase de projeto	
Emprego de materiais/técnicas construtivas racionalizados e industrializados	
Controle de estoque e de disponibilização de materiais no canteiro	

Barreiras de Implementação

Falta de planejamento de longo prazo	
Prazos reduzidos para elaboração de projetos	
Falta de capacitação de mão de obra para execução, em todos os níveis	
Falta de comunicação entre a os profissionais de projeto e de execução	
Comunicação falha entre os profissionais da equipe de projeto	
Falta de capacitação dos projetistas	
Variabilidade de mão de obra nas obras públicas	
Não preocupação com as questões ambientais nas etapas de projeto e de execução	
Dificuldade de comprovação da qualidade de materiais reaproveitados ou com resíduos em sua composição	
Cultura de improvisação em obra	
Custo elevado de técnicas construtivas industrializadas e inovadoras	
Resistência cultural a novas técnicas construtivas e a novas estratégias projetuais	

Razões da geração de resíduos em obras

Falta de planejamento de canteiro	
Perda por falta de compatibilização entre projetos	
Planejamento inadequado da execução	
Falta de modulação de projeto	
Falta de controle no emprego de técnicas não-industrializadas	
Armazenamento inadequado de insumos	
Falta de controle e fiscalização da execução	
Perdas e retrabalhos associados a mão de obra desqualificada	
Falta de racionalização da produção	
Falta de previsão de reaproveitamento de materiais em projeto	
Falta de preocupação com os impactos ambientais gerados pela atividade	
Detalhamento de projeto pouco claro ou inexistente, para execução da atividade	
Inexistência de especificação técnica adequada para execução da atividade	
Adoção de sistemas e materiais que geram intrinsecamente mais RCC	
Elaboração de PGRCC inadequado, sem ações efetivas	

APÊNDICE B – *Checklists* gerados a partir das Boas Práticas

**ANÁLISE DE PROJETO DE INFRAESTRUTURA URBANA
TEMA PROJETO**

Data: ____/____/____

Identificação da Empresa
Identificação do Departamento/Setor

Projeto:
Gerente do Projeto:
Autor da análise:

1. PROJETO

1.1 Conceito de Projeto		Sim	Não	NA	Justificativa
1.1.1	Uso adequado do terreno, de forma a reduzir movimentações de terra				
1.1.2	Adoção, em áreas pavimentadas, de técnicas e materiais que permitam a adaptação para outros usos da área				
1.1.3	Soluções de projeto pouco complexas, reduzindo as possibilidades de erros de execução				
1.1.4	Total conhecimento dos requisitos de projeto, com foco na redução da geração de RCC, como geração de valor				
1.1.5	Estabelecimento de minimização da geração de RCC como estratégia de projeto				
1.2 Integração de Projeto		Sim	Não	NA	Justificativa
1.2.1	Comunicação plena entre equipe de projeto e analistas ambientais, na fase de projeto				
	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecimento de rotina de reuniões diárias para comunicação da equipe de projeto 				
1.2.2	Empregar abordagens de processo de projeto integrado e colaborativo				
	<ul style="list-style-type: none"> Uso de técnicas de projeto integrado (ferramenta BIM) 				
1.3 Otimização de Projeto		Sim	Não	NA	Justificativa
1.3.1	Detalhamento completo, adequado e compatibilizado dos componentes de projeto				
1.3.2	Quantificação correta e precisa de materiais a serem empregados				
1.3.3	Especificações técnicas completas e detalhadas (de projeto e de produto)				
1.3.4	Levantamento completo e adequado das demandas de projeto (Programa de necessidades)				
1.3.5	Consideração de perdas inerentes aos materiais na fase de projeto				
	<ul style="list-style-type: none"> Disseminação de índices de geração de RCC aos profissionais, para auxílio à tomada de decisão 				
1.3.6	Considerar a avaliação do ciclo de vida (ACV) como ferramenta de tomada de decisão				
1.3.7	Incluir a avaliação do custo de ciclo de vida dos produtos no escopo do projeto (aquisição, uso, operação, manutenção e descarte)				
1.4 Materiais e técnicas construtivas		Sim	Não	NA	Justificativa
1.4.1	Uso de materiais/técnicas construtivas padronizados				
	<ul style="list-style-type: none"> Emprego de materiais reutilizados, reciclados e que reduzem a necessidade de manutenção 				
	<ul style="list-style-type: none"> Selecionar materiais e técnicas construtivas menos impactantes ambientalmente, evitando o emprego de produtos com conteúdo tóxico 				
1.4.2	Emprego de materiais/técnicas construtivas racionalizados e industrializados				
	<ul style="list-style-type: none"> Investimento em processos e técnicas inovadoras, que geram menos RCC 				
	<ul style="list-style-type: none"> Emprego de formas metálicas em vez de formas em madeira, maximizando as possibilidades de reuso 				
	<ul style="list-style-type: none"> Emprego prioritário de técnicas de construção a seco 				
	<ul style="list-style-type: none"> Em instalações provisórias de canteiro, emprego prioritário de estruturas prontas de aluguel 				
1.4.3	Adoção de sistemas modulares				
1.4.4	Emprego de materiais de qualidade reconhecida e duráveis				
1.4.5	Preferência por transporte de materiais em curta distância				
1.4.6	Evitar o uso de técnicas construtivas baseadas em atividades de execução in loco (argamassa, concreto e alvenaria), com emprego preferencial de tecnologias pré-fabricadas				

ANÁLISE DE PROJETO DE INFRAESTRUTURA URBANA
TEMA GESTÃO

Data: ____/____/____

Identificação da Empresa
Identificação do Departamento/Setor

Projeto:
Gerente do Projeto:
Autor da análise:

2. GESTÃO

2.1 Gestão de RCC		Sim	Não	NA	Justificativa
2.1.1	Planejamento para reuso dos materiais empregados				
	• Previsão, em projeto, do uso de materiais reciclados como agregados				
2.1.2	Planejamento para gerenciamento dos resíduos gerados				
2.1.3	Planejamento do tratamento de efluentes do canteiro de obras, previsto no projeto				
2.1.4	Planejamento das atividades de execução com foco em etapas potencialmente geradoras de RCC				
2.1.5	Registro documental adequado de decisões e de critérios de projeto				
2.2 Gestão de Canteiro		Sim	Não	NA	Justificativa
2.2.1	Planejamento adequado do canteiro de obras				
2.2.2	Controle de estoque e de disponibilização de materiais no canteiro				
2.3 Gestão do Projeto		Sim	Não	NA	Justificativa
2.3.1	Priorização de transparência do processo nas etapas de projeto				
2.3.2	Retroalimentação de informações para a equipe de trabalho, a fim de evitar mudanças de projeto durante a fase de execução				
2.3.3	Emprego de métodos de acompanhamento de cronograma				
2.3.4	Estabelecimento de metas de desempenho de projeto e de formas de medição dessas				
2.4 Equipe de trabalho		Sim	Não	NA	Justificativa
2.4.1	Investimento em treinamentos, para a equipe de trabalho, a fim de promover a conscientização ambiental das decisões de projeto				
2.4.2	Investimento em capacitação da equipe de projeto para emprego de processos e técnicas inovadoras				

APÊNDICE C – Matriz da Qualidade

APÊNDICE D – Matriz de Correlações

AMBIENTAL TÉCNICA DE PROJETO	AMBIENTAL DE GERENCIAMENTO																							
	Nº de NCs por falta de registro documental de critérios e decisões/projeto	Quantidade de horas de reunião para integração de projeto/semana	Frequência de reuniões entre a equipe de projeto e de execução	Nº de mudanças de projeto após o início do processo licitatório/projeto	% de atividades de projeto concluídas de acordo com o cronograma	Nº de medições das metas de desempenho do projeto após o prazo/projeto	Homem-hora de treinamentos ambientais com a equipe de projeto/semestre	Nº de técnicas ambientalmente adequadas empregadas/total de técnicas possíveis	Volume de RCC reaproveitados/volume total de RCC gerados	% de ações do PGRCC executadas conforme especificado	Volume de RCC segregados inadequadamente/volume total de RCC da classe	Relação entre o volume de resíduos gerados e o volume de resíduos previsto	Nº de alterações realizadas entre o Projeto Executivo e o As Built /projeto	Nº de alterações entre o layout de canteiro executado e o previsto em projeto	Volume de resíduos gerados associados ao fluxo de materiais	Homem-hora de capacitação da mão de obra de execução/projeto	Consumo mensal de água observado/consumo mensal previsto	Consumo mensal de energia elétrica observado/consumo mensal previsto	Volume de resíduos gerados por etapa do cronograma executivo	(m² de retrabalho (mão de obra) + m² de retrabalho (mud.projeto))/m² construído	Distância média de transporte obra-destinação final adequada/projeto	Nº de mudanças de projeto antes do início do processo licitatório/projeto	Horas despendidas para correção de falhas por etapa de execução	% de desvios no prazo de execução em relação ao previsto no cronograma
Área de interferência no terreno (área modificada)	1	2	1	1	1		1	2		1	1	1	1		1	2	2	1	1		1	1	2	
Relação entre volume de solo de escavação e solo de empréstimo	1	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1		2	1	2	2	2	1	1	1	2	2
% de investimento necessário para adaptações/valor total da obra	2	1		-2					1			-1	-2					-1	-2		2	-1	-1	
Área de reserva do entorno/Área construída	1	1	1	-1			1	2					-2		1			1	-1	2	2		1	
m² de retrabalho gerado por complexidade técnica/m² construído	2	1	2	2	1		1	2		1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2		2	2	
Horas dedicadas para apresentação das demandas de projeto à equipe				2	-1			1				2	2		1			1	2		2	1	2	
Frequência de reuniões entre projetistas e analistas ambientais	1	2	1	1	-1	-1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	
% de cumprimento da meta de redução da geração de RCC	2	2	2	1		2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	
% de área de interface entre projetos compatibilizada	2	2		2	1			1		1		2	2	1			1	1	2	2		2	2	
Quantidade de detalhamentos de pontos críticos de projeto/área total	2	1		2	-1	-1		1	1	1		2	2	1			1	1	2	2		2	2	
% de desvios na quantificação de materiais classe A na Curva ABC	1	1		2						1	1	2	2	1	2				1	1		2	1	
% de atendimento, no checklist, das demandas do Programa de Necessidades		2		2	1		1	1				1	2		1	1	1	1	1	2		2	1	
% de índices de perdas conhecidos, pelo projetista/nº total de tipos de materiais	1	1		1	1		2	1	2	1	1	2	1		1	1	1		2	1	1		1	
Avaliação do layout de canteiro em escala de 1 a 4	2	2	2	1			1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2		1	
% de ações definidas no PGRCC	2	1	1	1	-1		2	2	2	2	2	1	1	2	2		1	1	1		2	1	1	
% de tipos de insumo que passaram por ACCV na especificação	1	1		1	-2	-1	1	1	1				1	1			1	1			1	1		
% de soluções técnicas padronizadas e racionalizadas/total de técnicas	2	1		2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	
Volume de material reciclado ou de reuso empregado/volume total de resíduos	1	2	1	-2	-2	-1	2	1	-1	-1	2	-2	-2	1		2	1	1		-2	2	-2	-1	
Emissão de gases do efeito estufa (avaliada através de ACV)	1	1			-1		2	2	1						2			1	1	1	2	1	1	
Concentração média de compostos orgânicos voláteis nos materiais	1	1			-1		2	2	2												1	2	1	
Volume de materiais reaproveitados na obra/volume de materiais segregados	1	2	2	-2	-2	-1	2	1	2	-1	2	-2	-2	1		2	1	1		-2	2	-2	-1	
Volume de sobras de material de corte na produção ou em manutenção	2	2	1	1			1	1				1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	
Vida útil média dos materiais				2			1	2	2	1	1	2	2		2		1	1	2	2	1	2	2	
Distância de transporte fornecedor-obra		1	1	1			1	1	-1			1	-1	1	2				2	1		1	2	