

Seleção de metodologia de mensuração de retrabalho através da utilização do método AHP

Selection of rework measurement methodology utilizing AHP method

ISSN 0104-530X (Print)
ISSN 1806-9649 (Online)

Luiz Carlos Brasil de Brito Mello^{1,2}
Renata Albergaria de Mello Bandeira³
Nilson Brandalise²

Resumo: A construção civil apresenta altos índices de retrabalho, o que acarreta em custos adicionais e atrasos nos prazos dos projetos. Deste modo, diversos autores e entidades têm estudado o problema e buscado soluções para tentar quantificar e minimizar as consequências do retrabalho, tendo sido desenvolvidas diversas metodologias para mensuração de retrabalho: *Reduction Rework Program* do *Construction Industry Institute*; *Best Productivity Practices Implementation Index* do *Construction Industry Institute*; Metodologia do *Construction Owners Association of Alberta*; e *Measuring and Classifying Construction Field Rework*. Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo propor um procedimento, com base no método de análise multicritério *Analytic Hierarchy Process* – AHP, para auxiliar no processo de seleção da metodologia de mensuração de retrabalho mais indicada a ser adotada em subsetores da indústria da construção civil. O procedimento proposto foi aplicado no segmento de montagem industrial, e a metodologia *Rework Reduction Program* apresentou os melhores resultados em relação à medição de retrabalho conforme cinco critérios selecionados para análise (abrangência, implantação, custos, entrada de dados e operação do sistema), sendo assim a mais indicada a ser adotada.

Palavras-chave: Retrabalho; Construção civil; Montagem industrial; Análise multicritério; AHP.

Abstract: *Civil construction has high rework rates, which entails additional costs and delays in project deadlines. In this way, several authors and entities have studied the problem and sought solutions to try to quantify and minimize the consequences of reworking. Several rework measurement methodologies have been developed, including: Construction Industry Institute Reduction Rework Program, Best Productivity Practices Implementation Index of the Construction Industry Institute, Methodology of the Construction Owners Association of Alberta, and Measuring and Classifying Construction Field Rework. In this context, this article aims to propose a procedure, based on the multicriteria analysis method Analytic Hierarchy Process – AHP, to assist in the process of selecting the most appropriate rework measurement methodology to be adopted in subsectors of the civil construction industry. The proposed procedure was applied to the industrial assembly segment, and the Rework Reduction Program methodology presented the best results regarding the rework measurement according to five criteria selected for analysis (coverage, deployment, costs, data entry and system operation), being the most indicated for use.*

Keywords: *Rework; Civil construction; Industrial assembly; Multi-criteria analysis; AHP.*

1 Introdução

A construção civil apresenta um alto índice de desperdício e retrabalhos, que causam impacto nos custos, onerando contratantes e contratados, atrasando prazos e atingindo baixos índices de qualidade (Grohmann, 1998). Com o intuito de verificar os custos envolvidos em retrabalhos, em relação aos custos totais dos empreendimentos, Mastenbroek

(2010) realizou uma extensa revisão bibliográfica, cujos resultados são sumarizados na Tabela 1.

Segundo Mastenbroek (2010), os custos em retrabalho na construção civil, levantados por diversos autores em diferentes países, variam entre 1 e 10% dos custos totais do empreendimento. Estudos realizados pelo *Construction Industry Institute* (CII, 2013)

¹ Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense – UFF, Rua Passo da Pátria, 156, 3º andar, Sala 365, Bloco D, São Domingos, CEP 24210-240, Niterói, RJ, Brasil, e-mail: luiz.brasil@gmail.com

² Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense – UFF, Rua Passo da Pátria, 156, 3º andar, Sala 365, Bloco D, São Domingos, CEP 24210-240, Niterói, RJ, Brasil, e-mail: nilson_01@yahoo.com.br

³ Departamento de Engenharia de Fortificações e Construções, Instituto Militar de Engenharia, Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, CEP 22290-270, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, e-mail: re.albergaria@gmail.com

também demonstram que, em média, 5% dos custos diretos associados aos custos totais dos projetos são devidos a retrabalhos. Assim, com investimentos de US\$ 1,7 trilhão em 2014, estima-se que os custos adicionais causados por retrabalhos na indústria da construção nos Estados Unidos representam perdas anuais de aproximadamente US\$ 85 bilhões (BEA, 2014). Considerando-se a mesma relação para a indústria da construção brasileira, os custos provenientes de retrabalho podem ser estimados em R\$ 16,30 bilhões, uma vez que os investimentos no setor foram de R\$ 326,1 bilhões em 2012 (IBGE, 2012).

De acordo com o *Construction Industry Development Agency* (CIDA, 1995), o retrabalho é a execução de uma tarefa extra para atender requerimentos que não foram alcançados. Nandhakumar & Ranjit (2015) consideram que ocorre o retrabalho quando um produto ou serviço não atende aos requerimentos do cliente e que esforços são executados para correção. Ashford (1992) entende que retrabalho acontece quando um item é reprocessado para atender aos requerimentos originais, sendo tal reprocessamento feito através de complemento ou correção. Em suma, o retrabalho é a ação tomada para fazer com que um componente imperfeito ou fora de especificações fique em conformidade com os requisitos ou especificações (PMI, 2013).

Retrabalhos podem ocorrer em qualquer fase do processo construtivo: no projeto, na construção, no transporte ou na fabricação (Burati et al., 1992), bem como em razão de falhas de gerenciamento, administração ou erros de apontamento contábil. Para Love et al. (1999) e Love & Li (2000), o retrabalho é causado, essencialmente, por falhas, erros, omissões, danos e mudanças de especificações/desenhos. Os autores citados consideram que: a) mudança é quando há uma ação dirigida, alterando os requerimentos

anteriormente definidos; b) falha ou erro é quando uma atividade em um processo é executada de maneira imperfeita, deixando de atender aos requerimentos exigidos, e c) omissão é quando qualquer parte do processo construtivo, incluindo projeto, fabricação e montagem, foi deixada de ser executada, resultando em um desvio em relação aos requerimentos. Assim, os erros construtivos são o resultado de métodos e procedimentos errados e devidos a falhas humanas, enquanto as omissões podem ser causadas por falhas humanas ou por condições climáticas ou desastres naturais (Love et al., 1999).

Em ambientes complexos, como o da indústria da construção civil, que abrange uma cadeia produtiva com setores diversos, e onde várias atividades interconectadas são exercidas simultaneamente por vários executantes, frequentemente erros, omissões e mal-entendidos são cometidos, resultando em *outputs* indesejáveis, que devem ser retrabalhados (Hegazy et al., 2011). Aspectos peculiares da indústria da construção civil, que a diferenciam de outras, como períodos de construção relativamente longos, fabricação de produtos únicos, interferências de uma rede complexa de participantes, não acompanhamento de avanços tecnológicos e deficiências na formação técnica da mão de obra (Colombo & Bazzo, 2001), aumentam a possibilidade de haver retrabalhos. Ainda, algumas particularidades desta indústria no Brasil fazem com que o grau de precisão obtido seja ainda menor que em outros países (Fé Castro et al., 2014). O setor da construção civil, no Brasil, apresenta baixa atualização nos aspectos tecnológicos e de gestão, além de níveis de competitividade e produtividade baixos, quando comparados aos padrões dos países desenvolvidos (Colombo & Bazzo, 2001; SEBRAE-MG, 2005). O setor é marcado por problemas quanto ao cumprimento de normas técnicas e padronização,

Tabela 1. Custo de retrabalho em relação aos custos totais dos empreendimentos.

| Autor | País | Custo |
|--|----------------|--------------|
| Cusack (1992 apud Mastenbroek, 2010) | Austrália | 10%* |
| Borroughs (1993 apud Mastenbroek, 2010) | Austrália | 5%* |
| CIDA (1995) | Austrália | 6,5%* |
| Lomas (1996 apud Mastenbroek, 2010) | Austrália | >1%* |
| Love et al. (1999) | Austrália | 2,4 e 3,15%* |
| Love (2002) | Austrália | 6,4%* |
| CIDB (1989 apud Mastenbroek, 2010) | Cingapura | 5-10%** |
| Burati et al. (1992) | Estados Unidos | 12,4%** |
| Abdul-Rahaman (1993 apud Mastenbroek, 2010) | Inglaterra | 2,5-5%* |
| Hammarlund et al. (1990 apud Mastenbroek, 2010) | Suécia | 6%** |
| Josephson & Hammarlund (1990, 1996 apud Mastenbroek, 2010) | Suécia | 2,3-9,4%* |
| Josephson et al. (2002 apud Mastenbroek, 2010) | Suécia | 4,4%* |

* porcentagem do valor do contrato; ** porcentagem do custo do projeto.

bem como pela utilização intensiva de mão de obra, sendo que os operários não possuem formação técnica adequada (SEBRAE-MG, 2005). Tais características da indústria da construção civil no país contribuem para aumentar o nível de retrabalho.

Entretanto, Hegazy et al. (2011) consideram que o problema de retrabalho é ainda mais complexo em empreendimentos da construção pesada, por envolver um número ainda maior de *stakeholders* e devido à maior complexidade das atividades e dos inter-relacionamentos neste subsetor da construção civil. Segundo ABRAMAT (2009), a indústria da construção civil é classificada em três principais setores: edificações, materiais de construção e construção pesada, sendo que esta se subdivide em infraestrutura urbana, de transportes e montagem industrial. Em 2014, havia 35 mil empresas de construção pesada no mercado nacional, representando um crescimento de 39% em relação a 2007 e empregando cerca de 2% da mão de obra no país (SINICON, 2015). Contudo, de março de 2014 a março de 2015, houve uma queda de 14% no emprego nesse setor, a qual é superior à redução média da construção civil (SINICON, 2015). Tal fato é devido aos problemas econômicos que o país enfrenta. Assim, em razão da complexidade e importância do segmento de montagem industrial, este trabalho foca neste subsetor da indústria da construção civil.

Para tentar resolver os problemas de perdas de prazo, custos e qualidade decorrentes dos retrabalhos na construção civil, diversos autores e entidades têm estudado o problema e buscado soluções para a má utilização de equipamentos, mão de obra, materiais e recursos financeiros, quantitativamente superiores às necessárias (Fé Castro et al., 2014). Entre estes autores e entidades, podem ser citados: Associação Brasileira de Engenharia Industrial – ABEMI, *Construction Industry Institute-CII*, *Construction Owners Association of Alberta – COAA*, Fayek et al. (2003, 2004), Love et al. (1999), Love (2002), Love & Smith (2003), Hegazy et al. (2011), Simpeh (2012), Hossain & Chua (2014), Fé Castro et al. (2014) e Nandhakumar & Ranjit (2015). Tais estudos propõem diferentes metodologias para a medição, prevenção, correção e mitigação dos retrabalhos, destacando-se o *Measuring and Classifying Construction Field Rework* (Fayek et al., 2003), a metodologia do COAA – *Construction Owners Association of Alberta* (COAA, 2006), *Reduction Rework Program* do CII (2011) e *Best Productivity Practices Implementation Index* do CII (2013).

Neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo estudar as principais metodologias para a medição, prevenção, correção e mitigação dos retrabalhos que são aplicadas na indústria da construção, além de, por

meio de análise multicriterial, identificar a metodologia mais eficaz, considerando-se determinados critérios, a ser adotada para a mensuração do retrabalho no segmento de montagem industrial, subsetor da indústria da construção civil. Para tanto, foi utilizado o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que, segundo Costa (2006), é um dos métodos de auxílio à decisão, sob múltiplos critérios, mais reconhecidos cientificamente. Esta escolha também se justifica devido a sua aplicabilidade, simplicidade e facilidade (Saaty, 1991).

O artigo está estruturado da seguinte forma: inicialmente, é apresentada a metodologia de pesquisa adotada. Em seguida, apresentam-se os principais métodos de medição de retrabalho, a análise dos dados e, finalmente, as principais conclusões da pesquisa.

2 Metodologia

O objetivo da pesquisa é avaliar, dentre as metodologias para a medição, prevenção, correção e mitigação de retrabalhos, qual é a mais eficaz no segmento de montagem industrial, subsetor da construção pesada, um dos setores da construção civil, considerando-se como nacional a abrangência deste estudo. Deste modo, a metodologia de trabalho para o desenvolvimento desta pesquisa foi concebida em quatro etapas.

Na primeira etapa, foi realizada a revisão bibliográfica, identificando as principais metodologias para a medição, prevenção, correção e mitigação de retrabalhos a serem aplicadas na construção civil. As principais fontes de consultas foram: Periódicos Capes, universidades brasileiras e estrangeiras (UFRJ, UFF, UFMG, UFRGS, Universidade do Texas), organizações técnicas (CII, COAA, PMI, ABNT etc.), organizações governamentais e privadas (IBGE, ABRAMAT/FGV, BNDES, SEBRAE-MG, SINICON, FIESP, ABEMI), para a busca de dados e artigos referentes a retrabalho, construção civil, montagem industrial, produtividade e mensuração de retrabalho. A pesquisa bibliográfica nas fontes citadas possibilitou o levantamento de informações sobre o assunto pesquisado e, principalmente, a identificação e caracterização, bem como o exame das principais metodologias, atualmente disponíveis, para a medição, prevenção, correção e mitigação de retrabalhos. A Seção 3 apresenta estas principais metodologias.

Assim, com base na análise das principais metodologias de medição de retrabalho e em entrevistas com cinco especialistas no assunto e com três pesquisadores acadêmicos que estudam o tema em questão, realizou-se a segunda etapa da pesquisa, que consistiu na proposição de critérios gerais para a

seleção hierárquica das alternativas de metodologias de medição de retrabalhos disponíveis. Os especialistas são engenheiros civis que atuam diretamente no segmento de construção industrial e pesquisadores sobre o tema, que contribuíram com sua experiência no tema para a definição dos critérios. Foram propostos seis critérios para a análise: Abrangência; Implantação; Custos; Entrada de dados; Operação do Sistema, e Resultados, conforme apresentado na Seção 4.

Na terceira etapa da pesquisa, foram aferidos pesos aos critérios adotados, por meio de julgamentos, par a par, pela escala de Saaty, dos critérios e das alternativas, aferições estas realizadas pelos especialistas, para cada alternativa de metodologia considerada. Essa condição visou à proposição de uma forma de avaliação hierárquica das diferentes metodologias de medição de retrabalho disponíveis, em função de sua relevância e do eventual sucesso da sua implantação no segmento estudado. Para tanto, aplicou-se o método de análise multicritério AHP (do inglês, *Analytic Hierarchy Process*), conforme definido por Saaty (1991), por meio do *software Super Decisions*.

Um dos primeiros métodos desenvolvidos para solucionar problemas de tomada de decisão na presença de múltiplos critérios, quantitativos e qualitativos, o AHP avalia a importância relativa dos critérios, compara as alternativas para cada critério, as quais, nesse caso, são as metodologias para mensuração do retrabalho, além de determinar uma escala em

ordem decrescente para as alternativas consideradas (Marchezetti et al., 2011). A justificativa para a escolha do AHP na tomada de decisão é a sua extensa aplicabilidade, simplicidade, facilidade de uso e ótima flexibilidade (Ho, 2008). Ainda, Costa (2006) considera o AHP como um dos métodos de auxílio à decisão, sob múltiplos critérios, mais reconhecidos cientificamente.

A quarta etapa da pesquisa possibilitou a definição de uma escala hierárquica das alternativas de metodologias disponíveis para a mensuração de retrabalho na indústria da construção civil, da mais adequada para a menos adequada, a partir da somatória dos pesos aferidos a cada critério de seleção, para cada alternativa.

Enfim, a revisão da literatura permitiu a seleção das metodologias disponíveis para a mensuração de retrabalho no segmento estudado e, portanto, a adoção de critérios a serem avaliados e hierarquizados. Por sua vez, a aplicação do método AHP possibilitou calcular os pesos para cada alternativa, em relação aos critérios propostos. O resultado da somatória dos pesos calculados, a partir dos critérios adotados para cada metodologia de mensuração de retrabalho, permitiu a hierarquização das diferentes metodologias em ordem decrescente, orientando, assim, a prioridade na escolha a ser implantada.

A Figura 1 apresenta um esquema dos critérios e das alternativas de metodologias adotadas para a mensuração de retrabalho na construção civil.

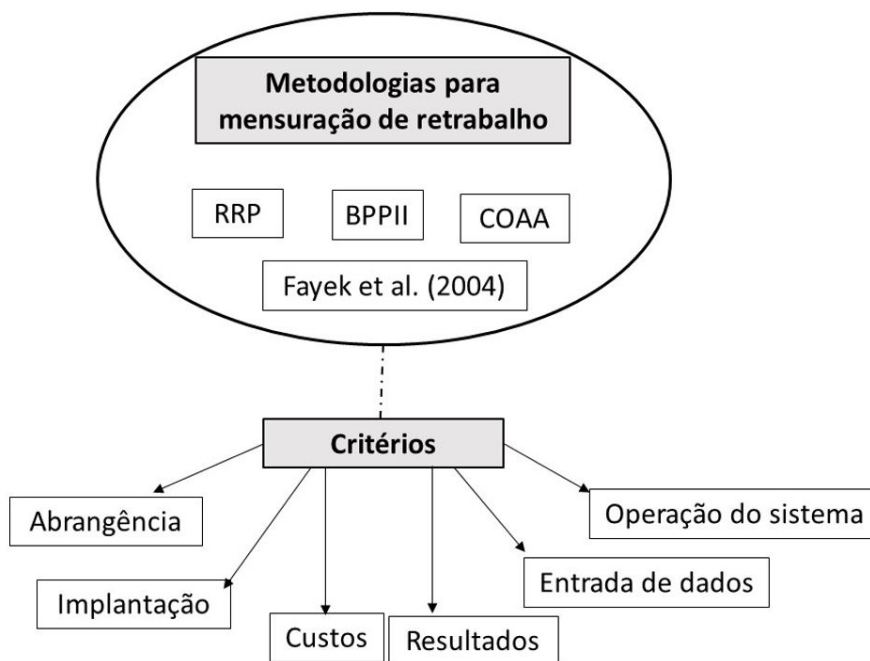


Figura 1. Critérios adotados para a hierarquização das metodologias de mensuração. Fonte: Autores (2015).

3 Metodologias para a medição, prevenção, correção e mitigação dos retrabalhos

Nesta seção, são apresentadas as principais metodologias para a medição, prevenção, correção e mitigação dos retrabalhos, aplicadas na indústria da construção, identificadas a partir da revisão da literatura.

3.1 *Reduction Rework Program do Construction Industry Institute (CII, 2011)*

Em 2003 o *Construction Industry Institute* iniciou um programa para reduzir retrabalho nos empreendimentos na área de Montagem Industrial, objetivando reduzir retrabalho, aumentar a *performance* dos empreendimentos e aumentar a produtividade geral (CII, 2011). Deste esforço, resultou a identificação e a descrição dos fatores causadores de retrabalho. Foi, então, criada uma lista de verificação em relação à qualidade dos processos envolvidos no ciclo do empreendimento, visando reduzir a chance de haver retrabalho (CII, 2011). O resultado foi denominado *Rework Reduction Program-RRP* (CII, 2011). O RRP é um sistema de mensuração e monitoramento da extensão do nível de retrabalho nos *sites* dos empreendimentos. Somente quando o retrabalho é medido, é que podem ser conhecidos seu impacto e sua extensão, bem como as medidas que podem ser tomadas para eliminar suas causas (CII, 2011).

O RRP é constituído de quatro etapas: 1) mensuração do retrabalho e classificação das causas; 2) análise dos retrabalhos e causas; 3) planejamento das ações corretivas, e 4) integração das ações corretivas dentro do sistema geral de gerenciamento do empreendimento.

O RRP considera apenas retrabalho executado no *site* do empreendimento, não focando em retrabalhos executados durante as fases de projeto, suprimentos, fabricação ou transporte para o *site* (CII, 2011). Os objetivos do RRP são (CII, 2011): 1) aprimorar a qualidade do trabalho através da descoberta da causa raiz do retrabalho, sua análise e implementação de medidas para evitar sua repetição; 2) comunicar as lições aprendidas para outros empreendimentos da empresa; 3) diminuir a pressão no local de trabalho, fazendo com que o trabalho seja feito acertadamente da primeira vez; e 4) permitir que seja feita a comparação do desempenho da empresa em relação às métricas do segmento. Para isto, foram criados índices que permitem esta comparação.

O processo de desenvolvimento do RRP tem como entradas: os processos organizacionais, a definição do escopo, o plano de gerenciamento do projeto, o custo unitário dos recursos e o cronograma do empreendimento. O processo é, então, desenvolvido

através das etapas já descritas, chegando-se às saídas, que são: listas de classificação dos retrabalhos, análise de ocorrência do retrabalho, análise do impacto do retrabalho nos custos e cronograma, e ações corretivas atualizadas. O RRP considera que cada etapa do ciclo funciona como um pré-requisito para a seguinte e que cada plano de ação corretiva produz aprimoramentos para o sistema como um todo. Além disto, o sistema tem uma finalidade educativa, pois é através da compilação dos dados que se torna possível verificar os efeitos negativos do retrabalho em relação aos objetivos financeiros e de prazo da obra (CII, 2011).

A execução da primeira etapa, ou seja, mensuração do retrabalho e classificação das causas, é feita com as seguintes ferramentas: existência dos ativos organizacionais (lições aprendidas, dados sobre retrabalho em outros empreendimentos etc.); estrutura analítica de projeto; estrutura de classificação de retrabalho; acompanhamento e arquivamento dos dados obtidos sobre o retrabalho; revisão da documentação; determinação da lista de causas (através de *brainstorming* e entrevistas), e julgamento. As saídas desta fase são: lista atualizada das categorias de retrabalho e os dados pertinentes (custos, atrasos, frequência etc.) (CII, 2011).

A análise dos retrabalhos e das respectivas causas é executada pela definição dos seguintes aspectos: escopo do projeto; plano de gerenciamento do cronograma e dos custos; lista de classificação de retrabalho, e preços unitários dos recursos. Nesta fase, as seguintes técnicas são utilizadas: revisão documental, coleta de dados e análises quantitativas e monetária. O resultado são os seguintes: tendências do retrabalho e seus impactos nos prazos, custos e qualidade (CII, 2011).

Para a terceira etapa, planejamento das ações corretivas, utilizam-se entradas, como: lista de classificação de retrabalho; tendências do retrabalho e seus impactos nos prazos, custos e qualidade, e gerenciamento das limitações de recursos. Ainda, por meio de técnicas, como definição de estratégias para redução de retrabalho, definição de procedimentos para gestão de mudanças e treinamento dos recursos humanos para melhoria da eficácia produtiva, chega-se a um plano de ações corretivas. O planejamento das ações corretivas tem a importante função de determinar e desenhar quais as ações corretivas necessárias para eliminar as causas do retrabalho (CII, 2011).

Para o sucesso do RRP, o processo deve ser integrado ao sistema geral de gerenciamento do empreendimento. O CII (2011) enfatiza que deve ser criado um sistema de levantamento, tratamento, catalogação, análise e divulgação das causas do retrabalho e da eliminação das mesmas, através de um sistema integrado, que é apresentado no guia “*A Guide to Construction Rework Reduction*”, editado pelo CII, em 2011.

O CII (2011) criou, também, fórmulas para o acompanhamento e a análise do desempenho das horas e dos custos envolvidos em retrabalho, através de gráficos. São as seguintes as fórmulas:

Taxa de custo de retrabalho = Custo total de retrabalho para um determinado pacote de trabalho/Valor total agregado para um determinado pacote de trabalho

Caso, para a execução do retrabalho, sejam necessárias a desmontagem e a reconstrução, estes valores devem ser considerados no cálculo.

Taxa de HH utilizado no retrabalho = total de hh gastos em retrabalho para um determinado pacote de trabalho/ Valor total agregado para um determinado pacote de trabalho

O CII considera que, através da implantação do RRP, será possível a determinação do impacto do retrabalho nos prazos, custos e qualidade do empreendimento. Ainda, através do conhecimento da causa raiz, será permitido o estabelecimento de ações corretivas, visando à eliminação das perdas provenientes do retrabalho e, conseqüentemente, o aumento da produtividade (CII, 2011).

3.2 Best Productivity Practices

Implementation Index do Construction Industry Institute (CII, 2013)

O *Best Productivity Practices Implementation Index* (BPPII), lançado pelo *Construction Industry Institute*, é um programa que pretende aumentar a produtividade das atividades desenvolvidas nos *sites* dos empreendimentos de infraestrutura. O BPPII considera que só se aperfeiçoa aquilo que é medido. O BPPII classifica o planejamento e a implementação de práticas que possuem potencial para aperfeiçoar a produtividade durante a construção de projetos de infraestrutura, reduzindo assim os níveis de retrabalho. O BPPII deve ser utilizado nas fases iniciais da fase construtiva (CII, 2013).

Para o CII (2013), a utilização do BPPII permite que:

- sejam definidas as melhores práticas que aumentem a produtividade, as quais devem ser planejadas e implantadas na fase construtiva do empreendimento;
- seja estabelecido um *checklist* que determine o nível de planejamento e implantação destas melhores práticas;
- sejam criadas estratégias que permitirão aumentar a eficácia destas melhores práticas.

O CII (2013) recomenda que o BPPII seja utilizado no final do *Front End Planning* e no início da fase de execução, servindo como auxílio para a preparação do Plano de Execução do Projeto. O BPPII é composto de uma folha de dados (em MS Excel), com as seguintes partes: introdução, guia do usuário, descrição do BPPII, tendo como entrada, a classificação do BPPII, e saída, o relatório de pontuação. O critério de pontuação do BPPII considera 61 elementos a serem avaliados e cada um deles tem um peso a ser

considerado na avaliação final. Este peso foi calculado levando-se em consideração a influência de cada um desses elementos na produtividade, e foi determinado através de uma pesquisa realizada com profissionais altamente experientes em empreendimentos de infraestrutura. Estes profissionais foram solicitados a determinar a importância de cada elemento, tendo sido finalmente calculada a média que serviu para ponderar o valor de cada elemento (CII, 2013). A pesquisa foi validada através de dados coletados de diversos empreendimentos de infraestrutura, divididos em dois grupos, com altos e baixos valores do BPPII *score*. Note-se que foi realizado um teste ANOVA com nível de confiança de 95% para comprovar a significância estatística entre estes dois grupos. O resultado do teste confirmou que a diferença entre os dois grupos é estatisticamente diferente, validando o resultado. Esta validação permitiu ao CII concluir que empreendimentos com melhores BPPII *scores* têm melhores níveis de produtividade (CII, 2013).

O BPPII compreende seis categorias e 20 seções. Cada seção compreende entre um e cinco elementos, os quais correspondem a melhores práticas reconhecidas pela indústria da construção (CII, 2013). As categorias são as seguintes:

- Gerenciamento de Materiais (compreende três seções e nove elementos);
- Equipamentos de Construção e Logística (compreende duas seções e sete elementos);
- Abordagem de Execução (compreende quatro seções e 14 elementos);
- Gerenciamento dos Recursos Humanos (compreende cinco seções e 11 elementos);
- Métodos Construtivos (compreende três seções e 12 elementos);
- Saúde, Segurança e Meio ambiente (compreendendo três seções e 11 elementos).

O sistema de avaliação do BPPII leva em consideração o nível de planejamento e implementação de cada um dos 61 elementos, aos quais são dados valores variando de zero a cinco. O zero significa que o elemento não é aplicado e o cinco que a prática é totalmente planejada e aplicada. O CII considera que aqueles empreendimentos que possuem avaliações mais altas do que 50% têm o nível adequado de planejamento e implantação das melhores práticas, devendo obter melhores resultados e reduzir os níveis de retrabalho (CII, 2013). Entretanto, o CII ressalta que há restrições para a utilização do BPPII para certos tipos de empreendimentos, tais como empreendimentos industriais e edificações (CII, 2013).

Não se aborda, neste artigo, a estrutura das categorias e seções, as definições de cada categoria, seção e elemento, as quais podem ser encontradas no documento CII- BPPII- *Best Productivity Practices Implementation Index*, editado pelo CII em 2013.

3.3 Metodologia do Construction Owners Association of Alberta (COAA, 2006)

O *Construction Owners Association of Alberta* (COAA) estabeleceu uma metodologia para medição e redução de retrabalho, denominada *Project Rework Reduction Index* (PRRI). O PRRI serve para medir o desempenho dos empreendimentos em relação ao retrabalho, considerando causas conhecidas e significantes de retrabalho, em qualquer etapa do ciclo de vida do empreendimento (COAA, 2006). A *performance* do empreendimento, em relação ao nível de retrabalho, é medida considerando cinco áreas-chave que podem ter retrabalho. São estas: Engenharia e revisões, Planejamento da construção e cronogramas, Liderança e comunicação, Suprimento de equipamentos e materiais, e Capacitação dos recursos humanos. Estas cinco áreas são detalhadas em 20 causas potenciais de retrabalho. Estas 20 causas são, na avaliação do COAA, as mais importantes para o aparecimento de retrabalhos (COAA, 2006). A Figura 2 detalha estas causas em relação às áreas.

A avaliação dos projetos em relação ao retrabalho é feita através de um questionário de múltipla escolha, contendo entre 29 e 90 questões. Existem cinco questionários, um para cada fase do ciclo de vida do empreendimento. Estas fases são: *Final do Design Build Memorandum* (DBM), Emissão das especificações de engenharia, 20% completados da fase de engenharia de detalhamento, 20% completados da fase de construção, 50% completados da fase de construção. A classificação, através do PRRI, é feita levando em consideração as possíveis causas do

retrabalho, e é determinada através dos questionários. As respostas são avaliadas através de uma ponderação matemática. Ou seja, quanto mais alto o grau obtido, menor será a probabilidade de haver retrabalho. O índice obtido tem um valor relativo, devendo ser entendido como um indicativo da tendência do nível de retrabalho (COAA, 2006). Através de avaliações periódicas dos resultados obtidos pelos questionários, é possível a elaboração de itens, tais como o *“Tile Chart”* e o *“Dashboard Chart”*, que permitem a discussão, avaliação e revisão da situação dos empreendimentos em relação a retrabalhos, possibilitando que providências sejam tomadas para eliminar suas causas (COAA, 2006).

Em seguida, é apresentada a Figura 3, que ilustra um exemplo de *“PRRI Dashboard Chart”*, que, através de gráficos radar, ilustra a probabilidade de retrabalho (COAA, 2006).

Através do *Dashboard Chart*, como apresentado na Figura 3, é possível a emissão de um gráfico de tendências do retrabalho no empreendimento, permitindo a análise das tendências para as cinco principais causas de retrabalho, tal como ilustrado na Figura 4.

O PRRI oferece também sugestões para a eliminação do retrabalho através de melhores práticas a serem introduzidas e soluções práticas para o aprimoramento da gestão de retrabalho e a eliminação das causas raiz (COAA, 2006).

3.4 Measuring and Classifying Construction Field Rework (Fayek et al., 2004)

Fayek et al. (2004) conduziram um estudo para estabelecer boas práticas para as empresas de construção, visando reduzir o excesso de retrabalho nos *sites*, que vinha acontecendo nos empreendimentos realizados no Canadá. Os autores remontaram aos

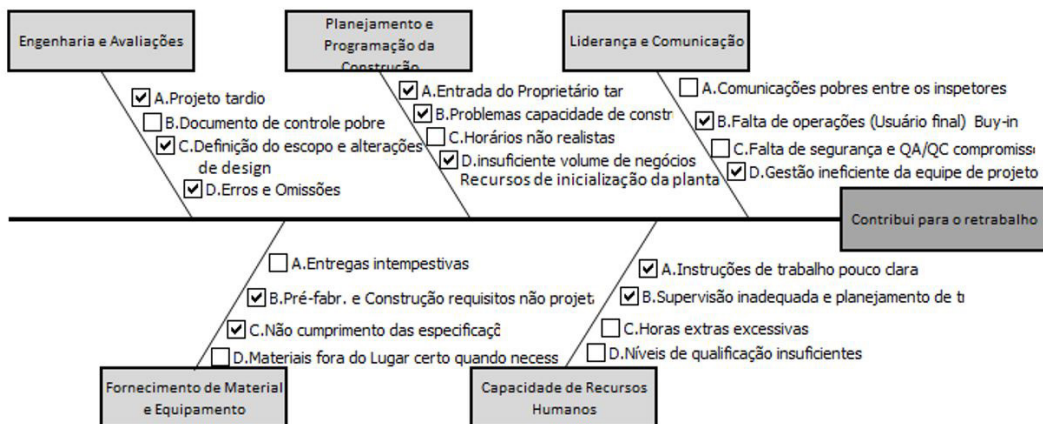


Figura 2. Classificação das causas de retrabalho segundo o COAA. Fonte: COAA (2006).

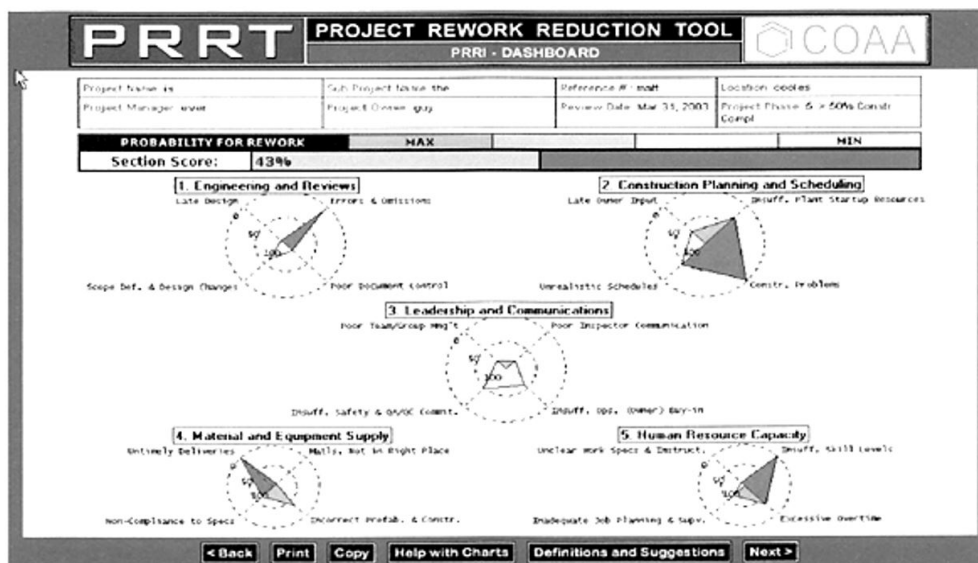


Figura 3. Exemplo de PRRI Dashboard Chart. Fonte: COAA (2006).

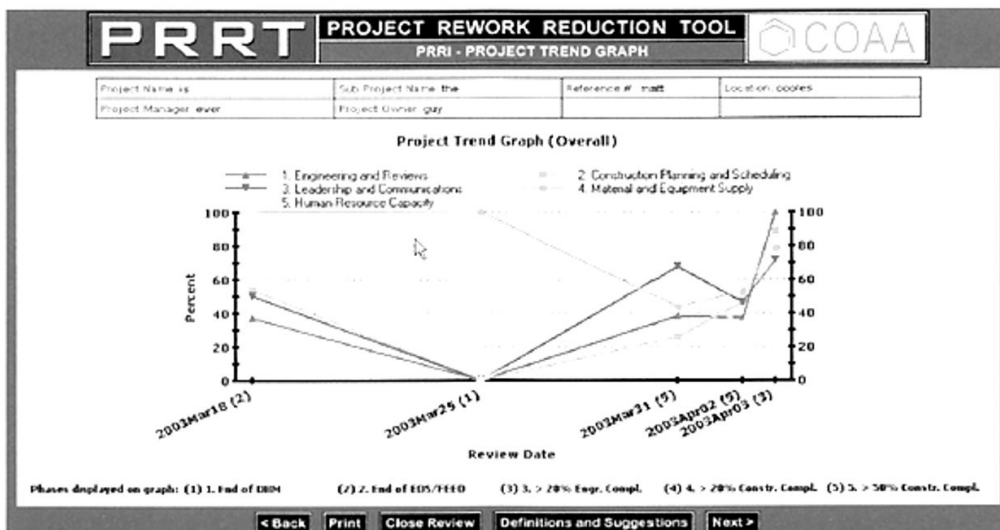


Figura 4. Exemplo de gráfico de tendências. Fonte: COAA (2006).

estudos desenvolvidos por Love et al. (1999), Love & Li (2000), Love (2002) e Love & Smith (2003).

Fayek et al. (2004) estabeleceram como princípio básico que, para que o retrabalho seja reduzido, deve-se antes identificá-lo, medi-lo e entender sua causa raiz. Através de um extenso levantamento, Fayek et al. (2004) verificaram haver diversas definições de retrabalho e índices de mensuração, propostos pelos trabalhos de Ashford (1992), Love & Li (2000), Rogge et al. (2001) e COAA (2001), para as definições, e Burati et al. (1992), Gibson & Dumont (1996), CII (1997) e COAA (2001), para a classificação das causas e mensuração. Neste levantamento, Fayek et al. (2004) verificaram que, apesar de haver vários estudos

sobre o retrabalho, não havia ainda padrões para mensuração e classificação do retrabalho que fossem aceitos pelas organizações de construção e montagem industrial. Assim, decidiram criar uma metodologia para mensuração e classificação do retrabalho executado na fase construtiva dos empreendimentos, e esta deveria ser amplamente aceita pela indústria de construção canadense.

A metodologia proposta por Fayek et al. (2004) consiste de: a) definição de padrões para retrabalho executado na fase construtiva; b) estabelecimento de uma definição para retrabalho executado na fase construtiva que seja aceita pelas empresas do segmento; e c) estabelecimento de um sistema de

classificação e identificação das causas de retrabalho na fase construtiva. Os autores conduziram um estudo-piloto em um empreendimento de grande porte na Província de Alberta, no Canadá, visando obter dados que permitissem o desenvolvimento da metodologia, atendendo aos três objetivos propostos. Deste estudo, concluíram que “retrabalho são atividades que devem ser refeitas ou, então, resultados de atividades que tenham que ser removidas independentemente da origem, desde que não tenha havido mudança de escopo ou alguma alteração na especificação”. Tal definição é muito próxima daquela aceita pelo CII (2011). O sistema de classificação de retrabalho sugerido por Fayek et al. (2004) inspirou-se no desenvolvido pelo COAA (2001) e é conhecido como espinha de peixe. A classificação proposta pelos autores é apresentada na Figura 5.

Fayek et al. (2004) propõem um procedimento para coleta dos dados, apresentado na Figura 6. Este procedimento deve ser utilizado pelas empresas para coletar os dados referentes ao retrabalho executado durante a fase construtiva. Para facilitar a coleta de dados no campo, os autores da metodologia desenvolveram um sistema de coleta chamado *Field Rework Data Collection System (FRDCS)*, utilizando-se o *software Microsoft Access 2000* com uma interface *Microsoft Visual Basic 6.0*. Este sistema permite a elaboração de diversos gráficos, por meio dos quais os responsáveis pela fase construtiva do empreendimento analisam as tendências de retrabalho, suas causas principais e os impactos em custos e prazos, e podem traçar estratégias para reduzir o retrabalho.

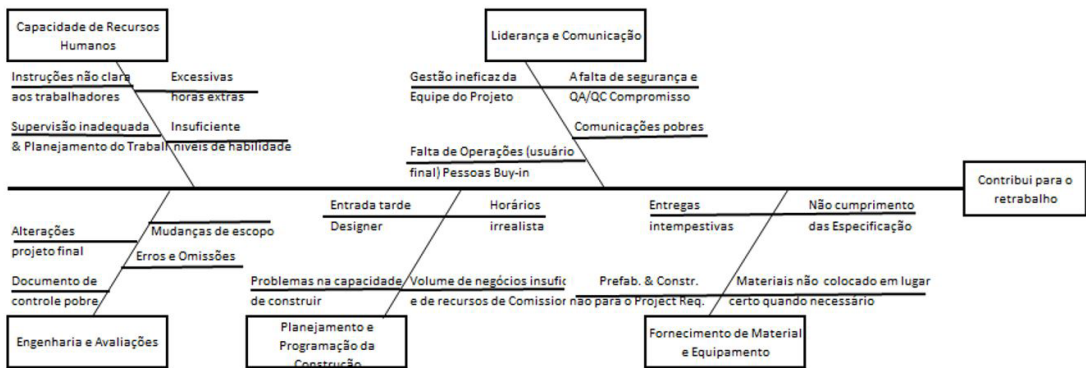


Figura 5. Sugestão das causas de retrabalho. Fonte: Fayek et al. (2004).

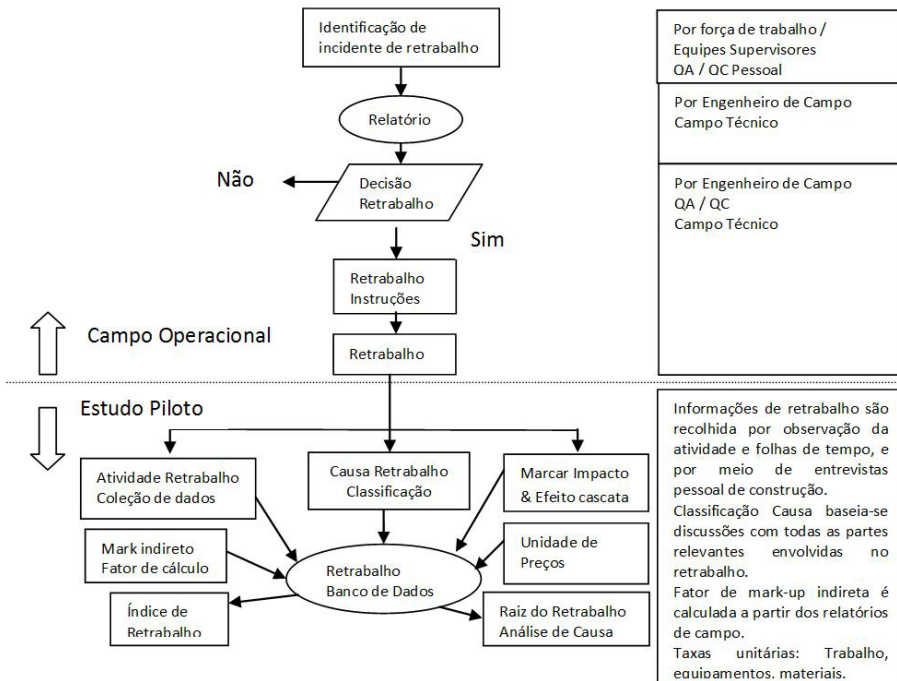


Figura 6. Procedimento utilizado para coleta dos dados. Fonte: Fayek et al. (2004).

4 Análise dos resultados

A partir da revisão bibliográfica, foram levantadas e examinadas as principais metodologias de mensuração de retrabalho, discutidas na Seção 3. São estas: *Reduction Rework Program* do *Construction Industry Institute* (CII, 2011); *Best Productivity Practices Implementation Index* do *Construction Industry Institute* (CII, 2013); Metodologia do *Construction Owners Association of Alberta* (COAA, 2006), e *Measuring and Classifying Construction Field Rework* (Fayek et al., 2004). Essas quatro metodologias são as alternativas a serem inseridas na estrutura do AHP. Para facilitar a inserção dessas informações no *software Super Decisions*, cada modelo foi abreviado através de siglas: RPCI, BPPII, COAA e Fayek et al. (2004).

Depois de definidas as alternativas, foram definidos os critérios a serem usados para selecionar as alternativas disponíveis. A determinação dos critérios foi baseada em entrevistas com cinco especialistas que atuam há mais de 10 anos no setor de montagem industrial e com três pesquisadores acadêmicos que estudam o tema em questão. Todos os entrevistados são engenheiros civis com cursos de pós-graduação. Através das consultas a especialistas, foram definidos os critérios para a avaliação das alternativas de metodologias de medição de retrabalho. Os especialistas contribuíram com sua experiência no tema para a definição dos critérios. Foram considerados seis critérios, a saber:

- **Abrangência:** limitação da metodologia em relação à extensão do ciclo de vida do empreendimento, observando sua aplicação em todas as etapas do ciclo;

- **Implantação:** facilidade de implementação da metodologia em empreendimentos, considerando a rapidez, o número de pessoas envolvidas, a facilidade de treinamento, a necessidade de mudanças em processos existentes e a disponibilidade de ferramentas de gestão e sistemas;
- **Custos:** custo total de propriedade, no qual são considerados todos os custos envolvidos na aplicação da metodologia, ou seja, custos de aquisição, implantação, treinamento e operação;
- **Entrada de dados:** facilidade para obtenção e inserção dos dados no sistema de cada metodologia;
- **Operação do Sistema:** são considerados os conceitos de confiabilidade, disponibilidade e manutenção para os sistemas operacionais das diferentes metodologias;
- **Resultados:** consideram-se os níveis de acuracidade, confiabilidade, facilidade de obtenção e interpretação dos indicadores obtidos pela metodologia.

Com base nas informações das alternativas e dos critérios, foi construída a hierarquia do AHP, apresentada na Figura 7, que, segundo Saaty (2008), pode ser estruturada em uma árvore de decisão.

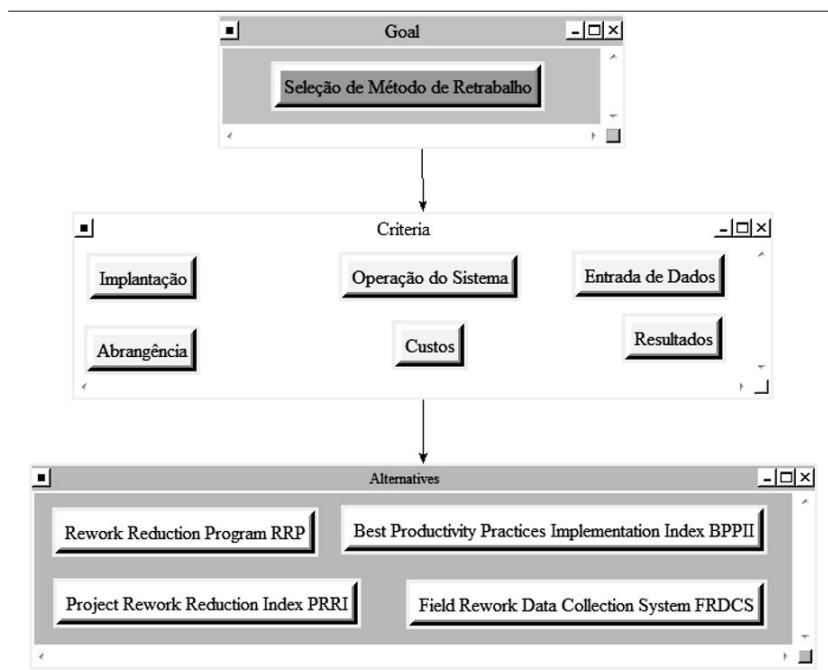


Figura 7. Estrutura Hierárquica. Fonte: Autores (2015).

Para o julgamento, foi preparado um questionário e distribuído para os oito especialistas, para o julgamento, par a par, pela escala de Saaty, dos critérios e das alternativas. A escala utilizada nos julgamentos é a proposta por Saaty (1991), composta por números absolutos de 1 a 9. Os especialistas realizaram os julgamentos entre critérios e também entre as alternativas em relação a cada critério, resultando em uma matriz pareada dos elementos da hierarquia.

Tabela 2. Índice de Inconsistência para os critérios.

| Critério | Índice de Inconsistência |
|---------------------|---------------------------------|
| Abrangência | 0,07017 |
| Custos | 0,06948 |
| Entrada de dados | 0,00772 |
| Implantação | 0,08062 |
| Operação do sistema | 0,09363 |
| Resultados | 0,03120 |

Fonte: Autores (2015).

Tabela 3. Ordem decrescente de importância dos métodos em relação a cada critério.

| Critério | Importância dos métodos |
|---------------------|--------------------------------|
| Abrangência | RRP > PRRI > BPPII > FRDCS |
| Custos | PRRI > BPPII > RRP > FRDCS |
| Entrada de dados | PRRI > BPPII > RRP > FRDCS |
| Implantação | RRP > BPPII > PRRI > FRDCS |
| Operação do sistema | BPPII > RRP = PRRI > FRDCS |
| Resultados | RRP > PRRI > BPPII = FRDCS |

Fonte: Autores (2015).

Os autores intermediaram o processo e, com base nas respostas dos especialistas aos questionários, preencheram os dados no software *Super Decisions*, desenvolvido por Thomas Saaty. Esta ferramenta computacional foi utilizada para a análise do método AHP, a verificação de inconsistências e a análise dos resultados.

De acordo com Al-Harbi (2001), é necessário avaliar a consistência dos julgamentos dos especialistas, o que Saaty (1991) denominou como índice de inconsistência (CR). Segundo Hsiao (2002), se o valor do CR for superior a 10%, os julgamentos estão inconsistentes e devem ser revisados. No presente trabalho, os julgamentos dos critérios e das alternativas em relação a cada critério foram consistentes, pois o CR calculado em cada matriz apresentou um valor inferior a 10%.

No resultado do julgamento para hierarquização dos critérios considerados, o índice de inconsistência apresentado foi de 0,09633, sendo aceitável. A Tabela 2 apresenta os índices de inconsistências obtidos para cada critério. Destaca-se que todos os índices são inferiores a 0,1, sendo, portanto, aceitáveis. A Tabela 3 apresenta a ordem decrescente de importância dos métodos em relação a cada um dos critérios.

A Figura 8 indica o resultado das prioridades, tanto em relação aos métodos em análise quanto aos critérios adotados. Baseado nas informações da Figura 8, a metodologia selecionada pela AHP a ser utilizada para mensuração do retrabalho é a

| Name | Normalized by Cluster | Limiting |
|---|------------------------------|-----------------|
| Best Productivity Practices Implementation~ | 0.18429 | 0.092143 |
| Field Rework Data Collection System FRDCS | 0.11931 | 0.059653 |
| Project Rework Reduction Index PRRI | 0.24596 | 0.122982 |
| Rework Reduction Program RRP | 0.45044 | 0.225221 |
| Abrangência | 0.22880 | 0.114402 |
| Custos | 0.07072 | 0.035358 |
| Entrada de Dados | 0.04685 | 0.023423 |
| Implantação | 0.10249 | 0.051244 |
| Operação do Sistema | 0.11653 | 0.058265 |
| Resultados | 0.43462 | 0.217308 |
| Seleção de Método de Retrabalho | 0.00000 | 0.000000 |

Figura 8. Prioridades dos Resultados. Fonte: Autores (2015).

RRP, que aparece em primeiro lugar, com um peso na hierarquia de 45,044%. Em segundo, o método PRRI, com 24,596%; em terceiro, o método BPII, com 18,429% e, por último, o método FRDCS, com 11,931%. Assim, a priorização dos métodos, obtida pela AHP, é: RRP > PRRI > BPII > FRDCS.

Para finalizar a aplicação do AHP, realizou-se a análise global dos pesos relativos dos critérios em relação ao objetivo e do desempenho das alternativas com relação aos critérios; para os critérios de seleção da metodologia de medição de retrabalho, verifica-se que o mais importante é o critério Resultado, com 43,462%, seguindo-se, pela ordem: Abrangência com 22,88%, Operação do Sistema com 11,653%, Implantação com 10,249%, Custos com 7,072% e, por último, Entrada de Dados com 4,685%. Desta forma, conforme apresentado na Figura 8, os critérios em ordem decrescente de importância são: Resultados > Abrangência > Operação do sistema > Implantação > Custos > Entrada de dados.

5 Considerações finais

A ocorrência de retrabalho nos empreendimentos acarreta custos adicionais, que impactam significativamente nos custos totais. Particularmente, em projetos industriais de construção pesada, os problemas decorrentes do retrabalho são mais complexos. Assim, para tentar quantificar e minimizar as consequências do retrabalho, diversos autores e entidades têm estudado o problema e buscado soluções para a má utilização de equipamentos, mão de obra, materiais e recursos financeiros quantitativamente superiores àquelas necessárias. Para isto, diversas metodologias foram criadas e explicitadas ao longo do artigo. No entanto, mostrou-se extremamente importante que essas metodologias fossem estudadas e, dentre estas, fosse definida a mais eficaz.

Neste contexto, o presente artigo utilizou o método AHP, um dos mais conhecidos e utilizados métodos de apoio à decisão, com o intuito de determinar a metodologia para a medição, prevenção, correção e mitigação de retrabalho mais eficaz a ser aplicada no segmento de montagem industrial. Portanto, foi determinado que a metodologia *Rework Reduction Program* é a que apresenta os melhores resultados em relação à medição de retrabalho, conforme os critérios selecionados, sendo, assim, a mais indicada a ser adotada no segmento de montagem industrial. Como resultado da análise, também foi obtido o ordenamento dos critérios para seleção da metodologia mais eficaz. No caso, o critério Resultado, seguido por Abrangência, Operação do Sistema, Implantação, Custos e Entrada de Dados.

Enfim, a aplicação do AHP para a seleção da metodologia de medição de retrabalho permite que se possa realizar uma escolha mais qualificada sobre qual a metodologia de mensuração de retrabalho a

adotar, contribuindo assim para a redução dos níveis de tendenciosidade, subjetividade e arbitrariedade do processo. No entanto, deve ser ressaltado que a qualidade do julgamento feita pelos decisores é um aspecto relevante na avaliação. Portanto, recomenda-se que, antes da decisão final de escolha do método (*Rework Reduction Program*), seja desenvolvido um teste no qual se utilize a metodologia escolhida, de maneira a se demonstrar na prática todo o seu potencial. Ainda como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação de outros métodos de tomada de decisão multicritérios, além do desenvolvimento de estudos sob a ótica da economia dos custos de transação, parte de pesquisa da nova economia das instituições, para seleção de métodos de retrabalho.

Referências

- Al-Harbi, K. M. A. (2001). Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, 19(1), 19-27. [http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00038-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00038-1). </jrn>x
- Ashford, J. L. (1992). *The management of quality in construction*. London: E&F Spon.
- Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção – ABRAMAT. Fundação Getúlio Vargas – FGV. (2009). *Perfil da cadeia construtiva da construção e da indústria de materiais*. Rio de Janeiro: ABRAMAT/FGV Projetos.
- Burati, J. L., Farrington, J. J., & Ledbetter, W. B. (1992). Causes of quality deviations in design and construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(1), 34-49. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1992\)118:1\(34\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1992)118:1(34)).
- Colombo, C. R., & Bazzo, W. A. (2001). Desperdício na construção civil e a questão habitacional: um enfoque. *Revista Roteiro*, 26(46), 135-154.
- Construction Industry Development Agency and Masters Builders Australia – CIDA. (1995). *Measuring up or muddling through: best practices in the Australian non-residential construction industry* (pp. 59-63). Sidney.
- Construction Industry Institute – CII. (1997). *Pre-project planning tools: PDRI and alignment*. Texas: The University of Texas. Research summary 113-1.
- Construction Industry Institute – CII. (2011). *A guide to construction rework reduction*. Texas: The University of Texas.
- Construction Industry Institute – CII. (2013). *Best productivity practices implementation index infrastructure projects*. Texas: The University of Texas.
- Construction Owners Association of Alberta – COAA. (2001, 28 september). *Field rework committee meeting minutes*. Alberta.
- Construction Owners Association of Alberta – COAA. (2006). *Getting started with project reduction rework index (PRRI)*. Alberta.

- Costa, H. G. (2006). *Auxílio multicritério à decisão: método AHP*. Rio de Janeiro: ABEPRO.
- Fayek, A. R., Dissanayake, M., & Campero, O. (2003). *Measuring and classifying construction field rework: a pilot study*. Edmonton: Construction Owners Association of Alberta, The University of Alberta. Research rep (May).
- Fayek, A. R., Dissanayake, M., & Campero, O. (2004). Developing a standard methodology for measuring and classifying construction field rework. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31(6), 1077-1089. <http://dx.doi.org/10.1139/104-068>.
- Fé Castro, R. A. M., Vilanova, J. M., & Brasileiro, L. S. (2014). Análise da problemática do retrabalho em empreendimentos imobiliários de alto padrão. In Anais da 14ª Conferência Internacional da Latin American Real Estate Society. Rio de Janeiro: LARES.
- Gibson, G. E., & Dumont, P. R. (1996). *Project definition rating index (PDRI) for industrial projects*. Austin: Construction Industry Institute. Construction Index Implementation Resource, 113-2.
- Grohmann, M. (1998). Redução de desperdício na construção civil: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas de Santa Maria. In Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Niterói: ABEPRO.
- Hegazy, T., Said, M., & Kassab, M. (2011). Incorporating rework into construction schedule analysis. *Automation in Construction*, 20(8), 1051-1059. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2011.04.006>.
- Ho, W. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications: a literature review. *European Journal of Operational Research*, 186(1), 211-228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2007.01.004>.
- Hossain, M. A., & Chua, D. K. H. (2014). Overlapping design and construction activities and an optimization approach to minimize rework. *International Journal of Project Management*, 32(6), 983-994. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.10.019>.
- Hsiao, S. W. (2002). Concurrent design method for developing a new product. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29(1), 41-55. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-8141\(01\)00048-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-8141(01)00048-8).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2012). *Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2012*. Rio de Janeiro. Recuperado em 24 de julho de 2015, de <http://www.ibge.gov.br>
- Love, P. E. D. (2002). Influence of project type and procurement method on rework cost in building construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(1), 18-29. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:1\(18\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:1(18)).
- Love, P. E. D., Smith, J., & Li, H. (1999). The propagation of rework benchmark metrics for construction. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 16(7), 638-658. <http://dx.doi.org/10.1108/02656719910249829>.
- Love, P. E. D., & Li, H. (2000). Quantifying the costs and causes of rework in construction. *Construction Management and Economics*, 18(4), 479-490. <http://dx.doi.org/10.1080/01446190050024897>.
- Love, P. E. D., & Smith, J. (2003). Benchmarking, bench-action and bench-learning: rework mitigation in projects. *Journal of Management Engineering*, 19(4), 147-159. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2003\)19:4\(147\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2003)19:4(147)).
- Marchezetti, A., Kaviski, E., & Braga, M. C. B. (2011). Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. *Ambiente Construído*, 11(2), 173-187. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212011000200012>.
- Mastenbroek, Y. C. (2010). *Reducing rework costs in construction projects* (Tese de bacharelado). University of Twente, Enschede.
- Nandhakumar, C., & Ranjit, R. (2015). A study on factors influencing reworks in construction project. *International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology*, 2. Recuperado em 29 de julho de 2015, de <http://www.ijartet.com>
- Project Management Institute – PMI. (2013). *PMBOK: project management book of knowledge* (5. ed.). Pensilvânia.
- Rogge, D. F., Cogliser, C., Alaman, H., & McCormack, S. (2001). *An investigation of field rework in industrial construction*. Texas: The University of Texas, Construction Industry Institute. Research Report 153011.
- Saaty, T. L. (1991). *Método de análise hierárquica*. São Paulo: McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. <http://dx.doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>.
- Serviço Brasileiro de apoio a Pequena e Média Empresa-Minas Gerais – SEBRAE-MG. (2005). *Perfil setorial da construção civil*. Uberlândia. Recuperado em 29 de julho de 2015, de <http://www.sebrae-mg.com.br>
- Simpeh, E. K. (2012). *An analysis of the causes and impact of rework in construction projects* (Dissertação de Mestrado). Peninsula University of Technology, Bellville.
- Sindicato Nacional da Indústria da Construção Pesada-Infraestrutura – SINICON. (2015). *Setor de construção pesada no Brasil*. Rio de Janeiro. Recuperado em 30 de julho de 2015, de <http://www.sinicon.org.br>
- United States Bureau of Economic Analysis – BEA. (2014). Recuperado em 30 de julho de 2015, de <http://www.bea.gov>