

# Localização de instalações para destinação de resíduos sólidos da construção civil por meio da logística reversa e de um método multicritério

## Location of facilities for the disposal of solid waste in construction through reverse logistics and a multi-criteria method

GONÇALVES, Wellington [1](#); FREITAS, Rodrigo Randow de [2](#); ZATTA, Fernando Nascimento [3](#)

Recibido: 21/03/2017 • Aprobado: 23/04/2017

### Conteúdo

- [1. Introdução](#)
  - [2. Referencial Teórico](#)
  - [3. Metodologia](#)
  - [4. Resultados e discussão](#)
  - [5. Considerações finais](#)
- [Referências](#)

#### RESUMO:

A construção civil é um importante segmento da indústria, devido aos efeitos sobre a economia, formado por uma enorme quantidade de atividades. Esse conjunto de atividades distintas e interligadas entre si, provocam um elevado consumo de recursos naturais, com elevada geração de resíduos sólidos. Assim, este artigo teve como objetivo apresentar uma discussão sobre a destinação de resíduos sólidos que desafiam a construção civil. O estudo foi realizado mediante pesquisa survey, sendo utilizados o instrumento Logística Reversa e o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), para auxiliar a operacionalização quanto à decisão multicritérios. Os resultados indicam que a associação da Logística Reversa e o AHP foram eficientes para determinar a relação entre o local de produção dos resíduos e os locais de destinação, o que contribui para as empresas se posicionarem quanto aos

#### ABSTRACT:

Civil construction is an important segment of the industry, due to the effects on the economy, formed by an enormous amount of activities. This set of distinct activities and interconnected with each other, cause a high consumption of natural resources, with high generation of solid waste. Thus, this article aimed to present a discussion on the disposal of solid waste that defies civil construction. The study was conducted through a survey. Reverse Logistics instrument and the Analytic Hierarchy Process method were used (AHP) to assist the operation as the advanced decision. The results indicate that the combination of Reverse Logistics and AHP were efficient in determining the relationship between the place of production of waste and destination sites, which contributes to companies positioning themselves on sustainability and corporate social responsibility issues.

## 1. Introdução

A indústria da construção civil brasileira ainda encontra entraves e dificuldades quanto a questões relacionadas ao gerenciamento de suas atividades, sendo que tal fato ocorre devido à natureza complexa dos empreendimentos de construção (CÂNDIDO et al., 2016). Citemos por exemplo, entraves quanto a gestão de pessoas (TAVARES et al., 2014), relacionados a saúde e bem-estar do colaborador (ARAÚJO; SOUZA, 2006), problemas sociais e ambientais (RAMOS et al., 2014) e controle contábil (FREJ; ALENCAR, 2010).

Corroborando, este segmento econômico reúne uma elevada quantidade de atividades (projeto, materiais e construção), formando assim um macro complexo da construção que, muitas vezes, pode criar barreiras. Ineficiências de execução que ao ignorar as fases de planejamento e manutenção acarretam atrasos de cronograma, como baixa qualidade da construção e, a geração e a destinação de resíduos sólidos (MÉLO FILHO et al., 2012; DAHLBO et al., 2015).

No Brasil, a construção civil é apontada como responsável por cerca de 14% do Produto Interno Bruto (PIB), e considerada como o setor que consome uma das maiores quantidades de recursos naturais no país (MESQUITA, 2012). Não obstante, a atividade é notadamente importante para o desenvolvimento da sociedade (CÂNDIDO et al. (2016), entretanto, também é entendida como um representativo potencial gerador de impactos ambientais (TESSARO et al., 2012; JI et al., 2015), o que requer planejamento e ações contínuas, direcionado às modificações e possíveis danos (WIGGER et al., 2015).

De acordo com dados da Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2013), das 189 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos coletados por dia, 117 mil toneladas são de Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD), representando entre 50% (PINTO, 1999; JOHN, 2000; ANGULO et al., 2011) e 62% (ABRELPE, 2013) da massa dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Devido a esse problema, Kinobe et al. (2012), relatam que a correta destinação desses resíduos sólidos, varia de cenário para cenário tendo em vista a natureza complexa dos empreendimentos de construção. Sendo que isto deve envolver um planejamento e ações de curto, médio e longo prazo, ressaltando-se a relevância do tema, por tratar-se de um problema que se amplia exponencialmente com o crescimento populacional, e, por conseguinte, os danos causados ao meio ambiente (MILUTINOVIC et al., 2014).

Quanto aos custos de operação e manutenção dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com Almeida (2016), as metas previstas no âmbito político e no Plano Nacional de Resíduos Sólidos chegam a R\$ 15,59 bilhões ao ano, destacando-se que 70 milhões de toneladas coletadas no Brasil anualmente, ainda têm como destino lixões e aterros controlados, considerados ambientalmente inadequados. Esse plano também estima investimentos para universalizar os serviços de tratamento e destinação final adequada, num montante da ordem de R\$ 11,6 bilhões até 2031 (ABRELPE, 2013).

Corroborando com esse cenário de má deposição e destinação, Milutinovic et al. (2014), relatam que o acondicionamento desses resíduos, na maioria das vezes, é realizado de forma irregular, suscitando não somente problemas de ordem estética, mas também ambiental e de saúde pública.

Diante desse contexto, relevância da pesquisa e com o objetivo da utilização de uma metodologia adaptável à diversos cenários, este estudo propôs a adoção de uma abordagem multicritério, com emprego da Logística Reversa e do *Analytic Hierarchy Process* - AHP (SAATY, 1977). Resultado de uma pesquisa quantitativa com escopo de *survey*, realizada em empresas de construção civil localizadas na microrregião nordeste do estado do Espírito Santo (Brasil), no intuito de identificar a relação entre o local de produção dos resíduos e de destinação.

## **2.Referencial Teórico**

### **2.1. Resíduos Sólidos da construção civil**

Segundo Mesquita (2012) a construção civil pode ser vista como sendo um importante segmento da indústria, que influencia diretamente o PIB, e por isso, é considerada um relevante indicativo do crescimento econômico e social de país. Por esse motivo, de acordo com Cândido et al. (2016), esse é um dos setores que primeiramente advém impactos da economia. Dessa forma, pode haver tanto significativos desenvolvimentos, quanto estagnação, por ser dependente da saúde financeira de uma nação.

Entretanto, para Ji et al. (2015), embora a construção civil auxilie o desenvolvimento econômico de uma nação, também, se apresenta como uma atividade geradora de impactos ambientais severos. Para Wigger et al. (2015), os resíduos sólidos da construção civil têm representado um problema cada vez mais crescente, que deve ser gerenciado a partir de uma abordagem que considere diversos critérios. De acordo com estes autores, essa atividade promove um acentuado consumo de recursos naturais, a qual promove a necessidade e geração de variados cenários, tanto para jazida, quanto bota fora.

Segundo Silva e Fernandes (2012), o setor da construção civil é um dos maiores geradores de resíduos sólidos em meio urbano, contribuindo diretamente na poluição de margens de rios, sendo acumulados em terrenos baldios ou outros locais inapropriados a destinação. Assim, o setor da construção civil se depara com a necessidade de possuir ferramentas que possibilitem realizar planejamentos que minimizem essa situação, e que permitam a obtenção de uma atividade produtiva lucrativa com desenvolvimento sustentável.

No entanto, antes da adoção de planejamentos e estratégias, para Kinobe et al. (2012), é importante que haja práticas de gestão que levem a minimização da geração de resíduos sólidos. Para estes autores, nos países em desenvolvimento há falta de atenção a esta problemática, tanto por parte de governantes quanto da iniciativa privada, como produto final o meio ambiente tem sido degradado demasiadamente.

Na opinião de Wigger et al. (2015), os resíduos sólidos da construção civil podem ser considerados de baixa periculosidade em termos individuais, sendo os danos e impactos ao meio ambiente causados pelo acúmulo do amplo volume gerado. Essa evidência também é apontada por Milutinovic et al. (2014), em que o arranjo físico desses resíduos, suscita além de danos ao meio ambiente, devido a características diversificadas destes, serve de vetor para diversas doenças, comprometendo a saúde pública.

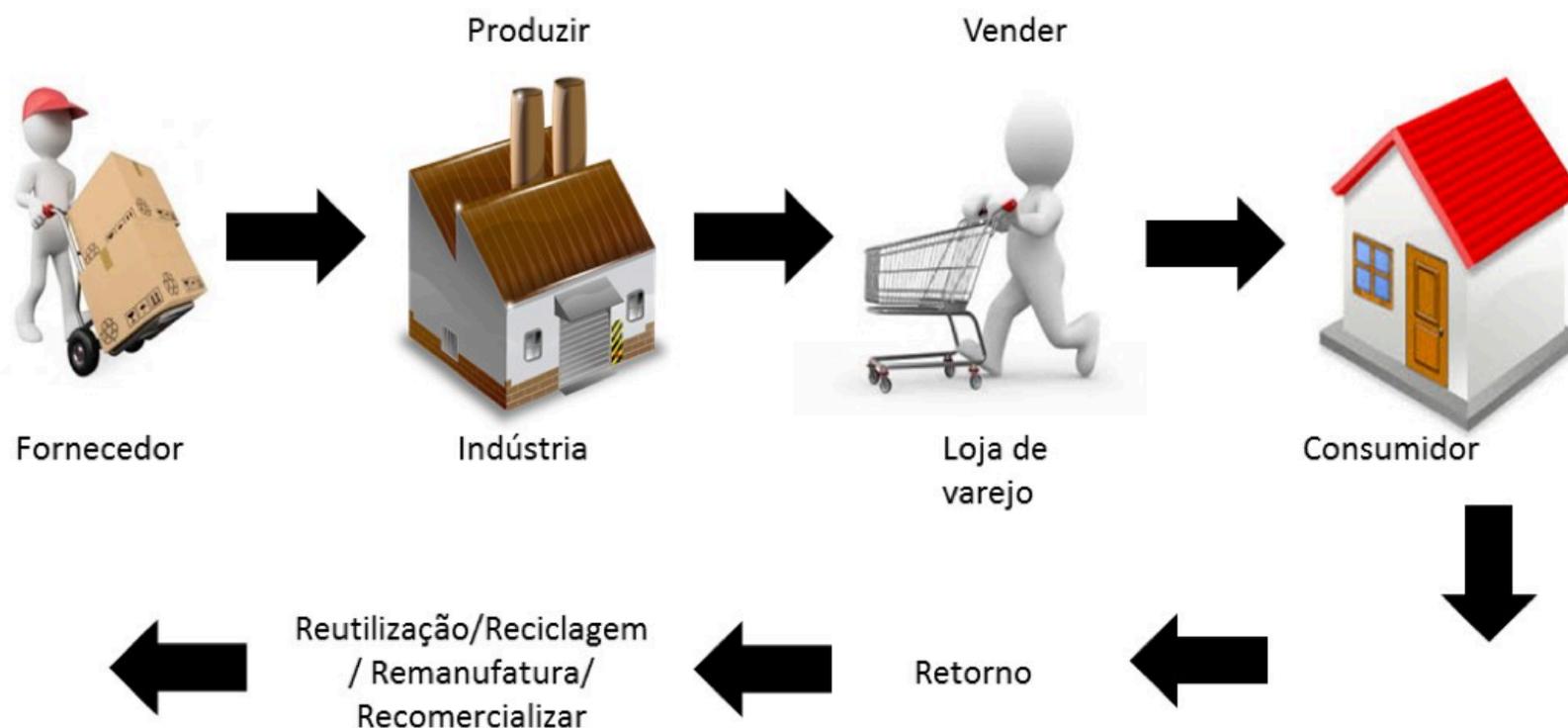
### **2.2. Logística. Reversa (LR)**

A crescente evolução da industrialização tem aumentado as alternativas de mercadorias, possibilitando diversas oportunidades de escolha por parte dos consumidores. Por outro lado, os produtos passaram a ter um ciclo de vida com uma obsolescência planejada (GOVINDAN et al., 2015). Desta forma, a descartabilidade se tornou comum nos dias atuais, e para minimizar este problema, os gestores têm na logística reversa uma ferramenta de gestão aplicada ao planejamento, operação e controle dos fluxos reversos de matérias-primas, estoques em processamento, produtos acabados e as informações necessárias, desde o ponto de consumo voltando ao ponto de origem (LAGE et al., 2015).

Segundo Gupta et al. (2015) a logística reversa gerencia o fluxo operacional na cadeia de suprimentos, de forma a empregar e implementar recursos de forma eficaz. Para estes autores, este ramo da logística inclui todas as atividades referentes a remanufatura, retornos de produtos, processos de desmontagem, entre outras, que possam garantir uma destinação final ambientalmente adequada.

Quanto à gestão de fluxos na logística reversa, Zhang et al. (2011) relatam que se trata de um

processo sistemático de movimentação de um produto do usuário final para qualquer estágio da cadeia de suprimentos para uso na reciclagem, remanufatura e reutilização (Figura 1).



**Figura 1.** Estrutura da cadeia de suprimento, onde o sucesso de uma empresa depende da sua capacidade de conseguir uma integração eficaz das relações organizacionais dentro de uma cadeia de abastecimento.

Fonte: Adaptado pelos autores, baseado em Zhang et al. (2011).

Corroborando, Kinobe et al. (2012) destacam que, a logística reversa, por compreender o planejamento e otimização de rotas, contribui diretamente para soluções que envolvem a gestão de resíduos sólidos, pois envolve produtos acabados e informações relacionadas desde o ponto de consumo até o ponto de origem, permite otimizar custos de distribuição e programações de recolhimento.

Assim, durante a última década, ênfase tem sido dada a degradação ambiental e às várias oportunidades de minimização de custos, sendo que as organizações têm necessitado de estratégias híbridas que tornem os resultados obtidos mais eficazes mediante o emprego conjunto da logística reversa com técnicas e métodos que proporcionem a verticalização das soluções (HERNÁNDEZ et al., 2011).

Para Arif et al. (2012), as empresas que atuam na construção civil têm na logística reversa alternativas sustentáveis para os resíduos sólidos, devido aos custos extração, movimentação e destinação envolvidos, e com isso, proteger as fontes naturais e diminuir a contaminação por desperdício. Neste contexto, Gupta et al. (2015) destacam a importância da logística reversa, pois esta centra sua atenção sobre os resíduos, e os materiais provenientes de qualquer atividade humana ou provenientes de forças naturais.

### **2.3. Analytic Hierarchy Process (AHP)**

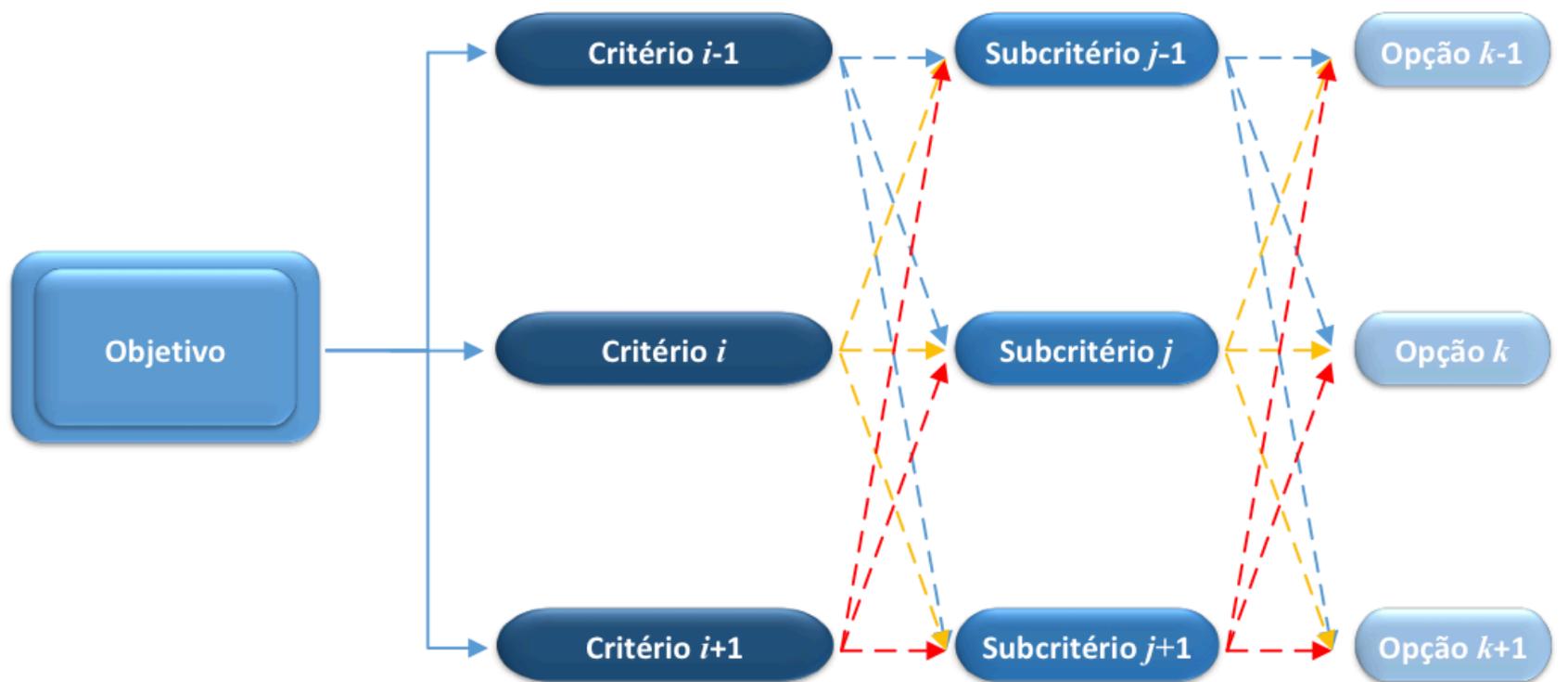
A *Multi-Criteria Decision making or Analysis* (MCDA) é um ramo da pesquisa operacional, a qual compreende uma série de métodos e técnicas (GUPTA et al., 2015). Os métodos MCDA mais utilizados incluem: *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), *Goal Programming*, *Analytic Network Process* (ANP), *Elimination and Choice Expressing REality* (ELECTRE), *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE) e MACBETH (MADADIAN et al., 2013; GONÇALVES; ASSUMPÇÃO, 2014; LOUREIRO et al., 2015). Esses métodos contribuem e auxiliam os tomadores de decisão a optarem por deliberações mais consistentes e coerentes.

Dos métodos MCDA citados, o AHP é o mais utilizado em problemas que envolvem múltiplas

alternativas (PEREIRA; BIANCHINI, 2013). Para Madadian et al. (2013), o AHP é uma ferramenta que permite estabelecer importantes elementos em um determinado problema, organizando-os em uma estrutura hierárquica. Para estes autores, essa ação reduz uma decisão complexa a uma série de comparações paritárias (simplificadas), que permitem julgamentos a partir da percepção dos respondentes. Devido a esses argumentos e características, o AHP foi selecionado para ser empregado neste estudo.

O AHP foi desenvolvido por Thomas Lorie Saaty da Universidade da Pensilvânia na década 1970, com o objetivo de reproduzir o raciocínio humano na comparação de elementos (GONÇALVES; ASSUMPÇÃO, 2014). Na opinião de Pereira e Bianchini (2013) esse método é um dos primeiros criados para promover o processo de tomada de decisão utilizando múltiplos critérios.

Cruz-Cunha e Varajão (2011) destacam que AHP é composto por três fases distintas: (i) definição do problema e do objetivo principal; (ii) definição da estrutura hierárquica com os pesos relativos de cada critério; e (iii) avaliação das soluções opções. No entanto, para Gonçalves e Assumpção (2014), a modelagem e exposição do problema deve ser clara, assertiva e estruturada em formato hierárquico, como mostra a Figura 2.



**Figura 2.** Estrutura hierárquica para operacionalização do AHP.  
Fonte: Adaptado pelos autores, baseado em Saaty (1977).

Desta forma, considerando a estrutura hierárquica estabelecida para operacionalização do AHP, os critérios e subcritérios são comparados par-a-par utilizando uma escala de preferência (Tabela 1).

**Tabela 1.** Escala fundamental de Saaty

| Nível de importância | Escala verbal           |
|----------------------|-------------------------|
| 1                    | Igualmente importante   |
| 3                    | Importância moderada    |
| 5                    | Forte importância       |
| 7                    | Importância muito forte |

|            |                        |
|------------|------------------------|
| 9          | Importância absoluta   |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermediários |

Fonte: Adaptado pelos autores, baseado em Saaty (1977).

A comparação paritária que é a primeira operação realizada dentro do escopo do AHP, fornece uma comparação de critérios, que são empregados na análise de decisão, determinando valores para cada um dos critérios (LIN; SHIUE, 2013). Com isso, no AHP, é gerada uma matriz como resultado destas comparações, a qual permite obter os pesos dos critérios como resultado dessa operação algébrica (CRUZ-CUNHA; VARAJÃO, 2011). Além disso, essa matriz possibilita determinar a *Consistency Ratio* (CR) das decisões na comparação paritária (PEREIRA; BIANCHINI, 2013). De acordo com Madadian et al. (2013), a CR revela a probabilidade aleatória de valores serem obtidos em uma matriz de comparação (SUBRAMANIAN; RAMANATHAN, 2012). Se critérios são determinados para uma comparação paritária, o AHP executa o seguinte processo para determinar o peso destes critérios (SAATY, 1977):

(a) Criar a matriz de comparação paritária  $A$  para  $n$  objetivos tais como (Equação 1):

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Em que  $a_{i,j}$  indica o quanto mais importante é o  $i$ -ésimo objetivo em comparação com o  $j$ -ésimo objetivo, ao mesmo tempo em que toma uma decisão adequada. Para tanto, um termo qualquer da matriz, de pontuação relativa genérica dita  $a_{i,j}$ , apresenta consistência absoluta se respeitar a regra de reciprocidade, ou seja, ele deve ser o inverso do seu correspondente.

(b) Divida cada valor na coluna  $j$  pelo total dos valores na coluna  $j$ . O total dos valores em cada coluna da nova matriz  $A_w$  deve ser um. Assim, é encontrada uma matriz de comparação paritária normalizada (Equação 2).

$$A_w = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} = \begin{pmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum a_{i2}} & \frac{a_{1n}}{\sum a_{in}} \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum a_{i2}} & \frac{a_{nn}}{\sum a_{in}} \end{pmatrix} \quad (2)$$

(c) No AHP os  $c_i$  são determinados encontrando o autovetor principal da matriz  $A$ . Neste estudo é utilizada uma aproximação algébrica com uma primeira aproximação ao autovetor calculando o  $c_i$  como a média dos valores na linha  $i$  da matriz  $A_w$ , apurado para obter o vetor coluna  $C$  em que  $c_i$  valor mostra o grau relativo de importância (peso) do  $i$ -ésimo objetivo.

(d) Controlar a consistência dos valores de peso ( $c_i$ ). Para tanto, o procedimento a seguir para determinar a coerência é o seguinte:

Primeiro, é calculado o vetor de consistência por meio da matriz  $A \times C$  (Equação 3).

$$A \times C = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nn} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_1 \\ c_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

Em segundo lugar,  $x_i$  é obtido a partir do produto  $A \times C$ , que é uma segunda, melhor, aproximação ao autovetor. A partir dessa operação é estimado o autovalor ( $\lambda_{máx.}$ ) da matriz de comparação paritária usando a seguinte fórmula (Equação 4).

$$\lambda_{máx.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{c_i} \quad (4)$$

Em seguida, é calculado o *Consistency Index* (CI) empregando a seguinte fórmula (Equação 5).

$$CI = \frac{(\lambda_{máx.} - n)}{(n-1)} \quad (5)$$

Finalmente, para garantir a consistência da matriz de comparação paritária, o julgamento de consistência deve ser verificado para o valor apropriado de  $n$  por meio da *Consistency Ratio* (CR) utilizando a Equação 6.

$$CR = CI / RI \quad (6)$$

Em que o *Random consistency Index* (RI) apresenta distintos valores para diferentes números de  $n$  (Tabela 2), sendo considerado  $\lambda_{máx.}$  o maior autovalor da matriz de julgamentos, e  $n$  a ordem da matriz.

**Tabela 2.** Índice Randômico

| 1 | 2 | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,58 |

Fonte: Adaptado pelos autores, baseado em Saaty (1977).

No entanto, se o grau de consistência é considerado satisfatório, no entanto, se existem inconsistências críticas, com isso, os resultados devem ser revistos, e na reincidência destas inconsistências deve haver novos julgamentos (SAATY, 1977).

### 3. Metodologia

Este estudo utilizou dados primários coletados por meio de levantamento *survey* (CARNEVALLI

et al., 2013), junto a 15 empresas que atuam na construção civil, localizadas na microrregião nordeste do Estado do Espírito Santo. A seleção desta localidade ocorreu devido a representatividade de investimentos em infraestrutura logística para a movimentação de cargas, os quais estão sendo realizados no setor (BRASIL, 2010). Os entrevistados foram selecionados por serem especialistas em suas áreas (60 profissionais), incluem-se os gerentes de Divisão de Transporte e Logística Reversa, de Desenvolvimento Estratégico e da Divisão de Garantia da Qualidade de Serviço. Estes foram escolhidos por estarem envolvidos diretamente no planejamento e operação de destinação de resíduos sólidos na região de estudo. Entretanto, para alcançar respostas fidedignas, o relacionamento e a confiança, foi estabelecido um canal de comunicação franca, por meio da elucidação do propósito e das vantagens deste estudo.

Foi adotado o nível de confiança de 95%, com valor da abscissa de 1,96 e erro amostral máximo de 5 pontos percentuais, e proporção estimada da população de 95 pontos, os quais atendem o intervalo ( ), para um valor de (KALSON, 2014).

A primeira etapa composta por quatro fases, envolveu a investigação de constructos relativos à logística reversa que serviram de base para a definição de critérios, subcritérios e alternativas, e a segunda etapa compreendeu a operacionalização do AHP por meio de três fases (Figura 3).



**Figura 3.** Estrutura da metodologia utilizada, sendo que o processo de investigação compreendeu duas etapas complementares que visaram auxiliar a localização de instalações para destinação de resíduos da construção civil

A primeira etapa foi iniciada com a investigação e levantamento de constructos teóricos relacionados à seleção de local para destinação de resíduos sólidos da construção civil (1ª fase). Na sequência, o instrumento de coleta de dados foi testado junto a uma amostra de 5% da população, tendo por objetivo a verificação da aderência destes constructos e à realidade vivenciada no mercado (2ª fase). Já a terceira fase realizou-se um ajuste no instrumento a partir das indicações levantadas na fase anterior, em seguida, a versão final do questionário foi aplicada a população. Por conseguinte, tendo por base os resultados obtidos, foram definidos os critérios, subcritérios e alternativas utilizados na operacionalização do AHP (4ª fase).

A segunda etapa foi iniciada considerando os parâmetros de decisão definidos, os quais foram utilizados para delimitação do problema e objetivo a ser atingido com o AHP, configurando a estruturação inicial que serviram como base dos julgamentos paritários (PEREIRA; BIANCHINI, 2013). Em seguida, com estas informações foi realizada a elaboração da estrutura hierárquica do objetivo elaborado, encerrando com isso a fase de estruturação.

Na sequência, a avaliação dos critérios e subcritérios foi realizada a partir de julgamentos paritários (SUBRAMANIAN; RAMANATHAN, 2012), sendo em seguida verificada a existência de possíveis inconsistências nessas ponderações (segunda fase da operacionalização do AHP). A terceira fase realizou a apuração dos pesos dos critérios e subcritérios, e, a partir disso, foram

## 4. Resultados e discussão

A primeira etapa da metodologia proposta levantou constructos relacionados à seleção de local para destinação de resíduos sólidos da construção civil, conforme propostos por Yuan e Shen (2011), Zhang et al. (2011), Kinobe et al. (2012), Lin e Shiue (2013), Govindan et al. (2015), e, considerando estes constructos e às características do problema e do cenário pesquisado, foi elaborado o questionário de coleta de dados (1ª fase).

Posteriormente ao desenvolvimento inicial do questionário, foram aplicados três testes-piloto, por corresponderam a uma amostra de 5% da população, alcançando-se como resultado, algumas questões que foram melhoradas, fortalecendo a objetividade e a acurácia do questionário. Assim, algumas variáveis da pesquisa foram adaptadas e originadas do teste-piloto e aplicadas a população em estudo (3ª fase). Onde a amostra final da pesquisa consistiu em 34 questionários preenchidos, dos quais 3 foram suprimidos, dos quais 1 por conter informações incompletas e omissas (*missing value*), e 2 *outliers* ( ), os quais foram subtraídos da análise de consistência estatística, equivalente a 91% de taxa de retorno.

Ao se adotar o nível de confiança de 95% e erro amostral máximo de 5 pontos percentuais, a amostragem de 31 questionários válidos pôde ser considerada representativa (KALSON, 2014). Também, ao se analisar a amostragem, verifica-se que a suposição de normalidade é comprovada, e, isto pode ser confirmado por meio da estatística descritiva, que exibiu valores entre -1,269 e 0,567, ratificando à assimetria (*skewness*) dos dados, os quais são confirmados pelos valores em relação à curtose (*kurtosis*), que variam entre -2,0 e -0,367 (BAI et al., 2015).

Corroborando, ao ser realizado o teste de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov, o qual toma por base a máxima diferença entre a distribuição acumulada da amostra e a esperada, expôs valores aceitáveis menores que 0,05 (KALSON, 2014; STRAIGYTE; BALIUCKAS, 2015), com níveis significativos para todos os constructos levantados na literatura (critérios e subcritérios), confirmando com isso a normalidade da amostragem.

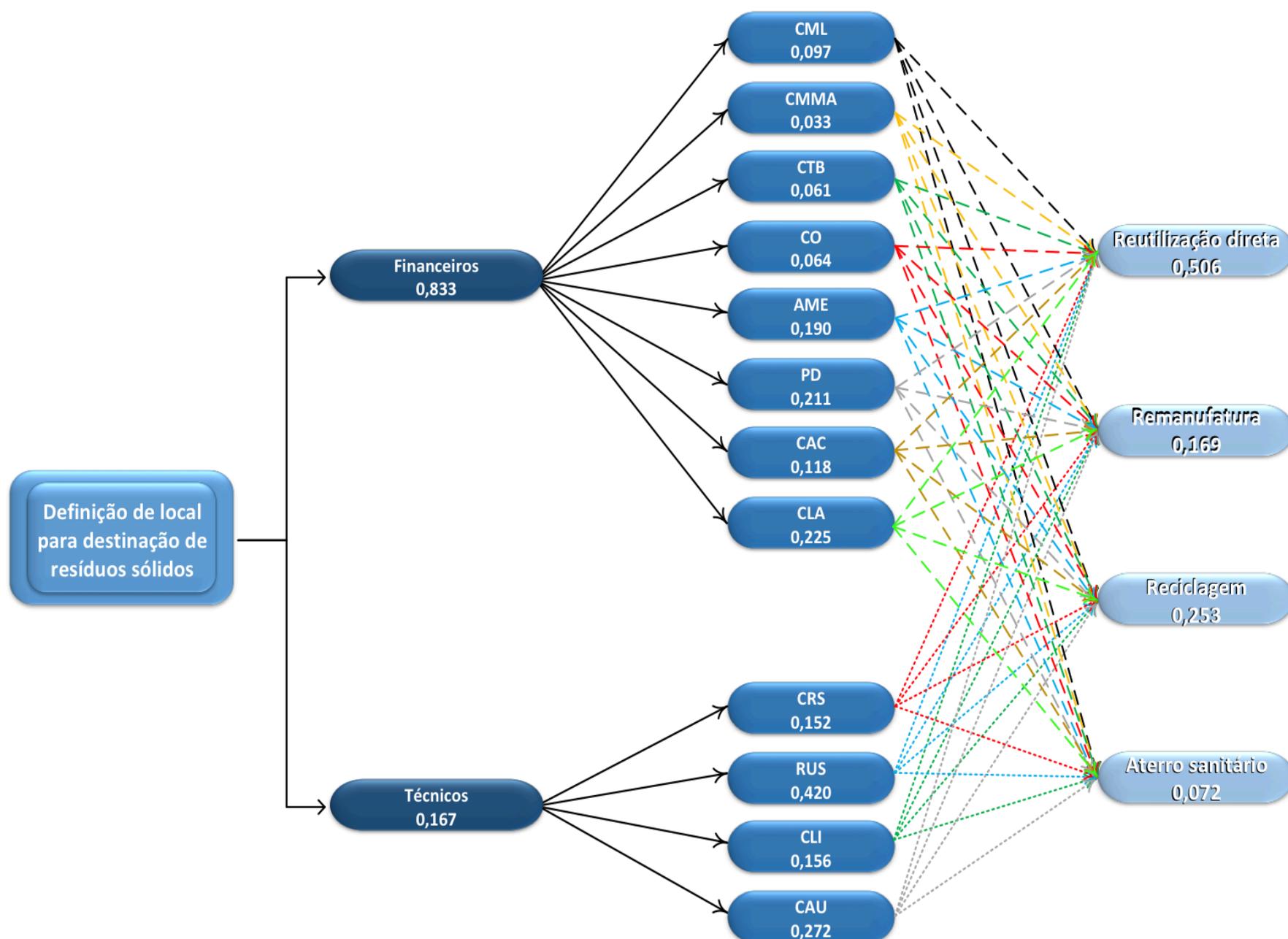
Por conseguinte, tendo por base os resultados obtidos, foram definidos os critérios, subcritérios e alternativas que foram utilizados na operacionalização do AHP (4ª fase), os quais são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Critérios e Subcritérios obtidos após o teste do instrumento de coleta de dados

| <b>Critérios</b> | <b>Subcritérios</b>                                     |
|------------------|---|
| Financeiro       | Custo da Mão de obra Local (CML).                       |
|                  | Custo de Manutenção, Movimentação e Armazenagem (CMMA). |
|                  | Custo de Transporte até o Bota fora (CTB).              |
|                  | Custo Operacional (CO).                                 |
|                  | Aquisição de Maquinários e Equipamentos (AME).          |
|                  | Pesquisa e Desenvolvimento (PD).                        |
|                  | Custo de Aquisição e Construção (CAC).                  |

|              |   |
|--------------|---|
|              | Custo da Licença Ambiental (CLA).                                 |
| Técnicos     | Características dos Resíduos Sólidos (CRS).                       |
|              | Restrições quanto ao Uso do Solo (RUS).                           |
|              | Características e Limitações ambientais (CLI).                    |
|              | Capacidade de Armazenagem e vida Útil (CAU).                      |
| Alternativas | Reutilização direta; Remanufatura; Reciclagem e Aterro sanitário. |

Considerando os parâmetros de decisão ora definidos e o objetivo deste estudo, que é propor uma metodologia para localização de instalações para destinação de resíduos da construção civil, a segunda etapa foi desenvolvida, mediante a elaboração da estrutura hierárquica utilizada para operacionalização do AHP. Por consequência, a avaliação dos critérios e subcritérios foi efetivada a partir de julgamentos paritários empregando o *software Expert Choice Demo* (Figura 4), sendo verificada a existência de possíveis inconsistências nessas ponderações (segunda fase da operacionalização do AHP).



**Figura 4.** Hierarquia de avaliação para priorização de alternativas, onde as matrizes de comparação paritária apresentaram valores de consistência considerados satisfatórios (  $\lambda_{max}$  e  $CI$  ), que segundo Saaty (1977), indica um grau de consistência global adequado.

Os julgamentos dos especialistas apontaram para um conhecimento sobre as tendências e ansiedades do mercado, em outras palavras, as movimentações de resíduos sólidos da construção civil das empresas localizadas na microrregião nordeste do Estado do Espírito Santo tendem aumentar, e com isso, torna-se necessário uma ampliação dos locais de destinação desses resíduos.

De acordo com a Figura 4, também é possível concluir que o Custo da Licença Ambiental é a primeira prioridade entre os subcritérios financeiros, sendo que a obtenção de licença ambiental é uma barreira, imposta pelo alto custo de licenciamento e crucial para a destinação de resíduos sólidos (SILVA, FERNANDES, 2012; KINOBE et al., 2012).

Pesquisa e desenvolvimento recebe o próximo maior peso dentre os subcritérios financeiros. Assim, para avaliar riscos e soluções ambientais, diversos estudos têm sido elaborados sobre locais para destinação de resíduos sólidos. Segundo Dahlbo et al. (2015) e Cândido et al. (2016), estes estudos proporcionam contribuições importantes que podem levar a viabilização financeira e técnica de localidades.

O fato de a Reutilização direta ter recebido maior percentual de preferência (50,6%), (Figura 4), este resultado pode ser atribuído à disponibilidade e utilização dos resíduos sólidos, e também ao número de empresas existentes em sua proximidade geográfica (BUTERA et al., 2015). No entanto, é importante observar que a Reciclagem, que apresentou resultado de 25,3%, embora possa variar de acordo com o tipo de resíduo, oferece importantes contribuições ao debate para localização de locais de destinação por apresentar benefícios financeiros, tais como redução dos custos de recolhimento e o valor dos materiais recicláveis (ARIF et al., 2012), e, de acordo com Dahlbo et al. (2015), pode servir de vetor para sustentabilidade local (terceira fase da operacionalização do AHP).

---

## 5. Considerações finais

A presente investigação teve como objetivo desenvolver e apresentar a utilização de uma metodologia adaptável à diversos cenários, mediante a adoção de uma abordagem multicritério com emprego do *Analytic Hierarchy Process* - AHP (SAATY, 1977), no intuito de identificar a relação entre o local de produção dos resíduos e de destinação, de empresas de construção civil localizadas na microrregião nordeste do Estado do Espírito Santo. Também foram testados constructos da logística reversa relacionados ao processo sistemático de movimentação de resíduos entre o local de produção e de destinação.

Ao integrar os debates sobre resíduos sólidos, logística reversa e o método AHP, pelas empresas de construção civil, o estudo buscou embasar a escolha dos critérios e subcritérios que formam um modelo hierárquico à luz das perspectivas financeiras e técnicas da hierarquia de avaliação para priorização de alternativas, para a localização de locais de destinação dos resíduos.

O presente estudo identificou que o método AHP, permitiu trazer à tona resultados de cunho quantitativo, que também podem ser interpretadas sob uma ótica qualitativa, como alternativas estratégicas e significativas que podem auxiliar os processos de decisórios, enfatizando decisões logísticas (perspectiva técnica) e custos legais de destinação de resíduos (perspectiva financeira).

A pesquisa empírica qualitativa, tomando um caráter dedutivo (BARRATT et al., 2011), forneceu evidências de que, no segmento de construção civil, na definição do local para destinação de resíduos sólidos (Figura 4), os critérios financeiros foram os que apresentaram maior relevância, com peso, na ordem de 83,3%. Os critérios técnicos apresentaram peso na ordem de 16,7%. Os resultados dos critérios financeiros forneceram indícios de que diferentes subcritérios (reutilização direta, remanufatura e reciclagem) reforçam a importância desses critérios sobre a localização do destino dos resíduos da construção civil. Do lado dos critérios técnicos, o subcritério que apresentou relevância foi aterro sanitário impacto fontes da vantagem relacional têm impacto sobre distintos aspectos do valor criado

As estratégias utilizadas neste estudo levaram em consideração as características e peculiaridades de empresas da construção civil, onde os resultados permitiram levantar questões empíricas que apontam que a logística reversa é fundamental para a estratégia competitiva com foco em diferenciação, bem como nos controles financeiros e técnicos levando as empresas a alinhar custos e benefícios para se posicionarem ante fatores competitivos no seu segmento de atuação.

Em outras palavras, as soluções e respostas aos problemas dependem das características específicas de cada negócio e da estratégia adotada a tomada de decisões. Assim, destaca-se o potencial do método AHP, como ferramenta de auxílio em tomadas de decisão complexas, expondo ainda os principais critérios influenciadores.

O modelo pode ser útil para empresas da construção civil, como para de outros segmentos tendo em vista os critérios influenciadores corroborados pela literatura. Esta pesquisa contribui para preencher uma lacuna na literatura para a formulação de políticas de gestão de resíduos sólidos, tanto por parte da administração pública como da iniciativa privada, no intuito de garantir uma destinação final, ambientalmente, adequada, adicionalmente, enfatizando conceitos de sustentabilidade e responsabilidade social corporativa. Outros estudos podem utilizar os métodos AHP e o ANP para verificar a influência de práticas de Logística Reversa sobre indicadores de desempenho do processo de gestão de resíduos.

---

## Referências

- ABRELPE - Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2013. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>>. Acesso em: 29 de setembro de 2015.
- Almeida, L. A. (2016). *A formulação da Política Nacional de Resíduos Sólidos: uma análise orientada pela complexidade* (Tese de Doutorado). Universidade de Brasília - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Brasília.
- Angulo, S. C., Teixeira, C. E., Castro, A. L., Nogueira, T. P. (2011). Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 16(3), 299-306.
- Araújo, L. O. C.; Souza, U. E. L. (agosto, 2006). Subsídios para a melhoria da produtividade da mão-de-obra no processo de produção de armaduras no âmbito da organização do trabalho. *XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Florianópolis.
- Arif, M., Bendi, D., Toma-Sabbagh, T. (2012). Construction waste management in India: an exploratory study. *Construction Innovation*, 12(2), 133-155.
- Bai, J., Gu, W., Yuan, X., Li, Q., Chen, B., Wang, X. (2015). Power quality warning of high-speed rail based on multi-features similarity. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 10(1), 92-101.
- Barratt, M., Choi, T. Y., Li, M. (2011). Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. *Journal of Operations Management*, 29(4), 329-342.
- Brasil. Decreto Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Diário oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3.
- Butera, S., Hyks, J., Christensen, T. H., Astrup, T. F. (2015). Construction and demolition waste: Comparison of standard up-flow column and down-flow lysimeter leaching tests. *Waste management*, 43, 386-397.
- Cândido, L. F., Lima, S. H. O., Neto, J. P. B. (2016). Analysis of performance measurement systems in the construction industry. *Ambiente construído*, 16(2), 189-208.
- Carnevalli, J. A., Miguel P. A. C., Salerno, M. S. (2013). Aplicação da modularidade na indústria

- automobilística: análise a partir de um levantamento tipo *survey*. *Produção*, 23(2), 329-344.
- Cruz-Cunha, M. M., Varajão, J. E. (2011). Seleção de Sistemas CRM Utilizando AHP. *Teoria e prática em Administração*, 1(1), 1-17.
- Dahlbo, H., Bachér, J., Lähtinen, K., Jouttijärvi, T., Suoheimo, P., Mattila, T., Sironen, S., Myllymaa, T., Saramäki, K. (2015). Construction and demolition waste management - a holistic evaluation of environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, 107, 333-341.
- Frej, T. A., Alencar, L. H. (2010). Fatores de sucesso no gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil em Recife. *Produção*, 20(3), 322-334.
- GONÇALVES, Wellington, Assumpção, Maria, R. P. Localização do Centro de Distribuição em zona secundária: proposta de um método por meio do *Analytic Hierarchy Process* (AHP). *Revista Espacios*. Vol. 35, Ano 2014, Número 11, Pág. 17. Recuperado de: <http://www.revistaespacios.com/a14v35n11/14351117.html>.
- Govindan, K., Soleimani, H., Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603-626.
- Gupta, S., Dangayach, G. S., Singh, A. K., Rao, P. N. (2015). Analytic hierarchy process (AHP) model for evaluating sustainable manufacturing practices in indian electrical panel industries. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 189, 208-216.
- Hernández, J. E., Poler, R., Mula, J., Lario, F. C. (2011). The Reverse Logistic Process of an Automobile Supply Chain Network Supported by a Collaborative Decision-Making Model. *Group Decision and Negotiation*, 20(1), 79-114.
- Ji, R., He, Y., Zhang, Z., Liu, L., Wang, X. (2015). Preparation and modeling of energy-saving building materials by using industrial solid waste. *Energy and Buildings*, 97(1), 6-12.
- John, V. M. (2000). *Reciclagem de resíduos na construção civil - contribuição a metodologia de pesquisa e desenvolvimento* (Tese livre- docência). Universidade de São Paulo - Escola Politécnica, São Paulo.
- Kalson, A. (2014). *The Effects of Leader-Member Exchange and Employee Wellbeing towards Employee Turnover Intention* (Tese de Doutorado). Universidade Deakin - Escola de negócios Deakin, Victoria.
- Kinobe, J. R., Gebresenbet, G., Vinnerås, B. (2012). Reverse logistics related to waste management with emphasis on developing countries - A review paper. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 9(1), 1104-1118.
- Lage, D., Lima, J., Rapucci, P. (2015). Logística reversa de resíduos sólidos domésticos: dimensão de contendor de reciclagem na coleta da rmc. *Revista Jovens Pesquisadores*, 12(1), 23-66.
- Lin, C. Y., Shiue, Y. C. (2013). An application of AHP and sensitivity analysis for measuring the best strategy of reverse logistics: a case study of photovoltaic industry chain. *Journal of Testing and Evaluation*, 41(3), 1-12.
- LOUREIRO, Juliano F.; Freitas, Rodrigo R.; Gonçalves, W. Proposta de um método de localização para expansão de um terminal portuário por meio do *Analytic Hierarchy Process* (AHP). *Revista Espacios*. Vol. 36, Ano 2015, Número 10, Pág. 7. Recuperado de: <http://www.revistaespacios.com/a15v36n10/15361008.html>.
- Madadian, E., Amiri, L., Abdoli, M. A. (2013). Application of analytic hierarchy process and multicriteria decision analysis on waste management: A case study in Iran. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 32(3), 810-817.
- Mélo Filho, E. C., Rabbani, E. R. K., Barkokébas Júnior, B. (2012). Avaliação da segurança do trabalho em obras de manutenção de edificações verticais. *Produção*, 22(4), 817-830.
- Mesquita, A. S.G. (2012). Análise da Geração de Resíduos Sólidos da Construção Civil em

Teresina, Piauí. *HOLOS*, 2, 58-65.

Milutinovic, B., Stefanovic, G., Dassiti, M., Markovic, D., Vuckovic, G. (2014). Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model. *Energy*, 74, 190-201.

Pinto, T. P. (1999). *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo - Escola Politécnica, São Paulo.

Pereira, R. A., Bianchini, D. (2013). Aplicação do Método AHP na Tomada de Decisão para a Redução dos Níveis de Ação Legal em Telecomunicações. *Revista Brasileira de Marketing*, 12(4), 153-182.

Ramos, M. A., Pinto, A. C. P., Melo, A. A. O. R. (2014). O gerenciamento dos resíduos sólidos da construção civil e de demolição no município de Belo Horizonte. *Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 2(2), 45-68.

Saaty, T. L. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.

Silva, V. A. D., Fernandes, A. L. T. (2012). Scenario of waste management of construction and demolition (CDW) in Uberaba, Minas Gerais (Brazil). *Sociedade & Natureza*, 24(2), 333-344.

Straigyte, L., Baliuckas, V. (2015). Spread intensity and invasiveness of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) in Lithuanian forests. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 8(5), 693.

Subramanian, N., Ramanathan, R. (2012). A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 215-241.

Tavares, A.; Longo, O.; Sueth; R. (outubro, 2014). *Conflitos na Gestão de Pessoas na Construção Civil. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGet) – "Gestão do conhecimento para a sociedade"*, Resende.

Tessaro, A. B., Sá, J. S., Scremin, L. B. (2012). Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. *Ambiente Construído*, 12(2), 121-130.

Wigger, H., Hackmann, S., Zimmermann, T., Köser, J., Thöming, J., Von Gleich, A. (2015). Influences of use activities and waste management on environmental releases of engineered nanomaterials. *Science of the Total Environment*, 535, 160-171.

Yuan, H., Shen, L. (2011). Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste Management and Research*, 31(4), 670-679.

Zhang, Y. M., Huang, G.H., Zhang, X. D. (2011). An inexact reverse logistics model for municipal solid waste systems. *Journal of Environmental Management*, 92(1), 522-530.

---

1. Departamento de Engenharias e Tecnologia (DETEC). Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Engenheiro Civil. e-mail: [wellington.goncalves@ufes.br](mailto:wellington.goncalves@ufes.br)

2. Departamento de Engenharias e Tecnologia (DETEC). Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Administrador. e-mail: [rodrigo.r.freitas@ufes.br](mailto:rodrigo.r.freitas@ufes.br)

3. Pós-doutorando em Administração. Universidade Metodista de São Paulo - UMESP. Doutor em Engenharia de Produção - UNIMEP. e-mail: [zatta@hmzconsulting.com.br](mailto:zatta@hmzconsulting.com.br)

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 38) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](mailto:webmaster)]