

# Análise Relacional Grey e Método de Análise Hierárquica: Um estudo comparativo aplicado ao caso de movimentação e armazenagem de material siderúrgico

Talita Fonseca dos Prazeres  
Universidade Federal Fluminense  
[talitafprazeres@yahoo.com.br](mailto:talitafprazeres@yahoo.com.br)

Ilton Curty Leal Junior  
Universidade Federal Fluminense  
[iltoncurty@vm.uff.br](mailto:iltoncurty@vm.uff.br)

Pauli Adriano de Almada Garcia  
Universidade Federal Fluminense  
[pauliadriano@gmail.com](mailto:pauliadriano@gmail.com)

## RESUMO

*Este artigo apresenta os resultados obtidos com a utilização da Análise Relacional Grey (GRA) e do Método da Análise Hierárquica (AHP), técnicas de auxílio multicritério à decisão. Ambas as técnicas foram aplicadas em um estudo de caso sobre movimentação e armazenagem de material siderúrgico, buscando-se identificar as vantagens e desvantagens de cada método. Dessa forma, pretende-se apresentar a importância dessas técnicas no auxílio à tomada de decisões que envolvem diversas variáveis. Diante dos diferentes atributos a serem considerados, se faz necessária a adoção de abordagens de suporte à decisão que os contemplem simultaneamente. Dentre as diferentes técnicas disponíveis para uma análise multicritério, neste trabalho será realizada a comparação das técnicas consideradas, sendo o Método da Análise Hierárquica uma ferramenta puramente baseada em julgamento e a Análise Relacional Grey baseada em quantificação direta.*

Palavras-Chave: Análise Relacional Grey; AHP; Movimentação e Armazenagem.

## 1. INTRODUÇÃO

A organização e especialização das atividades produtivas resultam em produção excedente que necessita de armazenagem para garantir a integridade dos produtos. Além disso, as reservas de produtos nos vários estágios da cadeia produtiva são necessárias para garantir abastecimentos e reduzir incertezas. Para que os produtos armazenados sejam disponibilizados e utilizados se faz necessária a movimentação eficiente ao destino onde será consumido (FLEURY, 2007).

Nas empresas, a logística tem uma importância econômica significativa e qualquer redução nos custos logísticos pode ter um forte impacto nas margens e nos lucros de uma companhia. (FLEURY, 2007). Segundo Ballou (2006), o custo de armazenagem e movimentação pode representar de 20 a 40% do seu valor por ano. No setor siderúrgico, a armazenagem e movimentação de materiais são atividades que impactam em custos e nível de serviço devido aos volumes, dimensões e pesos dos produtos.

O presente trabalho apresenta um estudo de caso da movimentação e armazenagem de tarugos, principal matéria-prima para os laminadores, em uma siderúrgica localizada no município de Barra Mansa, Rio de Janeiro. Para esta empresa, é imprescindível um bom gerenciamento das atividades de logística interna para atingir um nível de disponibilidade de materiais, que garanta a agilidade necessária no atendimento das demandas por produtos destinados a abastecimento dos laminadores da siderúrgica e no envio ao cliente.

A aplicação consiste na forma em que o tarugo é movimentado e armazenado. A empresa estudada possui três alternativas, das quais, uma precisa ser escolhida: a situação atual e outros dois projetos desenvolvidos. Os projetos influenciam em custos e nível de serviço expressos por vários critérios abordados por este artigo.

A tomada de decisão pelos projetos deve levar em consideração a melhor utilização de recursos para movimentação, otimização das áreas de armazenagem e maior velocidade do

processo. Para conciliar esses critérios, a empresa precisa de instrumentos de controle e avaliação de seus resultados e desenvolvimento de ações que aprimorem a eficiência de seus processos. Decisões se tornam complexas, pois devem considerar os dados objetivos referentes às medições de cada critério da operação, e, por outro lado, as avaliações subjetivas que indicam o grau de importância dos mesmos nos processos.

Nesta pesquisa são utilizadas duas técnicas de abordagem multicritério conhecidas como AHP e GRA, comparando-se os resultados de cada uma. A primeira técnica é baseada somente em julgamentos e a segunda em quantificação direta. A partir de uma pesquisa bibliográfica preliminar, foi elaborada uma pesquisa de campo, com aplicação de questionários a especialistas na área de logística da empresa estudada com a finalidade de identificar e escolher critérios que fossem relevantes ao processo de tomada de decisão. Também foi realizada pesquisa documental para levantamento e medição dos atributos considerados.

A aplicação de técnicas multicritério de apoio à decisão, como a Análise Relacional Grey e o Método de Análise Hierárquica, serão estudadas com o intuito de verificar suas respectivas aplicabilidades para este tipo de problema e posterior identificação da melhor alternativa dentre as consideradas na análise. Como resultado, foi possível verificar que a hierarquização foi a mesma nas duas técnicas; porém, cada uma apresenta vantagens e desvantagens que devem ser consideradas. Os métodos aplicados se mostraram eficazes, o que permitiu hierarquizar as alternativas segundo os critérios escolhidos.

As seguintes perguntas deverão ser respondidas por este trabalho: existe diferença no resultado da hierarquização de alternativas utilizando-se técnicas de quantificação direta e julgamento? Qual o tipo de técnica mais adequado para a tomada de decisão considerando as características do problema?

No contexto apresentado, o foco desta pesquisa é comparar os resultados obtidos por meio de duas técnicas que possuem uma mesma finalidade; porém, com características diferentes, sendo aplicado a um estudo de caso prático. Desta forma, o presente trabalho se justifica pela importância de comparar as técnicas baseando-se em aspectos como tempo, disponibilidade de dados, disponibilidade de especialistas, dentre outros envolvidos. Enquanto o método da análise hierárquica depende fundamentalmente da opinião de especialistas, a análise relacional grey necessita do levantamento de valores das variáveis envolvidas – dados quantitativos. Portanto, a análise do trabalho se concentra em apresentar as características de cada uma das técnicas segundo aspectos que as distinguem.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Moura (2005) cita que o homem vem tentando resolver o problema de movimentar materiais para tornar seu trabalho de levantar, movimentar de um lugar para outro e carregar mais fácil, rápido e seguro. A movimentação é uma atividade que tem forte relação com a armazenagem, que é a denominação genérica e ampla que inclui todas as atividades de um local destinado à guarda temporária e à distribuição de materiais por depósitos, almoxarifados, centros de distribuição etc. e está intimamente relacionada com a movimentação de materiais (MOURA, 2005).

Muitos são os projetos de melhoria desenvolvidos nas empresas considerando custo e nível de serviço na armazenagem e movimentação. Na maioria dos casos as empresas se deparam com diversas alternativas que podem ser escolhidas para implementação, o que acabam dificultando a decisão por um deles, devido à quantidade de variáveis envolvidas. Neste caso, apresentam-se várias ferramentas de auxílio multicritério que apoiam a tomada de decisão.

### **2.1. ABORDAGEM MULTICRITÉRIO**

A abordagem multicritério de apoio à decisão pode ser caracterizada como um conjunto de métodos que buscam tornar claro um problema, no qual as alternativas são

avaliadas por múltiplos critérios, os quais na maioria dos casos são conflitantes (GOMES *et al.*, 2004 *apud* HELMANN e MARÇAL, 2007). Esse tipo de abordagem não apresenta uma solução ideal para os problemas, mas entre todas as possíveis, a mais coerente com a escala de valores e o método utilizado (HELMANN e MARÇAL, 2007).

Os métodos de apoio multicritério à decisão têm um lado científico, mas ao mesmo tempo, subjetivo, apresentando consigo a capacidade de agregar todas as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas, com o objetivo de permitir a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisões (GOMES *et al.*, 2004 *apud* HELMANN e MARÇAL, 2007).

### 2.1.1. MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP)

O Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* - AHP), criado por Thomas. L. Saaty em meados da década de 70, surgiu com o intuito de promover a superação das limitações cognitivas daqueles que tomam a decisão. Segundo este método, o problema de tomada de decisão pode ser geralmente decomposto em níveis hierárquicos, facilitando assim, a sua compreensão e avaliação (BARAÇAS e MACHADO, 2006).

O Método Analítico Hierárquico é uma metodologia de tomada de decisão que auxilia na definição de prioridades e na escolha da melhor alternativa, quando aspectos qualitativos e quantitativos devem ser considerados (BARAÇAS e MACHADO, 2006). A AHP é um método onde o problema analisado é estruturado hierarquicamente, sendo que no nível mais alto está o objetivo principal do estudo, nos níveis seguintes estão os critérios (propriedades através das quais as alternativas serão avaliadas) e no nível mais baixo estão as alternativas a serem decididas (CARVALHO e MINGOTI, 2005).

Algumas das vantagens deste método é que através dele é possível retratar a opinião de uma determinada pessoa (jugador/decisor) em relação a aspectos não quantificáveis e ainda comparar elementos que inicialmente seriam incomparáveis entre si. Segundo Saaty, “os problemas de tomada de decisão, avaliam e consideram um grande número de elementos que aparentemente não são comparáveis entre si de forma direta. Entretanto se estabelecendo um procedimento que agregue tais elementos segundo propriedades comuns torna-se possível compará-los” (CARVALHO e MINGOTI, 2005).

Um grupo de decisores formados por especialistas devem fazer uma comparação, par a par, de cada elemento, criando-se uma matriz de decisão quadrada na qual o decisor representará, a partir de uma escala predefinida, sua preferência entre os elementos comparados, sob o enfoque de um elemento do nível imediatamente superior. A comparação das alternativas é realizada com o auxílio de uma escala verbal associada a uma escala numérica que varia de 1 a 9, sendo 1 atribuído para critérios de igual importância e 9 quando há importância absoluta de um critério sobre o outro.

Uma medida de inconsistência é obtida por meio do cálculo do autovetor. Dessa forma, sendo  $a_{ij}$  o valor obtido da comparação par a par do elemento  $i$  com o elemento  $j$ , a matriz formada por esses valores é a matriz  $A$ , onde  $A = (a_{ij})$ . A matriz  $A$  é recíproca tal que  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ , na qual, se os juízos fossem perfeitos, em todas as comparações seria possível verificar que  $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$  para qualquer  $i, j, k$ . Caso os juízos emitidos pelos decisores sejam perfeitamente consistentes, têm-se  $\lambda_{\max}$  (autovetor) =  $n$  e  $a_{ij} = w_i/w_j$ . Contudo, pode-se verificar uma inconsistência nos juízos, que pode ser medida pela proximidade de  $\lambda_{\max}$  com  $n$  (quanto mais próximo, maior a consistência). Portanto,  $\lambda_{\max} - n$  é um indicador da consistência (GOMES, 2004). Para obter o autovetor aplica-se a equação 1.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i \frac{Aw_i}{w_i} \quad (1)$$

Onde  $Aw = \lambda_{\max} \times w$  e  $n$  corresponde ao número de alternativas ou elementos comparados.

Segundo Saaty (1980), existem pequenas variações em  $a_{ij}$  que implicam pequenas variações em  $\lambda_{\max}$ , em que o desvio do autovetor em relação a  $n$  é considerado uma consistência. Por isso, é possível afirmar, através do Índice de Consistência (IC), que  $\lambda_{\max}$  permite avaliar a proximidade da escala desenvolvida por Saaty com a escala de razões ou quocientes que seria usada se a matriz  $A$  fosse totalmente consistente.

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

A AHP admite que a inconsistência pode ser inerente ao comportamento humano. Com isso, Saaty (1980) propõe o cálculo da Razão de Consistência (RC), obtida pela equação 3 e indica que esta razão é considerada aceitável quando é menor ou igual a 0,10.

$$RC = IC / IR \quad (3)$$

Onde, IC corresponde ao Índice de Consistência e IR é um índice aleatório, calculado para matrizes quadradas de ordem  $n$ .

Utilizando a matriz de decisão  $A$ , o Método AHP calcula resultados parciais do conjunto  $A$ , dentro de cada critério  $v_i$  ( $A_j$ ), denominado valor de impacto da alternativa  $j$  em relação à alternativa  $i$ , em que esses resultados representam valores numéricos das atribuições verbais dadas pelo decisor a cada comparação de alternativas. Tais resultados são normalizados pela equação 4.

$$\sum_{i=1}^n v_i(A_j) = 1 \quad j=1, \dots, n \quad (4)$$

$$v_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Sendo,

Isso faz com que o vetor de prioridades da alternativa  $i$  em relação ao critério  $C_k$  seja:

$$v_i(A_j) = \sum_{j=1}^n v_i(A_j) / n \quad i=1, \dots, n \quad (5)$$

Depois de obter o vetor de prioridades das alternativas sob cada critério  $C_k$ , continua-se com o nível de critérios. Nesse caso, adota-se novamente a escala de Saaty para a classificação par a par dos critérios, que são normalizados pela equação 6 onde  $m$  corresponde ao número de critérios de um mesmo nível e o vetor prioridade é obtido pela equação 7.

$$w_i(C_j) = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^m c_{ij}} \quad j=1, \dots, m \quad (6)$$

$$w(C_i) = \sum_{j=1}^m w_i \frac{c_j}{m} \quad i=1, \dots, m \quad (7)$$

Para obter uma ordenação global, utiliza-se a equação 8 para gerar os valores finais das alternativas e assim hierarquizá-las. Onde  $n$  corresponde ao número de alternativas.

$$f(A_i) = \sum_{j=1}^m w_j(C_j) \times v_j(A_j) \quad j=1, \dots, n \quad (8)$$

### 2.1.2. ANÁLISE RELACIONAL GREY (GRA)

A teoria de sistemas grey foi proposta por Julong Deng em 1982 com o intuito de evitar os defeitos inerentes do convencional, os métodos estatísticos e requer somente uma quantidade limitada de dados para estimar o comportamento de um sistema incerto (WEN, 2004).

A teoria grey tem sido aplicada nos mais variados campos de pesquisa como produção, sistemas sociais, ecologia, economia, geografia, tráfego, gerenciamento, educação etc. Foca em situações onde há a incerteza, variedade de dados de entrada, dados discretos e informações insuficientes para a tomada de decisão.

A teoria grey parte do princípio que existem informações a respeito de um sistema que são “claras”, ou seja, podem ser medidas e encontradas facilmente, e outras que são cinzentas, ou seja, não são bem definidas e são incompletas.

A Análise Relacional Grey (GRA) integra a teoria de sistemas grey (DENG, 1989; LIU e LIN, 2006). É um método utilizado para determinar o grau de relacionamento entre uma observação referencial com observações levantadas, objetivando estabelecer um grau de proximidade com o estado meta, ou seja, o resultado desejado.

Segundo Bischoff (2008) a GRA utiliza a informação do sistema Grey para comparar dinamicamente cada fator quantitativamente, baseado no nível de similaridade e variabilidade entre todos os fatores para estabelecer a sua relação. É um método para analisar o grau de relacionamento para sequências discretas.

Seja um conjunto de observações  $\{x_0^{(o)}, x_1^{(o)}, \dots, x_m^{(o)}\}$ , onde  $x_0^{(o)}$  é uma observação referencial e  $x_1^{(o)}, x_2^{(o)}, \dots, x_m^{(o)}$  são observações originais a serem comparadas. Cada observação  $x_i$  possui  $n$  medidas que são descritas sob a forma de séries  $x_i^{(o)} = \{x_i^{(o)}(k), \dots, x_i^{(o)}(n)\}$ , onde cada componente desta série, antes de qualquer operação, é normalizado da forma a seguir.

Se quanto maior melhor (equação 9):

$$x'_i(k) = \frac{x_i^{(o)}(k) - \min_{\forall i} (x_i^{(o)}(k))}{\max_{\forall i} (x_i^{(o)}(k)) - \min_{\forall i} (x_i^{(o)}(k))} \quad \text{para } i: 0..m, k: 1..n \quad (9)$$

Se quanto menor melhor (equação 10):

$$x'_i(k) = \frac{\max_{\forall i} (x_i^{(o)}(k)) - x_i^{(o)}(k)}{\max_{\forall i} (x_i^{(o)}(k)) - \min_{\forall i} (x_i^{(o)}(k))} \quad \text{para } i: 0..m, k: 1..n \quad (10)$$

Onde:  $x'_i(k)$  é o valor normalizado de uma medida  $k$  para uma observação original  $x_i^{(o)}$ .

A série cujos atributos normalizados são os melhores possíveis e representa o estado desejado para qualquer série, é representada por  $x_0$ , sendo os valores da mesma igualados a 1. Esta é uma abordagem interessante já que em muitos casos a medida de referência não é facilmente encontrada ou difícil de ser calculada.

Após a normalização dos dados de cada série, calculam-se os coeficientes relacionais grey  $\gamma$  (equação 11):

$$\gamma(x'_0(k), x'_i(k)) = \frac{\min_{\forall i} \min_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)|}{x_0(k) - x_i(k) + \zeta \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (11)$$

Onde  $\zeta \in [0,1]$  assume, em geral, o valor 0,5 sendo útil somente para diferenciar os elementos da série e não influenciando na ordenação final das séries (DENG, 1989). Segundo Wen (2004) dentro do intervalo de  $\zeta$ , pode-se atribuir qualquer valor, mas usualmente, é igual a 0,5. Conforme demonstrações matemáticas, a mudança no valor de  $\zeta$  não altera o ranking dos graus de relacionamento grey (ZUO, 1995).

Os coeficientes relacionais expressam a similaridade entre as respectivas medidas associadas à série padrão e às séries comparativas e refletem o quanto cada uma está distante de sua respectiva na série padrão.

Depois de estabelecidos os coeficientes relacionais grey, é necessário que se estabeleçam os graus de relacionamento grey ( $\Gamma_i$ ), para cada série (DENG, 1989), conforme equação 12, que é a média aritmética simples dos coeficientes relacionais grey para cada alternativa.

$$\Gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_i(x'_0(k), x'_i(k)) \quad (12)$$

No desenvolvimento dos dois métodos apresentados observa-se as vantagens e desvantagens de cada um deles. Bischoff (2008) faz uma diferenciação entre o Método da Análise Hierárquica (AHP) e a Análise Relacional Grey (GRA).

**Tabela 1:** Comparação entre os métodos AHP e GRA

Técnica	Vantagem	Desvantagem	Classificação	Utilização	Descrição
AHP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza uma escala subjetiva ao invés de uma escala quantitativa;</li> <li>• Possui uma forma de estimar chamado índice de inconsistência;</li> <li>• A hierarquia ajuda a formular a decisão de uma forma lógica;</li> <li>• Chama a atenção de classificações inconsistentes;</li> <li>• Sua utilização é abrangente devido a sua flexibilidade e facilidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uma vez que a escala é subjetiva, é sujeita ao erro humano;</li> <li>• É vulnerável a psicologia humana;</li> <li>• O número de tabelas comparativas pode ser muito grande se forem utilizados muitos atributos de comparação, levando a tendência de excluí-los;</li> <li>• Existe um limite do número de níveis de hierarquia que podem ser utilizados;</li> <li>• Muitas comparações dois a dois precisam ser feitas para problemas muito extensos;</li> <li>• Ambiguidade, julgamentos inconsistentes pelo tomador de decisão;</li> <li>• O uso da escala de 1 a 9.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuzzy MADM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algoritmo hierárquico - regra de decisão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnica de análise multatributos. É uma tecnologia baseada em matemática para analisar problemas complexos e auxiliar na melhor solução resumindo os principais fatores.</li> <li>• O método é baseado em três princípios: decomposição, julgamento comparativo e síntese de prioridades.</li> <li>•</li> </ul>
GRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É utilizada para analisar o grau de relacionamento de muitas sequências discretas e selecionar a melhor;</li> <li>• Evita os defeitos inerentes dos métodos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É necessário ter muita informação;</li> <li>• A distribuição dos dados deve ser típica;</li> <li>• Poucos fatos são permitidos e podem ser expressos funcionalmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo Analítico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de classificação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza a informação do sistema Grey para comparar dinamicamente cada fator quantitativamente. Baseado no nível de similaridade e</li> </ul>

	estatísticos convencionais; <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de uma quantidade limitada de dados (entradas múltiplas, dados discretos e dados insuficientes) para estimar o comportamento de um sistema incerto.</li> </ul>			variabilidade entre todos os fatores para estabelecer a sua relação. <ul style="list-style-type: none"> <li>• É um método para analisar o grau de relacionamento para sequências discretas.</li> </ul>
--	---	--	--	--

Fonte: Bischoff, 2008.

Na literatura pesquisada, encontram-se trabalhos que utilizam os métodos AHP e GRA em logística. No trabalho de Granemann e Gartner (2000) a técnica foi utilizada para hierarquizar alternativas de seleção de um transportador/operador logístico. Os autores destacam que o método permite agregar à análise do processo decisório tanto critérios quantitativos quanto qualitativos, dando ênfase à participação direta dos envolvidos na decisão, através da incorporação de suas preferências e valores ao modelo. Em outro estudo, o método foi utilizado na tomada de decisão sobre gestão de manutenção de frotas (MACIEL *et al.*, 2008), que contempla um estudo de caso utilizando o software baseado na metodologia AHP.

A técnica GRA se mostrou eficiente para avaliar uma seleção de fornecedores (TSAI *et al.*, 2003). Em outros estudos, a técnica foi aplicada para priorizar alternativas de transporte de produtos perigosos em pesquisa com base na análise de aspectos econômico-financeiros e socioambientais dos modos de transporte (LEAL JR e D'AGOSTO, 2009). Em ambos os casos, a técnica se mostrou uma adequada ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

### 3. METODOLOGIA

Para a base teórica deste artigo foi realizada uma pesquisa bibliográfica elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e atualmente com material disponibilizado na Internet. O objetivo foi de levantar informações a respeito dos temas e conceitos tratados na pesquisa.

Para a criação dos parâmetros das três alternativas a serem avaliadas foram utilizadas pesquisa documental, em registros históricos da empresa, e pesquisa de campo, com entrevistas aos funcionários especialistas da siderúrgica (GIL, 2002). Do levantamento dos dados históricos da empresa foram extraídos os volumes produzidos, além do consumo de tarugos pelos laminadores, demandas externas e seu estoque no final de cada mês, considerando um intervalo de doze meses. Também foram levantados todos os recursos necessários para a movimentação e armazenagem de tarugos. Dados estes, necessários à aplicação da Análise Relacional Grey.

Com a realização de entrevistas com os funcionários das áreas produtivas e os responsáveis pela movimentação interna dentro das instalações da siderúrgica, foi possível a definição das variáveis que foram utilizadas para caracterizar as alternativas e principalmente a abordagem das restrições presentes na movimentação dos tarugos, que apresentam diversidade de comprimentos e composição química. As variáveis foram divididas em dois grupos: operação e estrutura. Também foram levantadas quais as etapas que ocorrem durante a movimentação no cenário atual para sua compreensão e estudo visando sua redução.

Com a consolidação desses dados, foram selecionadas informações julgadas relevantes para a descrição das alternativas segundo o ponto de vista dos especialistas da empresa. O presente estudo expõe a situação atual na siderúrgica e permite a simulação de outras duas

alternativas contendo seus recursos e áreas de armazenagem realocados visando à busca pelo melhor atendimento das diversas demandas interna e externa. De posse dos dados, foram aplicadas as técnicas de auxílio multicritério para posterior comparação de resultados.

#### 4. DESENVOLVIMENTO

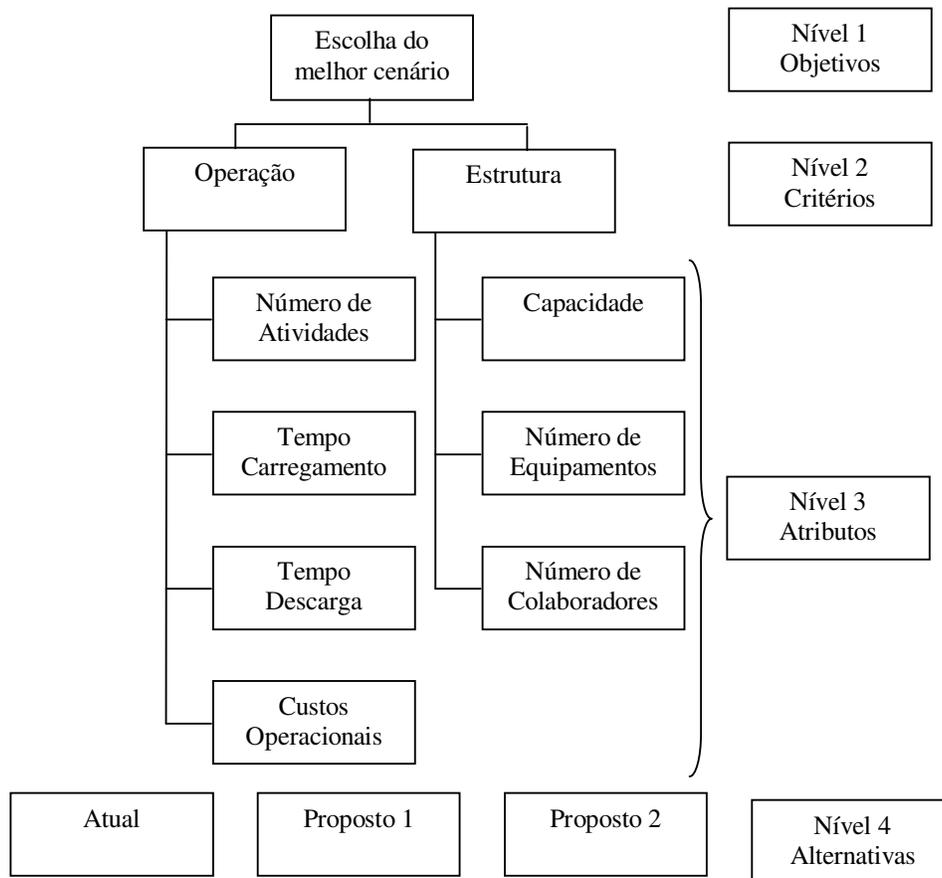
Para a aplicação das técnicas foram consideradas três alternativas: situação atual, que considera todos os recursos e procedimentos já utilizados pela empresa, situação proposta 1 e situação proposta 2. Como resultado da pesquisa com os especialistas, foram estabelecidos os critérios e sub-critérios mais importantes para a escolha das alternativas, sendo que cada alternativa apresenta resultados diferentes em cada um desses sub-critérios:

1) Critério operação - engloba os sub-critérios número de atividades, tempo de carregamento, tempo de descarga e custos operacionais e;

2) Critério estrutura - engloba os sub-critérios capacidade, número de equipamentos e número de colaboradores.

##### 4.1. RESULTADOS OBTIDOS COM A AHP

Com a seleção das principais variáveis que influenciam na decisão das alternativas foi possível estabelecer hierarquia da Figura 1, que representa uma situação na qual se deseja escolher a melhor alternativa para ser adotada para o armazenamento e movimentação de materiais siderúrgicos.



**Figura 1:** Hierarquia da escolha do cenário.

Fonte: Elaboração própria, 2009.

Após a construção da hierarquia, foi realizado o preenchimento das matrizes dominantes, comparando par a par os critérios. Foi definido que a operação é moderadamente

mais preferível a estrutura. A partir da matriz de comparação entre os critérios do segundo nível foi obtido o vetor de preferência segundo as equações 6 e 7.

Após essa etapa, segue-se para os sub-critérios, iniciando com o referente à operação. Os especialistas fizeram as seguintes considerações:

- O tempo de carregamento é considerado moderadamente mais importante que o número de atividades e entre igual e mais importante que o tempo de descarga.
- O tempo de descarregamento é considerado pelos decisores moderadamente mais importante do que o número de atividades.
- Os custos operacionais são considerados entre igual e mais importante do que o número de atividades, tempo de carregamento e tempo de descarregamento.

Após a análise dos cenários segundo os sub-critérios de operação, foram analisados os sub-critérios referentes à estrutura. Os especialistas fizeram as seguintes considerações:

- A capacidade é mais importante que o número de equipamentos e moderadamente preferível que o número de colaboradores.
- O número de equipamentos é moderadamente mais importante que o número de colaboradores.

Para demonstrar se é aceitável a inconsistência, foi necessária a obtenção do  $A_w$  com a utilização da equação 1. Em seguida calculou-se a razão de consistência das matrizes com a utilização das equações 2 e 3. Os resultados para os sub-critérios operação e estrutura foram respectivamente  $RC = 0,080$  e  $0,046$ , classificando-se como inconsistências aceitáveis.

Os vetores de prioridade das alternativas, segundo cada critério, foram calculados aplicando as equações 6 e 7. Após a análise dos sub-critérios referentes à operação e estrutura, os cenários foram comparados sob à luz de cada um desses sub-critérios e feitas as suas normalizações. Todas as  $RC$ s foram calculadas e consideradas aceitáveis.

Para se obter os valores finais de cada cenário foram considerados todos os pesos obtidos pelas análises das matrizes de comparação, multiplicando os pesos obtidos em cada passo e os resultados dos diferentes passos foram somados, conforme a equação 8. Assim, pôde-se alcançar a matriz de resultado (Tabela 2), que aponta a alternativa atual como sendo o melhor cenário, com 39,9% do total da pontuação.

**Tabela 2:** Matriz resultado do método AHP clássico

Alternativa	Pontuação
Atual	0,399
Proposta 2	0,335
Proposta 1	0,265

Fonte: Elaboração própria, 2009.

Na tabela 2 os resultados foram dispostos em ordem decrescente. Desta forma, a distância entre a melhor alternativa (atual) e a proposta 2 é de 16,04% e entre a proposta 2 e a proposta 1 (de pior desempenho) é de 20,89%.

#### 4.2. RESULTADOS OBTIDOS COM A GRA

Com a seleção das principais variáveis foram levantados os dados para as suas mensurações. Os critérios adotados são os mesmos utilizados na AHP e conforme previamente mencionado, se deu pelo levantamento junto a um conjunto de especialistas, por meio de questionários de elicitação.

**Tabela 3:** Variáveis para a tomada de decisão

Alternativa	Variáveis						
	Número de Atividades	Número de equipamentos	Tempo de carregamento (segundos)	Tempo de descarga (segundos)	Número de colaboradores por turno	Capacidade (toneladas)*	Custo Operacional (R\$/mês)
Atual	9	5	41,87	111,87	7	10000	117.000
Proposto 1	11	7	603,16	491,54	6	19000	106.000
Proposto 2	11	6	633,16	521,54	6	17000	56.000

Fonte: Elaboração própria, 2009.

Com base nos dados da tabela 3, os conceitos associados à análise relacional grey foram aplicados de modo a se estabelecer uma ordem de prioridade entre as alternativas consideradas. Primeiramente, devem-se estabelecer as séries normalizadas conforme as equações 1 e 2. No presente caso, todos os atributos considerados foram normalizados com as equações 9 e 10.

Considerando as séries normalizadas,  $x_i(j)$ , com  $i=1, 2$  e  $3$ , e  $j=1, 2, 3, 4, 5, 6$  e  $7$ , como sendo representantes das alternativas  $i$  e de seus critérios  $j$ , tem-se que  $x_1 = (1, 1, 1, 1, 0, 0, 0)$ ;  $x_2 = (0, 0, 0,05, 0,07, 1, 1, 0,18)$ ;  $x_3 = (0, 0,50, 0, 0, 1, 0,87, 1)$  e  $x_0 = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$ .  $x_0$  é a série padrão, ou seja, é a série cujos atributos normalizados são os melhores possíveis, isto é, representa o estado desejado para qualquer série.

Para se estabelecer uma ordem de prioridade entre as séries, o que se busca é identificar as que estão mais próximas da série padrão. Esta medida de proximidade será dada por meio de coeficientes relacionais e do grau de relacionamento grey. Os coeficientes relacionais refletem o quanto cada atributo está distante do atributo padrão, ou seja, do respectivo atributo na série padrão. Este grau de relacionamento é dado pela equação 11. A partir da matriz das diferenças, foram calculados os coeficientes relacionais com a equação 12. Considerando-se os coeficientes relacionais, basta agora calcular a média de cada série e verificar qual a alternativa apresenta maior média. Em ordem de prioridade tem-se a tabela 4.

**Tabela 4:** Graus de Relacionamento Grey

$x_i$	$\Gamma_i$
Atual	0,71
Proposto 2	0,64
Proposto 1	0,53

Fonte: Elaboração própria, 2009.

Na tabela 4 os resultados foram dispostos em ordem decrescente. Desta forma, a distância entre a melhor alternativa (atual) e a proposta 2 é de 9,85% e entre a proposta 2 e a proposta 1 (de pior desempenho) é de 17,18%. Na GRA, se o valor do  $\zeta$  se altera (aqui usado como 0,5), aumenta ou diminui a distância entre o resultado das alternativas, o que pode tornar o resultado mais próximo ao da técnica AHP.

Com base nos graus de relacionamento grey prioriza-se a alternativa atual. Analisando os coeficientes relacionais, apresentados na tabela 4, percebe-se que o resultado faz sentido, tendo em vista que a alternativa atual apresentou quatro dos sete critérios como sendo totalmente relacionado com a série padrão. O critério cinco ficou muito próximo da referência

da série padrão. Este fato contribuiu sobremaneira para o aumento de sua média em relação às demais alternativas.

Com a aplicação das duas técnicas pode-se fazer uma análise de ambas. Na aplicação do método AHP é necessário à consulta a um grupo de especialistas que irão analisar as variáveis envolvidas. Com isso, é relevante considerar quantos especialistas serão consultados e qual o tempo de aplicação e aguardo de resposta de um questionário. Na aplicação da GRA, é importante considerar o levantamento dos dados quantitativos das variáveis envolvidas. Em ambas as técnicas, esses aspectos devem ser analisados, pois ocasionam facilidades ou dificuldades em suas aplicações, relacionados principalmente com o tempo, disponibilidade de especialistas e disponibilidades de dados.

Como apresentado em teoria, na metodologia AHP observa-se que a divisão do problema em níveis hierárquicos facilita a sua compreensão e avaliação. A utilização de uma escala subjetiva se mostra como vantagem do método, embora sujeita ao erro humano. Com relação à GRA, pode-se destacar como vantagem o fato de demandar somente uma quantidade limitada de dados para estimar o comportamento do sistema e, como desvantagem, o fato de poucos fatores serem permitidos à sua aplicação.

## 5. CONCLUSÃO

A utilização das duas técnicas de auxílio multicritério à decisão obtiveram os mesmos resultados, isto é, a alternativa atual de movimentação e armazenagem de tarugos na siderúrgica estudada foi a melhor, tanto na aplicação do Método da Análise Hierárquica, como na aplicação da Análise Relacional Grey, seguida, respectivamente, pela alternativa proposta 2 e alternativa proposta 1.

A utilização das técnicas é necessária quando vários aspectos estão envolvidos na resolução do problema; vários objetivos precisam ser alcançados simultaneamente. No caso estudado, verificou-se que a alternativa atual é a mais adequada, pois obteve o melhor desempenho nas duas ferramentas utilizadas. Constata-se que as técnicas auxiliam na tomada de decisão, cabendo ao decisor avaliar as alternativas consideradas e variáveis envolvidas, e optar pela mais viável à empresa.

Um fator importante que se pode apontar sobre as técnicas se relaciona com a escolha dos critérios e subcritérios a serem considerados na análise do problema. Na seleção dos mesmos é relevante considerar a opinião de especialistas no assunto, com vistas a conferir maior confiabilidade à pesquisa. Outra questão que se apresenta é o fato de ambas as técnicas utilizarem modelos matemáticos e priorizar ou classificar as alternativas ao final da metodologia.

Sobre o Método da Análise Hierárquica, destaca-se a divisão do problema em níveis hierárquicos, facilitando sua compreensão e avaliação. Sobre a Análise Relacional Grey pode-se ressaltar a análise do grau de relacionamento entre as sequências consideradas. Nesta pesquisa, ambas as técnicas foram aplicadas com o intuito de obter a melhor utilização de recursos para movimentação, otimização das áreas de armazenagem e maior velocidade do processo na empresa.

Cada técnica estudada tem suas vantagens e desvantagens, sendo então relevante considerar quais recursos estão disponíveis para solução do problema. Quando é possível consultar especialistas, o método da análise hierárquica se apresenta como ferramenta a ser utilizada; quando se possuem dados quantitativos, a análise relacional grey. Neste contexto, pode-se concluir que uma ou outra técnica pode ser aplicada conforme características do problema e a disponibilidade de obtenção de dados e consulta a especialistas, dentre outros fatores, relacionados a cada uma das ferramentas. Cabe então ao decisor optar pela técnica que lhe seja mais viável.

Como sugestão para novos estudos pode-se apontar a aplicação das técnicas utilizadas nesta pesquisa para avaliar as alternativas que envolvam a resolução de outros tipos de

problemas, relacionados à logística e também outras áreas das empresas, assim como a utilização de outros métodos de auxílio multicritério à decisão.

## 6. REFERÊNCIAS

- BALLOU, R. H.** (2006). Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/ logística empresarial; tradução Raul Rubenich. - 5.ed. – Porto Alegre: Bookman.
- BARAÇAS, Francisco J. L.; Machado, João P. A.** (2006). A análise multicritério na tomada de decisão – o Método Analítico Hierárquico de T. L. Saaty. Princípios fundamentais e seu desenvolvimento. Instituto Politécnico de Coimbra. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Departamento de Engenharia Civil.
- BISCHOFF, E.,** (2008). Estudo da utilização de algoritmos genéticos para seleção de redes de acesso. Dissertação de mestrado em engenharia elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 142p.
- CARVALHO, Giselle S. de; Mingoti, Sueli A.** (2005). Manual do usuário: Programas para realização da Análise Hierárquica. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Exatas. Departamento de Estatística.
- DENG, J.,** (1989). Introduction to grey system theory. Journal of Grey Systems, 1, 1-24.
- FLEURY, P.F.** (2007). Logística empresarial: a perspectiva brasileira / (organização) Peter Wanke, Kleber Fossati Figueiredo. – 1. ed. – 9. reimpr. – SP: Atlas – (Coleção COPPEAD de Administração).
- GIL, A.C.** (2002). Como Elaborar Projetos de Pesquisa. São Paulo: Atlas.
- GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; Araya, Marcela Cecília González; Carigno, Claudia** (2004). Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- GRANEMANN, S. R. e GARTNER, I. R.** (2000). Modelo Multicriterial para Escolha Modal/Sub-Modal de Transporte. Anais do XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Gramado, p. 337–345.
- HELMANN, Kurtt S.; MARÇAL, Rui F. M.** (2007). Método Multicritério de Apoio à Decisão na Gestão da Manutenção: Aplicação do Método Electre I na seleção de equipamentos críticos para processo. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Campus Ponta Grossa. Paraná. Revista Gestão Industrial: v. 03, n. 01: p. 123-133.
- LEAL JR, Ilton Curty e D’AGOSTO, Márcio de Almeida** (2009). Escolha modal para transporte de produtos perigosos com base em aspectos ambientais: caso dos modos terrestres para o etanol no Brasil. VII Rio de Transportes. Clube de Engenharia, Rio de Janeiro.
- LIU, S e LIN, Yi** (2006). “Grey information: theory and practical applications”. Springer, London.
- MOURA, R. A.** (2005). Sistemas e Técnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais – 5.ed.rev. – São Paulo: IMAM – (Série manual de logística;v.1)
- SAATY, T. L.,** (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. ISBN 0-07-054371-2, McGraw-Hill.
- TSAI, Chih-Hung; CHANG, Ching-Liang e CHEN, Lieh** (2003). Applying Grey Relational Analysis to the Vendor Evaluation Model. International Journal of The Computer, The Internet and Management, vol. 11, No.3, pp. 45-53.
- WEN, K.,** (2004). Grey Systems: Modeling and Prediction. Printed in USA by Yang’s Scientific Press. ISBN 0-9721212-7-7
- ZUO, F.,** (1995). Determining Method for Grey Relational Distinguished Coefficient. Institute of Grey System Liaocheng Teachers’ College Liaocheng, Shandong 252059, China. A CM SIGICE Bulletin, Volume 20, Number 3, January.