

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA
Programa de Pós-Graduação em Estatística

SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE CARVÃO PARA A
SIDERURGIA BRASILEIRA – UMA ABORDAGEM
MULTICRITÉRIO

Monografia apresentada ao Departamento de
Estatística da Universidade Federal de Minas Gerais,
parte dos requisitos para obtenção do título de
Especialista em Estatística

Área de Concentração: Indústria e Mercado

Aluno: Tobias Rodrigues Neto

Orientadora: Prof^ª: Sueli Aparecida Mingoti – Ph. D. em Estatística

Belo Horizonte
Departamento de Estatística - UFMG
Novembro de 2014

Dedico este trabalho ao meu pai João José Rodrigues Primo, à minha saudosa mãe Nilza de Jesus, à minha esposa Rosa Maria de Oliveira Rodrigues, aos meus filhos Rodrigo de Oliveira Rodrigues e Ricardo de Oliveira Rodrigues e aos meus irmãos pelo indispensável estímulo e apoio que sempre me dedicaram.

“O aprendizado é como o horizonte: não há limites.”

Provérbio Chinês

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me concedido a oportunidade e o entusiasmo para a realização deste trabalho.

À minha família, pelo incentivo e apoio em todos os momentos.

À Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, especialmente ao Departamento de Estatística, pelas condições de trabalho disponibilizadas para a realização do Curso de Especialização em Estatística.

Aos professores da Pós-Graduação em Estatística, pelos ensinamentos ministrados com dedicação e competência.

À Professora Sueli Aparecida Mingoti, pela orientação segura, pelos ensinamentos, sugestões enriquecedores e estímulo demonstrados durante a elaboração deste trabalho.

Aos Professores Ricardo Teixeira Veiga da Faculdade de Ciências Econômicas da UFMG, Roberto da Costa Quinino e Sueli Aparecida Mingoti do Departamento de Estatística da UFMG, Membros da Banca Examinadora, pelas sugestões apresentadas para o enriquecimento deste trabalho.

A todos os funcionários do Departamento de Estatística da UFMG, cujo trabalho contribui para o funcionamento do Curso de Especialização.

À Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais – USIMINAS, onde trabalhei por vários anos e adquiri conhecimentos e experiência que contribuíram para a realização desse trabalho.

Ao Engenheiro Sérgio Leite de Andrade Vice-Presidente da USIMINAS pelo apoio demonstrado e à Adm. Ailana Gomes Vilela, Gerente de Compras de Matérias-Primas da Empresa, pela colaboração, fornecendo-me dados e informações importantes para a realização deste trabalho.

Ao meu amigo Ivanor Gomes de Campos, pela sua eficiente colaboração na preparação da apresentação deste trabalho.

Finalmente, expresso a minha gratidão aos meus colegas no Curso de Especialização em Estatística, em especial ao Davidson Marcos de Oliveira, pelos ensinamentos compartilhados.

Muito obrigado a todos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. JUSTIFICATIVA	15
3. OBJETIVO	17
4. O TRABALHO DESENVOLVIDO	17
5. O CARVÃO E SUA IMPORTÂNCIA NA SIDERURGIA BRASILEIRA	18
6. A PRODUÇÃO DE AÇO E O MERCADO DE CARVÃO	19
7. SELEÇÃO DE FORNECEDORES - ABORDAGEM MULTICRITÉRIO	23
8. O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA – AHP	26
8.1 Fundamentação Teórica	26
8.2 Avaliações da Estrutura Hierárquica e o Problema Matemático do AHP	28
9. CONSTRUÇÃO DE UM MODELO HIPOTÉTICO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE CARVÕES COQUEIFICANTES	35
9.1 Construção da estrutura hierárquica representativa para o problema	37
9.2.1 Comparações paritárias dos critérios em relação aos benefícios.....	38
9.2.2 Comparações dos subcritérios em relação aos respectivos critérios	39
9.2.3 Comparações paritárias dos fornecedores relativas aos subcritérios.....	41
9.2.4 Composição do Fator Custo de Abastecimento de Carvão	47
9.2.5 Pesos dos Critérios e da Classificação dos Fornecedores por	47
Benefícios	47
9.2.6 Benefícios/Custos por Tipo de Carvão e por Fornecedor.....	49
9.2.7 Classificação Global dos Fornecedores por Benefícios/custos	50
9.2.8 Análise dos Resultados	50
9.2.9 Análise de Sensibilidade dos Resultados	52
10. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
10.1 Conclusões	53
10.2 Considerações Finais.....	55
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE TABELAS

1. Escala de comparações de Saaty.....	29
2. Matriz Genérica de comparações paritárias de critérios.....	30
3. Comparações dos critérios relativas aos Benefícios.....	38
4. Cálculos dos pesos dos critérios.....	38
5. Composição do Fator Capacidade de Entrega.....	39
6. Composição do Fator Garantia da Qualidade.....	39
7. Composição do Fator Riscos Percebidos.....	40
8. Composição do Fator Relacionamento Fornecedor/Empresa.....	40
9. Importância do Fornecedor em relação à Estrutura da Mina.....	41
10. Importância do Fornecedor em relação à Rota Mina/Porto.....	41
11. Importância do Fornecedor em relação ao Porto de Embarque.....	42
12. Importância do Fornecedor em relação à Qualidade do Carvão.....	42
13. Importância do Fornecedor em relação à Qualidade dos Serviços.....	43
14. Importância do Fornecedor em Solução de Problemas.....	43
15. Importância do Fornecedor em relação à Estabilidade Política.....	44

16. Importância do Fornecedor em relação às Relações Trabalhistas.....	44
17. Importância do Fornecedor em relação às Condições Ambientais.....	45
18. Importância do Fornecedor em relação à Facilidade de Comunicação.....	45
19. Importância do Fornecedor em relação à Flexibilidade nas Negociações.....	46
20. Importância do Fornecedor em relação a Objetivos Comuns.....	46

LISTA DE QUADROS

1. Maiores produtores de aço em 2013.....	19
2. Maiores consumidores de aço em 2013.....	20
3. Maiores produtores de carvão coqueificante em 2013.....	21
4. Maiores Exportadores de carvão coqueificante em 2013.....	22
5. Maiores Importadores de carvão coqueificante em 2013.....	22
6. Índice Randômico.....	33
7. Composição do custo por tipo de carvão e fornecedor.....	47
8. Composição do Fator Benefícios/Custos.....	49
9. Classificação Global dos Fornecedores.....	50
10. Benefícios/custo por fornecedor e classe do carvão.....	50
11. Avaliações dos fornecedores em cada critério.....	51
12. Melhores avaliações dos Fornecedores.....	51
13. Avaliações dos Fornecedores para os novos pesos em cada critério.....	52

LISTA DE FIGURAS

1. Estrutura típica do AHP..... 27
2. Hierarquia para seleção de fornecedores segundo Benefícios..... 37

RESUMO

O carvão coqueificante para suprimento da demanda das grandes empresas siderúrgicas brasileiras vem sendo adquirido no mercado externo, pois a qualidade do carvão brasileiro é inadequada para a produção de coque, um produto intermediário, resultante da queima de misturas balanceadas de carvões em fornos apropriados.

Na tecnologia de redução de minério de ferro em alto forno, o coque atua como permeabilizador, combustível e redutor, sendo insubstituível nesse processo, o que torna o carvão metalúrgico o principal insumo para a siderurgia brasileira, por ser totalmente importado e o item de maior impacto no custo do aço produzido no País.

A aquisição de matérias-primas numa indústria de transformação, como a siderurgia, deve fazer parte da estratégia do negócio e seleção de fornecedores pode ser um passo da maior importância para a segurança no abastecimento das usinas siderúrgicas brasileiras, principalmente quando se trata de carvão coqueificante, que é totalmente importado, envolvendo uma grande quantidade de recursos financeiros, em moedas estrangeiras.

É sabido que fornecedores eficazes contribuem para o sucesso de qualquer empreendimento. Conseqüentemente, a seleção de fornecedores é uma atividade fundamental na gestão da cadeia de suprimentos de uma organização.

A escolha dos melhores fornecedores é um problema complexo em que estão presentes muitos fatores objetivos como: custos e outros que podem ser medidos, e fatores subjetivos como: reputação dos fornecedores; questões culturais; parcerias comerciais; riscos e outros para os quais não existem escalas de medição. Entretanto, esses fatores subjetivos podem ser comparados, através de julgamentos, pelos envolvidos no processo decisório.

Esse problema pode ser tratado utilizando-se Métodos de Decisão Multicritério (MCDM), que permitem considerar mais de um critério e novas variáveis nas tomadas de decisão, além daquelas tradicionalmente consideradas, como por exemplo, preços e prazo de entrega.

Esse estudo mostra como o Método de Análise Hierárquica (AHP), um dos Métodos de Decisão Multicritério, pode ser aplicado em um modelo de apoio à decisão, na seleção de fornecedores de carvões coqueificantes para a siderurgia brasileira.

O AHP possibilita aos tomadores de decisão uma melhor compreensão do problema e a manutenção da racionalidade nas situações em que diversas variáveis e diversos critérios de avaliação estão presentes, pois a sua estrutura segue o caminho intuitivo que os gerentes usam para tomar decisões. Portanto, a aplicação do AHP, pela sua estrutura e facilidade de uso, poderá ser um instrumento muito útil no processo decisório de seleção dos melhores fornecedores de carvões, contribuindo para a segurança no seu abastecimento e para a competitividade das grandes empresas siderúrgicas brasileiras.

Palavras-Chave: Método de Decisão Multicritério, Método de Análise Hierárquica – AHP, Seleção de fornecedores, Carvão coqueificante, Produção de coque, Siderurgia.

ABSTRACT

The cokemaking coal to supply the demand of large Brazilian steel companies has been acquired in the foreign market, because the quality of Brazilian coal is inadequate for coke production, an intermediary product obtained from burning coals balanced mixtures in appropriate ovens.

In iron ore reduction technology in blast furnace, coke acts a means permeabilizer, fuel and reducer, being irreplaceable in this process, which makes the coking coal the main raw material for the Brazilian steel industry, because it is fully imported and the item with the greatest impact on the cost of the steel produced in the country.

The acquisition of raw materials in the manufacturing industry, like the steel industry, should be part of the business strategy and the suppliers' selection can be a major step for the security of Brazilian steel mills supply, especially when it comes to cokemaking coal which is fully imported, involving a lot of financial resources in foreign currencies.

It is well known that effective suppliers contribute to the success of any enterprise. Therefore, the selection of suppliers is a key activity in an organization supply chain management.

The choice of the best suppliers is a complex problem in which many objective factors are present such as: costs and others that can be measured and subjective factors such as: suppliers' reputation; cultural issues; commercial partnerships; risks and others for which there isn't measurement scales. However, these subjective factors can be compared through trials, by those involved in decision making.

This problem can be treated using Multicriteria Decision Methods (MCDM), for considering more than one criterion and new variables in decision-making beyond those traditionally considered, such as price and delivery time.

This study shows how the Analytical Hierarchy Process (AHP), one of Multicriteria Decision Methods, can be applied to a model of decision support in the selection of cokemaking coal suppliers to the Brazilian steel industry.

The AHP enables decision makers a better understanding of the problem and the maintenance of rationality in situations where many variables and different evaluation criteria are present, because its structure follows the intuitive way that managers use to make decisions.

Therefore, the application of AHP, by its structure and ease of use, can be a very useful tool in the decision making process of selection of the best coal suppliers, contributing to security in its supply and competitiveness of large Brazilian steel companies.

Keywords: Multicriteria Decision Method, Analytic Hierarchy Process - AHP, Supplier selection, cokemaking Coal, Steel industry.

1. INTRODUÇÃO

A siderurgia brasileira produziu 34,2 milhões de toneladas de aço bruto em 2013, levando o País a ocupar a 9ª posição entre os maiores produtores de aço no mundo, apesar de estar operando abaixo da sua capacidade instalada.

Aproximadamente, 70% dessa produção foi realizada por grandes empresas siderúrgicas integradas que utilizam o coque no processo de produção de ferro gusa em seus grandes altos fornos.

O coque é um produto intermediário resultante da queima de misturas balanceadas de carvões coqueificantes, em baterias de fornos apropriadas. Nos altos fornos, coque é empregado na redução de minério de ferro na produção do ferro gusa, que posteriormente, nas aciarias, com as devidas adições, será convertido em aço.

Na tecnologia de redução de minério de ferro em altos fornos, o coque atua como: permeabilizador, combustível e redutor, sendo insubstituível nesse processo, o que torna o carvão metalúrgico uma matéria prima estratégica para a siderurgia brasileira, por ser totalmente importado e o item de maior impacto no custo do aço produzido no País. Aproximadamente, 40% do custo do aço bruto brasileiro pode ser atribuído aos gastos com carvão mineral. Portanto, o crescimento da produção de aço no Brasil continuará ocorrendo, predominantemente, dependente da importação de carvão metalúrgico, o que requer preservar e aprimorar toda a sistemática de gestão do suprimento dessa importante matéria prima.

É sabido que, numa indústria de transformação, como é o caso da siderurgia, a eficácia da gestão da cadeia de suprimentos tem grande importância para o sucesso do negócio. Assim sendo, uma política e estratégias adequadas para assegurar o suprimento de carvão metalúrgico são fundamentais para a competitividade das empresas siderúrgicas brasileiras. Nesse sentido, é muito importante decidir com quais fornecedores estabelecer contratos, que carvões, que quantidades, a que preços e quando contratar, visando assegurar o abastecimento de uma usina. Esse processo decisório é complexo, por envolver muitas variáveis quantitativas que podem ser medidas e qualitativas que são avaliadas através de julgamentos dos responsáveis pelas decisões.

Um passo importante nesse processo é a escolha de fornecedores confiáveis, que tenham capacidade de atender, com qualidade e boa relação benefícios/ custos, os requisitos dos contratos de fornecimento negociados. Nesse trabalho é apresentado um modelo de apoio à decisão, que utiliza o Método de Análise Hierárquica, uma das técnicas da Estatística Multivariada que pode ser aplicada na seleção de fornecedores.

2. JUSTIFICATIVA

As grandes empresas siderúrgicas brasileiras utilizam o carvão metalúrgico, como principal matéria prima na produção do aço.

Carvões metalúrgicos são usados em misturas balanceadas para a produção de coque utilizado em grandes altos fornos como combustível e redutor da carga metálica na produção de gusa que, posteriormente, será convertido em aço.

O carvão metalúrgico, por ser totalmente importado e responsável por uma significativa parcela do custo do aço, é uma matéria-prima de suma importância para a siderurgia brasileira.

As grandes empresas que compõem o parque siderúrgico do País consomem um grande volume de carvão, o que acarreta um vultoso dispêndio de recursos financeiros em moeda estrangeira. Anualmente, essas empresas, a partir do cenário vigente e de previsões para o futuro, realizam negociações de contratos de fornecimento visando assegurar um adequado abastecimento de suas usinas.

No mercado internacional existem diversos fornecedores, diversos tipos de carvão e, diversos tipos de navios e de condições portuárias para o seu transporte. O número de carvões ofertados no mercado é grande, porém a disponibilidade anual de cada um, geralmente é baixa. Estados Unidos, Canadá, Austrália, China, Polônia, Colômbia são importantes fornecedores no mercado de carvões.

Os fornecedores de carvões podem ser classificados como tradicionais ou não tradicionais, em decorrência de contratos anteriormente realizados e de critérios adotados pela contratante. Os preços dos carvões, colocados nas usinas, variam em função das suas especificações e do custo de transporte, que é afetado pela rota e pelo tipo de navio utilizado e, logicamente, pelas condições vigentes no mercado. O preço do carvão metalúrgico, dependendo das condições consideradas no momento, embora muito importante, pode não ser a principal variável, quando se opera um alto forno de médio ou de grande porte com altas taxas de injeção/altos níveis de produtividade e/ou quando a estratégia de equilíbrio de carbono da empresa prevê prolongamento da vida de suas baterias de coqueificação.

O processo de seleção de fornecedores e de carvões a serem contratados (tipos e quantidades) envolve muitas funções interdependentes nas empresas (Planejamento Estratégico, Logística, Pesquisa e Desenvolvimento, Pesquisa Operacional, Produção, Compras, Transporte e Finanças); muitas questões conflitantes e muitas variáveis (quantitativas e qualitativas), que devem ser tratadas simultaneamente, o que se torna impossível para a mente humana, sem a utilização de uma metodologia adequada e modelos quantitativos de apoio às decisões, apropriados.

Um passo importante nesse processo decisório pode ser a seleção dos melhores fornecedores. O Método de Análise Hierárquica (AHP), uma das técnicas da Estatística Multivariada, tem se mostrado apropriado para modelar esse tipo de problema, por ser simples, permitir uma total compreensão por parte do tomador de decisão, cativar sua confiança e propiciar uma maior participação dos envolvidos na estruturação e análise do problema, (Motta e Pamplona, 1988).

A metodologia proposta, além de favorecer a formalização e a integração do processo de seleção de fornecedores, tornará o modelo de apoio às decisões compreensível, de fácil construção e de fácil utilização pela equipe de planejamento de compras de carvões.

A formalização e integração desse processo de tomadas de decisões são fundamentais para que os resultados obtidos estejam em consonância com os objetivos maiores das empresas, pois decisões acertadas asseguram segurança no abastecimento e significativas economias em dólares.

3. OBJETIVO

A seleção de fornecedores internacionais é um tema bastante amplo e constante nos estudos de administração empresarial, envolvendo muitos fatores objetivos e subjetivos e decisões geralmente complexas nas definições de políticas e de estratégias na gestão da cadeia de suprimentos de uma empresa.

O objetivo desse trabalho consiste em desenvolver um modelo de apoio à decisão na escolha de fornecedores de carvões metalúrgicos para a siderurgia brasileira visando:

- Contribuir para o aprimoramento da estruturação, formalização e integração do processo decisório de seleção de fornecedores de carvão metalúrgico;
- Contribuir para a melhoria na segurança e na relação custo/benefício no abastecimento dessa importante matéria-prima;
- Contribuir para o desenvolvimento e compreensão do assunto tratado, visando a sua aplicação em problemas semelhantes em outras áreas.

4. O TRABALHO DESENVOLVIDO

O trabalho desenvolvido consistiu de pesquisa exploratória e documental para fundamentação teórico-metodológica do problema tratado, elaboração e aplicação da metodologia proposta. Os seguintes assuntos foram abordados:

- Carvão mineral e sua importância para a siderurgia brasileira;
- Produção de aço e o mercado de carvões;
- Seleção de fornecedores internacionais – abordagem multicritério;
- O Método de Análise Hierárquico (AHP) como instrumento de apoio à decisão na seleção de fornecedores;
- Aplicação da metodologia proposta em um modelo hipotético para a seleção de fornecedores de carvão em uma siderúrgica de grande porte.

5. O CARVÃO E SUA IMPORTÂNCIA NA SIDERURGIA BRASILEIRA

O carvão mineral é um complexo orgânico que contém carbono, hidrogênio, oxigênio e em quantidades menores enxofre, fósforo e nitrogênio. Os carvões são classificados, conforme os principais processos em que são utilizados como: metalúrgicos (utilizados na produção de gusa em alto forno) e energéticos (utilizados na produção de energia elétrica). Os carvões metalúrgicos coqueificantes podem ser classificados como sendo *hards*, *semi-hards*, *softs* e *semi-softs*. Carvões *hards* são aqueles que produzem coque de alta resistência mecânica e de alta resistência após a reação com o dióxido de carbono, no processo de produção de gusa.

As reservas mundiais de carvão mineral são estimadas em um trilhão de toneladas, porém, apenas 15% dessas reservas é de carvão metalúrgico. Estados Unidos, Rússia, China, Austrália, Índia, África do Sul, Polônia, Canadá e Indonésia juntos detêm 80% das reservas mundiais de carvão. No Brasil reservas de carvão mineral, além de modestas, são inadequadas para a produção de coque utilizado na produção de gusa em empresas siderúrgicas que empregam a tecnologia de redução de minério de ferro em alto forno. O carvão brasileiro apresenta elevados teores de enxofre, de cinza e de álcalis que o torna inapropriado para a produção de coque de alto forno e por isso, desde 1990 todo carvão metalúrgico utilizado nas grandes usinas siderúrgicas brasileiras é de importação. Comercialmente, os carvões utilizados na produção de coque nessas usinas são classificados em função da matéria volátil como sendo: alto volátil; médio volátil e baixo volátil, em função de seus percentuais de matéria volátil.

Segundo o Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS, a missão da siderurgia brasileira é prover, com eficácia, o abastecimento interno de produtos siderúrgicos e participar, de forma permanente, do comércio mundial de aço, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e o bem estar social do País.

A indústria de aço no Brasil produziu 34,2 milhões de toneladas de aço bruto em 2013, levando o País a ocupar a 9ª posição entre os maiores produtores de aço no mundo. A maior parte desse aço, ou seja, 70% foi produzida por grandes empresas siderúrgicas integradas que possuem coquearias, altos fornos e outros processos interdependentes que se estendem desde a aquisição e preparação das matérias-primas necessárias até ao atendimento dos seus clientes com produtos laminados, subprodutos e serviços colocados no mercado. A produção de aço nas usinas

brasileiras, à base de carvão mineral/coque continuará sendo, predominantemente, feito à base de carvão importado, o que torna essa matéria prima estratégica, por ser totalmente importada e o item de maior impacto no custo do aço brasileiro. Portanto, a competitividade da siderurgia brasileira depende em grande parte da eficácia da gestão da sua cadeia de suprimentos, o que envolve selecionar bem os seus fornecedores.

6. A PRODUÇÃO DE AÇO E O MERCADO DE CARVÃO

A produção mundial de aço cresceu muito na última década. No período entre 2003 e 2013 a produção mundial de aço aumentou em 65%. A maior parte desse aço é usada na China, cujo percentual do consumo passou de 27,3% em 2003 para 47,3% em 2013.

Atualmente, em 70% da produção mundial de aço, o coque é usado no processo de produção de gusa em altos fornos de grandes usinas siderúrgicas.

Nos Quadros 1 e 2 são mostrados os dez países que mais produziram e os dez que mais consumiram aço em 2013 e respectivas quantidades. Pode-se observar que o Brasil ocupa a nona posição entre os maiores produtores, bem como entre os maiores consumidores mundiais de aço.

Quadro 1 – Maiores produtores de aço em 2013

País	Produção de Aço (Mt)
China	779
Japão	111
Estados Unidos	87
Índia	81
Rússia	69
Coréia do Sul	66
Alemanha	43
Turquia	35
Brasil	34
Ucrânia	33

Fontes: IEA & World Steel Association

Quadro 2 – Maiores consumidores de aço em 2013

País	Consumo de Aço (Mt)
China	646
Estados Unidos	97
Índia	72
Japão	64
Coréia do Sul	54
Rússia	42
Alemanha	38
Turquia	28
Brasil	25
Itália	22

Fontes: IEA & World Steel Association

A produção mundial de aço vem crescendo e, conseqüentemente, o consumo e o valor de mercado do carvão, principalmente do carvão para uso siderúrgico, pois apenas 15% das reservas mundiais dessa matéria-prima possui as propriedades adequadas para a produção de coque.

Cerca de 80% das reservas de carvões conhecidas situa-se no Hemisfério Norte. Os carvões são classificados, em relação aos principais processos em que são usados, em metalúrgicos (na produção de gusa) e energéticos (na produção de energia elétrica). Os carvões metalúrgicos podem ser classificados, segundo o poder coqueificante ou habilidade na produção de coque de alto forno, em coqueificantes e não coqueificantes.

Os carvões coqueificantes, quando aquecidos na ausência de ar amolecem, incham, se aglomeram e solidificam formando um sólido poroso rico em carbono, denominado coque. Os carvões coqueificantes podem ser classificados, em relação ao coque deles derivado, em *hards*, *semi-hards*, *softs* e *semi-softs*. Carvões *hards* são aqueles que produzem um coque de alta resistência mecânica e alta resistência após a reação com o dióxido de carbono no processo de produção de gusa. Os carvões *semi-hards*, *softs* e *semi-softs* geram coque de qualidade inferior, a princípio, teriam preços menores do que os *hards*, representando uma

alternativa na produção de coque, desde que possam ser usados sem causar problemas operacionais no alto forno e se for economicamente viável, (BERTLING, H. end STROBEL, U. ,1/1996).

Os carvões são também classificados em relação ao grau de enriquecimento em carbono durante a formação geológica, ou seja, grau de carbonificação (*rank*). Na siderurgia brasileira os carvões alto volátil, médio volátil e baixo volátil são considerados de baixo, médio e alto grau de carbonificação. Os Quadros 3, 4 e 5 mostram, respectivamente, os dez países que mais produziram carvão coqueificante; os dez maiores exportadores e os dez maiores importadores em 2013 e respectivas quantidades.

Quadro 3 – Maiores Produtores de carvão coqueificante em 2013

País	Produção de Carvão coqueificante (Mt)
China	527
Austrália	158
Estados Unidos	78
Rússia	73
Índia	42
Canadá	34
Mongólia	20
Ucrânia	20
Cazaquistão	12
Polônia	12

Fontes: IEA & World Steel Association

Quadro 4 – Maiores Exportadores de carvão
coqueificante em 2013

País	Exportação de Carvão coqueificante (Mt)
Austrália	154
Estados Unidos	60
Canadá	31
Rússia	22
Mongólia	15
Moçambique	4
Indonésia	3
Polônia	3
Nova Zelândia	2
República Tcheca	2

Fontes: IEA & World Steel Association

Quadro 5 – Maiores Importadores de carvão
coqueificante em 2013

País	Importação de Carvão coqueificante (Mt)
China (RPC)	77
Japão	54
Índia	38
Coréia do Sul	31
Brasil	12
Ucrânia	11
Alemanha	8
China Taipei	7
Turquia	6
Inglaterra	6

Fontes: IEA & World Steel Association

A siderurgia brasileira está entre os maiores importadores de carvões coqueificantes. Em 2013 as suas importações foram da ordem de 12 milhões de toneladas de carvões, a um custo de 1,7 bilhões de dólares. Considerando o impacto do carvão mineral da ordem de 40% do custo do aço brasileiro e que o crescimento da produção de aço no País continuará dependente da importação de carvão mineral, a busca de novas alternativas de abastecimento, avaliando custos e benefícios é fundamental para a competitividade do aço brasileiro no mercado mundial. A China, apesar de ser grande produtora de carvão, não está aumentando a sua produção de carvão coqueificante no mesmo ritmo em que está aumentando a sua produção de aço, contribuindo para a elevação dos preços dos carvões no mercado.

7. SELEÇÃO DE FORNECEDORES - ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

Sabe-se que fornecedores eficazes contribuem para o sucesso de qualquer empreendimento. Conseqüentemente, a seleção de fornecedores é uma atividade fundamental na gestão da cadeia de suprimentos de uma organização.

Geralmente, as organizações buscam encontrar fornecedores para suprir suas necessidades de produtos e serviços que sejam capazes de atender seus requisitos como: qualidade e quantidade especificadas, prazos de entrega e preços justos.

A escolha de melhores fornecedores é um problema complexo que envolve muitos fatores objetivos como: custos e outros fatores que podem ser medidos, e fatores subjetivos como: reputação dos fornecedores; questões culturais; parcerias comerciais; riscos e outros para os quais não existem escalas de medição. Entretanto, esses fatores subjetivos podem ser comparados, através de julgamentos, pelos envolvidos no processo de seleção.

Esse problema pode ser tratado utilizando-se Métodos de Decisão Multicritério (MCDM), que permitem considerar mais de um critério e novas variáveis, além daquelas tradicionalmente consideradas, como por exemplo, preços e prazo de entrega, em um modelo quantitativo de apoio à decisão. Um modelo é uma representação simplificada da realidade, mediante a qual procuramos identificar e destacar os elementos desta realidade que sejam mais importantes

para a decisão. No processo de modelagem, troca-se a riqueza e abrangência da realidade por poder de análise e capacidade de experimentação.

O Método de Análise Hierárquica (AHP) é um dos métodos Multicritério que pode ser utilizado em um modelo de apoio à decisão, na seleção de fornecedores. Esse método possibilita aos tomadores de decisão uma melhor compreensão do problema e a manutenção da racionalidade nas situações em que diversas variáveis e diversos critérios de avaliação estão presentes. Boas decisões são logicamente consistentes com as preferências, alternativas e informações disponíveis. (EHRlich, 1996).

Segundo Saaty (1990), o AHP tem sido bastante utilizado em problemas de decisão gerencial, principalmente, por duas importantes características:

1. A estrutura do AHP segue o caminho intuitivo que os gerentes usam para tomar decisões;
2. Sua facilidade de uso, quando comparado com outros métodos Multicritério.

Em suma, o processo de decisões, utilizando o AHP, é composto pelas seguintes fases:

- Estruturação do problema como uma hierarquia;
- Julgamentos através de comparações paritárias;
- Representação numérica destas comparações;
- Síntese dos resultados.

No desenvolvimento de modelo de apoio à decisão utilizando a Análise Hierárquica devem ser consideradas as seguintes etapas:

- Formação de uma equipe adequada: Essa equipe deve ser constituída por pessoas que possuam conhecimentos necessários e que busquem a formação de consenso para a elaboração de um modelo que seja uma boa abstração da realidade representada. Segundo Vargas (1990), o AHP considera que, no processo de tomada de decisão, a experiência e o conhecimento da equipe é fundamental, pois ela será responsável pela definição do problema; definição dos critérios e subcritérios a serem considerados na decisão; definição

de potenciais fornecedores e, também, pela estruturação do problema como uma hierarquia e pela avaliação e priorização dos atributos dos diversos níveis dessa hierarquia em relação aos atributos no nível imediatamente superior a cada um deles, através dos julgamentos de seus membros;

- Definição do problema: Consiste na definição do produto a ser adquirido, da importância do produto para a organização e do objetivo a ser alcançado;
- Definição dos critérios e subcritérios de decisão: Consiste em definir atributos quantitativos e ou qualitativos que representem os requisitos operacionais e estratégicos da organização a serem utilizados na avaliação de potenciais fornecedores visando o objetivo estabelecido;
- Estruturação do problema como uma hierarquia linear: Consiste na hierarquização dos fatores relevantes para a tomada de decisão, considerando como foco o objetivo a ser alcançado e os atributos que foram considerados para se alcançar tal objetivo. A estrutura hierárquica construída deve ser uma boa representação da realidade observada e ser consistente. Uma hierarquia pode ser considerada como uma abstração da estrutura de um sistema, que possibilita avaliar as interações de seus componentes e os seus impactos no objetivo visado. No AHP são usadas hierarquias lineares (árvores lineares), em que os elementos de um nível qualquer se ligam apenas a elementos do nível imediatamente superior e do nível imediatamente inferior. Segundo Schmidt (1995), a estrutura do problema como uma hierarquia deve ser a mais enxuta possível, pois o volume de trabalho aumenta exponencialmente em função do aumento dos níveis e critérios na hierarquia. O aumento da quantidade de alternativas e de critérios pelos quais elas serão avaliadas pode levar as pessoas a cometer erros nas avaliações a serem realizadas. Por isso é importante que o problema e as questões para as comparações paritárias sejam claramente definidos e que as ambiguidades na hierarquia sejam eliminadas;
- Avaliação dos atributos nos diversos níveis da hierarquia: Consiste em realizar comparações paritárias visando priorizar a importância dos critérios em relação ao objetivo; dos subcritérios em relação aos critérios e dos potenciais fornecedores em relação aos subcritérios. Essas comparações paritárias são feitas usando uma escala que varia de 1

a 9 em que 1 significa que os dois atributos comparados têm a mesma importância ou a mesma preferência em relação ao nível imediatamente superior e 9 significa que um dos atributos comparados tem importância ou preferência absoluta para o nível imediatamente superior. O mesmo raciocínio é válido nas comparações dos potenciais fornecedores previamente considerados, em cada atributo especificado. Ressalta-se que os números usados nessa escala são magnitudes absolutas e não simples números ordinais. Segundo Saaty (1991), essa escala é preferível em relação a todas as outras, considerando a racionalidade do número 9 como limite superior da escala e outras razões associadas à habilidade humana para fazer distinções qualitativas. O psicólogo Miller, G. A., (1956) sugere os limites de 7 ± 2 itens para uma comparação pela mente humana. Se várias pessoas estão envolvidas no processo de avaliação, é muito importante que elas possam expressar adequadamente e corretamente seus conhecimentos na definição dos elementos introduzidos no modelo hierárquico. Isso facilita a compreensão do problema e contribui para que as pessoas se ajudarem mutuamente no aprimoramento de seus julgamentos.

- O líder da equipe deve coordenar o processo e assegurar um ambiente propício para evitar que diferenças pessoais possam prejudicar os seus resultados.

A aplicação do Método de Análise Hierárquica como instrumento de apoio à decisão em problemas complexos possibilita a obtenção de um modelo que seja uma boa representação da realidade observada; alta eficiência nas comparações paritárias e grande consistência nos resultados, pressupondo-se que a capacidade da mente humana é limitada para avaliar simultaneamente muitos fatores que, geralmente estão presentes nos problemas de decisão.

8. O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA – AHP

8.1 Fundamentação Teórica

O Método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process – AHP), uma das metodologias Multicritério de apoio à decisão, foi idealizado e fundamentado matematicamente por Thomas Saaty da Universidade de Pittsburgh, em 1980.

Este método tem como característica principal a capacidade de estruturar hierarquicamente problemas em que estão envolvidos múltiplos objetivos e critérios, pessoas e suas preferências

e distintos cenários. O agrupamento em hierarquias pode ser considerado um método natural da mente humana para lidar com situações complexas, em que fatores objetivos e fatores subjetivos estão presentes.

Uma hierarquia é uma representação estruturada resultante da decomposição de um problema em objetivo, critérios, subcritérios e alternativas, segundo relações de causa-e-efeito, (Schmidt, 1995).

A Figura 1, a seguir, mostra uma estrutura hierárquica, considerando apenas o objetivo, critérios e alternativas.

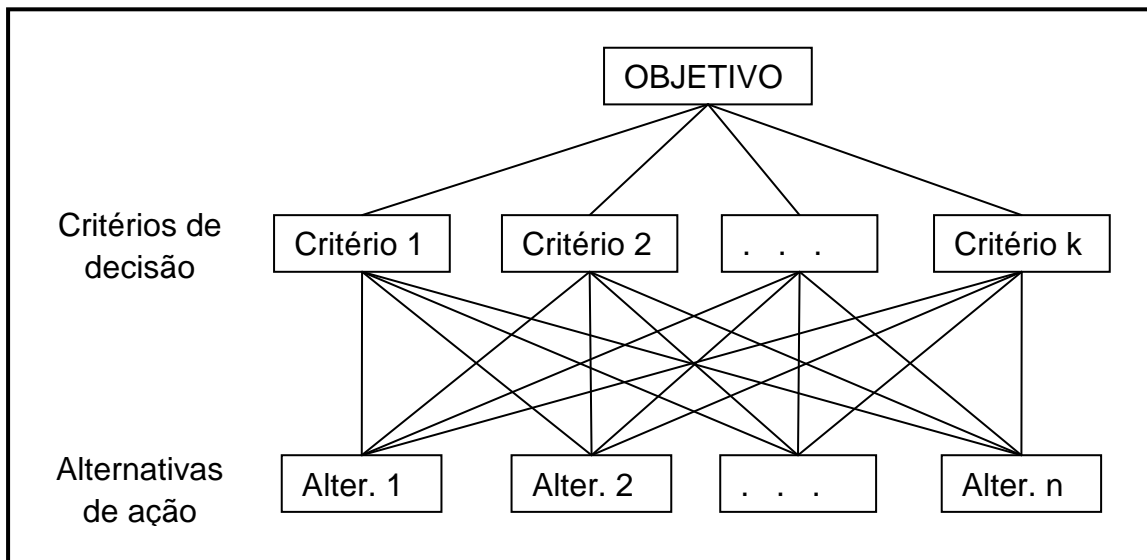


Figura 1– Estrutura GenéricaTípica do AHP - Fonte: Saaty (1991).

No nível mais alto da hierarquia tem-se o objetivo a ser alcançado, seguido dos critérios e subcritérios de nível 1, subcritérios de nível 2 etc., adotados na avaliação, e no nível mais baixo tem-se as alternativas disponíveis.

No AHP, as preferências dos tomadores de decisões são construídas dentro do próprio processo de tomadas de decisão. A estruturação da hierarquia constitui a fase inicial da formulação do problema e se estende para toda a problemática decisória, onde a participação dos envolvidos é fundamental para o sucesso das decisões. Assim, a formulação de um problema, através do AHP, utiliza os paradigmas da aprendizagem e da subjetividade

onipresente, conduzindo os atores em um processo evolutivo, durante o desenvolvimento de um estudo de apoio à decisão.

Para Bana e Costa (1990), este método construtivista de apoio à decisão é adequado por levar em consideração a objetividade, os fatores subjetivos inerentes aos seres humanos, por utilizar a aprendizagem e fazer recomendações que são resultantes da construção e da interação entre os atores e intervenientes no processo decisório. De acordo com Wind & Saaty (1980), o uso desse método apresenta os seguintes benefícios:

- a) Ajuda a identificar objetivos relevantes;
- b) Induz a análise de critérios ambientais que afetam as decisões;
- c) Estimula a criatividade na geração de linhas de conduta;
- d) Mostra flexibilidade na assimilação dos valores gerenciais no processo de hierarquização;
- e) Mostra flexibilidade para incorporar qualquer tipo de cenário ambiental e qualquer tipo de objetivo;
- f) Apóia-se nas percepções dos gerentes envolvidos com o problema;
- g) Facilita e disciplina tanto a resolução de conflitos como o alcance do consenso entre os participantes do processo de decisão.

8.2 Avaliações da Estrutura Hierárquica e o Problema Matemático do AHP

Conforme Saaty (1991), após a decomposição de um problema complexo em uma estrutura hierárquica descendente, onde cada nível é composto por elementos específicos (objetivo, critérios, subcritérios e alternativas de decisão), o AHP busca obter, através de comparações paritárias, as “intensidades” ou as prioridades dos elementos individuais em cada nível da hierarquia em relação à sua importância para os elementos no nível próximo mais alto. Dessa forma, obtêm-se matrizes de comparações das alternativas em relação aos subcritérios, dos subcritérios em relação aos critérios e dos critérios em relação ao objetivo. Estas comparações paritárias são feitas através de julgamentos em princípios qualitativos realizados pelos tomadores de decisões, usando a escala de Saaty como um meio de aproximação da realidade, que é o propósito do AHP.

Na Tabela 1 é apresentada a escala de comparações de Saaty.

Tabela 1 – Escala de Comparações de Saaty

Intensidade	Definição	Comentário
1	Igual importância	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Moderada importância	O julgamento do decisor é ligeiramente favorável a um fator.
5	Forte importância	O julgamento é fortemente favorável a um fator.
7	Muito forte importância	Um fator é muito mais importante que o outro.
9	Extrema importância	Um fator é tão mais forte do que o outro quanto possível.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	Um meio termo entre os julgamentos anteriores.

Fonte: Saaty, 1991.

Na construção dessa escala, Saaty considerou as experiências de Miller (1956) em que o número 7 ± 2 é considerado como o limite do número de informações que um indivíduo é capaz de processar simultaneamente. Nessa escala, 1 serve para demonstrar a identidade entre dois elementos e 9 a dominância máxima de um sobre o outro. O AHP propõe que os julgamentos, nas comparações paritárias dos elementos, sejam feitos por pessoas que possuem conhecimento e experiência sobre o problema tratado e estejam envolvidas no processo decisório.

As matrizes obtidas, da forma $\mathbf{A}_{(n \times n)} = (a_{ij})$, de modo que:

$$a_{ij} > 0 \quad \text{e} \quad a_{ji} = 1 / a_{ij}, \quad \forall (i, j), \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

são matrizes quadradas positivas e recíprocas.

Assim, para um nível qualquer da estrutura hierárquica, por exemplo, critérios, onde $C_i = 1, 2, \dots, n$, são os critérios considerados. Os resultados das comparações paritárias são apresentados na forma matricial mostrado na Tabela 2, a seguir:

Tabela 2 – Matriz Genérica de Comparações Paritárias dos Critérios

Critérios	C_1	C_2	...	C_n
C_1	1	a_{12}	...	a_{1n}
C_2	$1 / a_{12}$	1	...	a_{2n}
.
A =
.
C_n	$1 / a_{1n}$	$1 / a_{2n}$...	1

ou seja, uma matriz $A_{(n \times n)} = (a_{ij})$, onde a_{ij} são os resultados das comparações paritárias entre dois critérios quaisquer (valor da intensidade da importância de um em relação ao outro, para o objetivo).

Analogamente, obtêm-se as matrizes de comparações paritárias para os subcritérios em relação aos critérios e das alternativas em relação aos subcritérios. Construídas todas as matrizes, o problema matemático a ser resolvido pelo AHP consiste em encontrar pesos w_1, w_2, \dots, w_n , que expressem as importâncias relativas (pesos) de cada uma das alternativas em relação ao objetivo. Isto é feito calculando-se os pesos das alternativas em relação aos subcritérios, dos subcritérios em relação aos critérios, dos critérios em relação ao objetivo e sintetizando os resultados, de modo que $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Como observado anteriormente, $a_{ji} = 1/a_{ij}$, isto é, as matrizes construídas são recíprocas. Se os julgamentos dos tomadores de decisão forem perfeitos em todas as comparações, então $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk}$ para quaisquer i, j, k . Nestes casos, as matrizes serão consistentes. Um caso óbvio de matriz consistente ocorre quando as comparações são baseadas em medidas exatas, isto é, os pesos w_1, w_2, \dots, w_n , já são conhecidos. Sendo assim tem-se:

Então $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$

e $a_{ij} \cdot a_{jk} = \frac{w_i}{w_j} \cdot \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} = a_{ik}$

também $a_{ji} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{\frac{w_i}{w_j}} = \frac{1}{a_{ij}}$

Partindo de (1), tem-se:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \Rightarrow a_{ij} \cdot \frac{w_j}{w_i} = \frac{w_i \cdot w_j}{w_j \cdot w_i} = 1, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

e, consequentemente: $\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j \cdot \frac{1}{w_i} = n, \quad i = 1, 2, \dots, n$

ou $\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = n w_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$, o que é equivalente a $Aw = nw$.

Matricialmente, esta fórmula pode ser escrita da seguinte forma:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Esta equação matricial mostra que, multiplicando-se a matriz **A** pelo transposto do vetor de pesos, (w_1, w_2, \dots, w_n) , o resultado obtido é um novo vetor nw .

Sendo $\mathbf{A}w = nw$, o problema matemático a ser resolvido consiste em um sistema de equações lineares homogêneo, ou seja, $(\mathbf{A} - n\mathbf{I})w = 0$, onde \mathbf{I} é uma matriz identidade. Este sistema tem solução não-trivial, se e somente se, $|\mathbf{A} - n\mathbf{I}| = 0$, ou seja, n é um autovalor de \mathbf{A} e $|\mathbf{A} - n\mathbf{I}|$ é o determinante da matriz. Como toda linha da matriz \mathbf{A} é um múltiplo da primeira, ela tem posto igual à unidade.

Assim, seus autovalores, exceto um, são iguais a zero. A soma dos autovalores de uma matriz é igual ao seu traço, isto é, soma dos elementos da diagonal principal. Neste caso, o traço de \mathbf{A} é igual a n . Portanto, n é igual a λ_{\max} , o maior autovalor de \mathbf{A} e uma solução não-trivial para o problema.

Nos casos práticos, a_{ij} são valores baseados não em medidas exatas, mas em julgamentos subjetivos dos tomadores de decisões. Assim, os valores a_{ij} sofrerão desvios das razões “ideais” w_i / w_j , e a equação $\mathbf{A}w = nw$ não mais será válida, pois λ_{\max} será diferente de n . Neste caso, tem-se o que se chama de inconsistência na matriz \mathbf{A} , visto que uma matriz é considerada consistente quando $\lambda_{\max} = n$.

Em geral, os julgamentos qualitativos obtidos usando a escala construída por Saaty, para servir como um meio de aproximação da realidade, que é o propósito do AHP, apresentam inconsistências, que podem aumentar com a complexidade do problema e o tamanho da estrutura hierárquica do modelo construído para a sua avaliação, devido à limitada habilidade humana e à própria escala utilizada. A manutenção da racionalidade deve ser considerada uma condição básica nas escolhas realizadas nos processos de decisão, em situações complexas ou mesmo nas simples. Segundo (BRAMONT,1996), a suposição fundamental para aceitação dos julgamentos nas matrizes de preferências dos decisores é que elas devem atender dois axiomas básicos para assegurar a racionalidade e consistência no processo de classificação das alternativas avaliadas:

1- Axioma da Ordinalidade: **ab** ou **ba**. De acordo com o axioma da ordinalidade, um indivíduo racional é sempre capaz de expressar sua preferência entre duas alternativas possíveis. Então, **a** é tão ou menos atrativo que **b**, ou **b** é tão ou menos atrativo que **a**.

2- Axioma da Transitividade: **ab** e **bc**, então, **ac**, onde **a**, **b**, **c** são alternativas possíveis e, *tão ou menos atrativo que*, a relação considerada.

Pelo axioma da transitividade, o tomador de decisão racional deve ser consistente em seus julgamentos. Assim, se ele julga que **a** é *tão ou menos atrativo que* **b** e **b** é *tão ou menos atrativo que* **c**, então **a** é *tão ou menos atrativo que* **c**.

A consistência das matrizes de julgamentos pode ser avaliada através de um índice, a razão de consistência (RC), considerando que os resultados são aceitáveis para valores de RC iguais ou menores que 0,10. Este índice e o critério para a sua avaliação estabelecidos por Saaty é calculado como a seguir:

$RC = \frac{IC}{IR}$, sendo dado por: $IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$ (índice de consistência) e IR (índice randômico), obtido experimentalmente e mostrado no quadro 6, abaixo:

Quadro 6 - Índice Randômico (IR) para matrizes de ordem $n \leq 10$

Ordem da matriz	IR	Ordem da matriz	IR
1	0,00	6	1,24
2	0,00	7	1,32
3	0,58	8	1,41
4	0,90	9	1,45
5	1,12	10	1,49

Fonte: Saaty (1991)

A consistência será considerada boa se $RC \leq 0,10$, caso contrário é necessário rever as avaliações feitas pelos tomadores de decisão ou aplicar um método para torná-la consistente, sem perder suas características iniciais (Zeshui & Cuiping, 1999). Nos casos em que λ_{max} é maior que n , a equação a ser resolvida será $Aw = \lambda_{max} * w$, e o problema matemático do

método AHP se resumirá na determinação do autovalor dominante de uma matriz e de seu autovetor associado. O teorema de Perron-Frobenius garante a existência de um autovalor dominante, real, positivo e único para matrizes cujos elementos sejam positivos, conforme demonstrado no livro Método de Análise Hierárquica, (Saaty, 1991).

O vetor associado ao autovalor dominante é o vetor de pesos dos elementos avaliados, em cada nível da hierarquia. Nas aplicações do AHP, este vetor é usualmente normalizado de tal forma que a soma de seus elementos seja 1.

Após a construção de todas as matrizes que a hierarquia exigir, os vetores dos pesos em qualquer nível serão representados pelas colunas da matriz gerada para aquele nível. Multiplicando-se, à direita, a matriz de pesos de um determinado nível pelo vetor ou matriz de pesos do nível superior, obtém-se um vetor ou matriz de prioridades relativas dos elementos do nível inferior, que representa uma ordenação geral da sua contribuição para o propósito mais elevado da hierarquia. Saaty (1991), recomenda que o cálculo do autovetor w , que expressa as importâncias relativas de cada um dos critérios ou subcritérios, seja feito elevando a matriz A à potências arbitrariamente altas e dividindo-se a soma de cada linha pela soma dos elementos da matriz, ou seja, normalizando-se os resultados. Isso resulta no autovetor de prioridades para ordenação da matriz no nível considerado. Esta operação deve ser repetida até que as diferenças entre os resultados normalizados da última operação e da anterior sejam suficientemente pequenas, após a terceira casa decimal. Outro meio de obter os pesos nos níveis da hierarquia é através da média geométrica, para comparações aos pares nos casos multiplicativos. A média geométrica independe da ordem das operações e preserva a estrutura do problema, sendo consistente com a solução obtida pela média aritmética nos casos aditivos, (Barzilai, 1997).

Outra forma de obter os pesos nos diversos níveis da hierarquia é somando os elementos em cada coluna e formando os recíprocos dessas somas e dividindo-se cada recíproco pela soma de todos eles, de forma a obter os resultados normalizados para os pesos do autovetor considerado, (Saaty, 1991).

9. CONSTRUÇÃO DE UM MODELO HIPOTÉTICO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE CARVÕES COQUEIFICANTES

Uma grande empresa siderúrgica brasileira está elaborando um modelo para a decisão na seleção dos melhores fornecedores de carvões coqueificantes para o atendimento de seus objetivos estratégicos e operacionais. A Empresa conhece muito bem o mercado em que atua e sabe que a seleção de fornecedores é uma fase muito importante no processo de compra de matéria prima para a competitividade do seu negócio. Todo o carvão utilizado na sua produção de coque é de importação. Assim, por essa dependência, a sua política para compra de carvão tem como principal objetivo a segurança no abastecimento. Por segurança no abastecimento entende-se ter, em seus pátios de estocagem, carvões com a qualidade e em quantidades adequadas para a produção de coque que atenda os requisitos da produção de gusa em alto forno, observando a relação benefícios/custos. A segurança no abastecimento de carvão pode ser afetada por diversos fatores que podem trazer riscos para o abastecimento da empresa, tais como:

- Estabilidade política e social no país do fornecedor (greves, revoluções, guerras etc.);
- Localização e estruturas operacionais e gerenciais do fornecedor;
- Estruturas de transporte, desde as minas até aos consumidores finais;
- Qualidade e disponibilidade dos carvões ofertados;
- Fatores financeiros (preços e condições de comercialização);
- Relacionamento com o fornecedor (credibilidade, facilidade de comunicação, flexibilidade nas negociações e agilidade na solução de eventuais problemas).

Para alcançar seus objetivos e reduzir riscos a empresa vem adotando estratégias como:

- Diversificação de fontes de suprimento, visando reduzir o risco de falta de carvão e estimular a competição entre os fornecedores;
- Negociações e compras em conjunto com outras siderúrgicas brasileiras, visando aumentar o seu poder de barganha no mercado;
- Diversificações de armadores, visando reduzir riscos e estimular a competição entre as empresas de transporte marítimo;

- Utilização de navios de maior capacidade, para permitir cargas conjuntas para duas ou mais empresas e reduzir os preços de fretes;
- Aproveitamento das oportunidades de mercado, o que possibilita redução nos custos de carvão.

Na avaliação da empresa, o carvão é de suma importância para a sua competitividade. Portanto, o passo inicial para assegurar o seu abastecimento pode ser a seleção de fornecedores confiáveis, capazes de atender os seus requisitos operacionais e comerciais, com uma boa relação benefícios/custos. Desse modo, deseja classificar os fornecedores em função da relação benefícios/custos envolvidos no fornecimento de seus carvões.

A equipe responsável pelo desenvolvimento do modelo, consciente da complexidade do problema e da necessidade de uma metodologia de apoio à decisão que pudesse ser facilmente aprimorada e atualizada para acompanhar as mudanças que geralmente ocorrem no dinâmico mercado da siderurgia mundial, optou pela utilização do Método de Análise Hierárquica, que permite lidar com fatores qualitativos e quantitativos simultaneamente, levando em consideração a experiência, o conhecimento e os valores dos envolvidos no processo de construção do modelo de apoio à decisão.

9.1 Construção da estrutura hierárquica representativa para o problema

O objetivo, os critérios e subcritérios e os potenciais fornecedores a serem considerados na seleção foram definidos pela equipe e estruturados no modelo hierárquico mostrado na Figura 2, conforme a seguir:

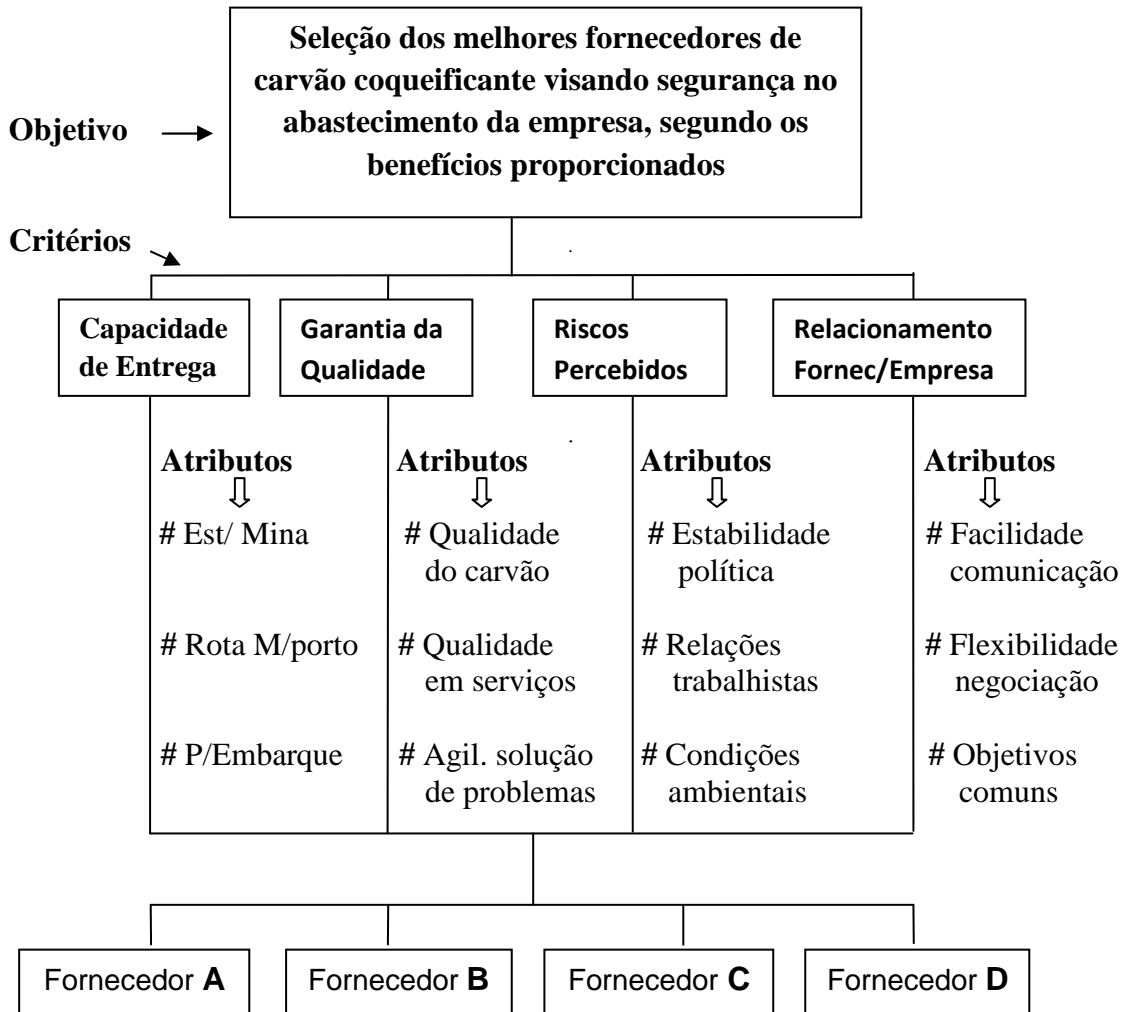


Figura 2 - Hierarquia para seleção de fornecedores segundo benefícios

9.2 Matrizes de comparações paritárias dos critérios e subcritérios

9.2.1 Comparações paritárias dos critérios em relação aos benefícios

Tabela 3 – Comparações dos critérios

CRITÉRIOS	Capac	Qualid	Riscos	Relac	Peso
Capac	1	1	2	2	0,33
Qualid	1	1	2	2	0,33
Riscos	1/2	1/2	1	2	0,20
Relac	1/2	1/2	1/2	1	0,14
Total	3	3	5,5	7	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,07$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,07-4}{3} = \frac{0,07}{3} = 0,023; \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,02}{0,90} = 0,026$$

Tabela 4 – Cálculo dos pesos dos critérios

Critério	Média Geométrica	Peso	Peso Normalizado
Capac	$(1 \times 1 \times 2 \times 2)^{\frac{1}{4}}$	1,41	0,33
Qualid	$(1 \times 1 \times 2 \times 2)^{\frac{1}{4}}$	1,41	0,33
Riscos	$(0,5 \times 0,5 \times 1 \times 2)^{\frac{1}{4}}$	0,84	0,20
Relac	$(0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 1)^{\frac{1}{4}}$	0,59	0,14
Total		4,25	1,00

9.2.2 Comparações dos subcritérios em relação aos respectivos critérios

Tabela 5 – Composição do Fator *Capacidade de Entrega*

CapEntrega	Est.Mina	Rota /P	Porto/E	Peso
Est. Mina	1	2	2	0,50
Rota M/P	1/2	1	1	0,25
Porto/E	1/2	1	1	0,25
Total	2	4	4	1,00

$$\lambda_{\max} = 3,0$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{3,0-3}{2} = \frac{0,0}{2} = 0,0 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,0}{0,58} = 0,0$$

Tabela 6 – Composição do Fator *Garantia da Qualidade*

G.Qualidade	Q/Carvão	Q/Serviço	Sol/Prob	Peso
Q/Carvão	1	2	3	0,53
Q/Serviço	1/2	1	3	0,33
Sol/Prob	1/3	1/3	1	0,14
Total	1,83	3,33	7	1,00

$$\lambda_{\max} = 3,06$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{3,06-3}{2} = \frac{0,06}{2} = 0,03 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,03}{0,58} = 0,052$$

Tabela 7 – Composição do Fator *Riscos*

Riscos	Est/Política	Rel/Trab	Cond/Amb	Peso
Est/Politic	1	2	3	0,53
Rel/Trab	1/2	1	3	0,33
Cond/Amb	1/3	1/3	1	0,14
Total	1,83	3,33	7	1,00

$$\lambda_{\max} = 3,05$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{3,06-3}{2} = \frac{0,06}{2} = 0,03 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,03}{0,58} = 0,052$$

Tabela 8 – Composição do Fator *Relacionamento fornecedor/Empresa*

Relac F/E	Comunic	Flexib	ObCom.	Peso
Comunic	1	1/2	1/2	0,20
Flexib	2	1	2	0,49
ObCom	2	1/2	1	0,31
Total	5	2,0	3,5	1,00

$$\lambda_{\max} = 3,06$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{3,06-3}{2} = \frac{0,06}{2} = 0,03 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,03}{0,58} = 0,052$$

9.2.3 Comparações paritárias dos fornecedores relativas aos subcritérios

Tabela 9 – Composição do Fator *Estrutura da Mina*

Est. Mina	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1	1/3	1/4	0,11
Fornec B	1	1	1/3	1/4	0,11
Fornec C	3	3	1	1/2	0,30
Fornec D	4	4	2	1	0,48
Total	9	9	3,66	2	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,033$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,033-4}{3} = \frac{0,033}{3} = 0,011 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,011}{0,90} = 0,012$$

Tabela 10 – Composição do Fator *Rota Mina/Porto*

RotaMP	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1/4	1/2	1	0,13
Fornec B	4	1	2	4	0,50
Fornec C	2	1/2	1	1	0,22
Fornec D	1	1/4	1	1	0,15
Total	8	2	4,5	7	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,06$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,06-4}{3} = \frac{0,06}{3} = 0,02 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,02}{0,90} = 0,022$$

Tabela 11 – Composição do Fator *Porto de Embarque*

PortoEmb	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec B	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec C	2	3	1	2	0,41
Fornec D	2	2	1/2	1	0,27
Total	6	7	2,5	4	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,17$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,17-4}{3} = \frac{0,17}{3} = 0,057 \quad CR = \frac{IG}{IR} = \frac{0,057}{0,90} = 0,063$$

Tabela 12 – Composição do Fator *Qualidade do Carvão*

Q/Carvão	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1	1/2	1/2	0,17
Fornec B	1	1	1/2	1	0,20
Fornec C	2	2	1	2	0,39
Fornec D	2	1	1/2	1	0,24
Total	6	5	2,5	4,5	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,07$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,07-4}{3} = \frac{0,07}{3} = 0,023 \quad CR = \frac{IG}{IR} = \frac{0,023}{0,90} = 0,026$$

Tabela 13 – Composição do Fator *Qualidade dos Serviços*

Q/Serviço	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	3	4	1/2	0,33
Fornec B	1/3	1	3	1/2	0,18
Fornec C	1/4	1/3	1	1/3	0,09
Fornec D	2	2	3	1	0,40
Total	3,58	6,33	11	2,33	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,25$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,25-4}{3} = \frac{0,25}{3} = 0,083 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,083}{0,90} = 0,093$$

Tabela 14 – Composição do Fator *Solução de Problemas*

Sol/Prob	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec B	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec C	2	3	1	2	0,41
Fornec D	2	2	1/2	1	0,27
Total	6	7	2,5	4	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,17$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,17-4}{3} = \frac{0,17}{3} = 0,057 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,057}{0,90} = 0,063$$

Tabela 15 – Composição do Fator *Estabilidade Política*

EstPolítica	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec B	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec C	2	3	1	2	0,41
Fornec D	2	2	1/2	1	0,27
Total	6	7	2,5	4	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,17$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,17-4}{3} = \frac{0,17}{3} = 0,057 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,02}{0,90} = 0,06$$

Tabela 16 – Composição do Fator *Relações Trabalhistas*

Relatrab	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1	1/2	2	0,24
Fornec B	1	1	1/2	1	0,20
Fornec C	2	2	1	2	0,39
Fornec D	1/2	1	1/2	1	0,17
Total	4,5	5	2,5	6	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,06$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,06-4}{3} = \frac{0,06}{3} = 0,02 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,02}{0,90} = 0,022$$

Tabela 17 – Composição do Fator *Condições Ambientais*

Condamb	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec B	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec C	2	3	1	2	0,41
Fornec D	2	2	1/2	1	0,27
Total	6	7	2,5	4	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,17$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,17-4}{3} = \frac{0,17}{3} = 0,057 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,02}{0,90} = 0,06$$

Tabela 18 – Composição do Fator *Facilidade de Comunicação*

Facilcomu	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec B	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec C	2	3	1	2	0,41
Fornec D	2	2	1/2	1	0,27
Total	6	7	2,5	4	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,17$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,17-4}{3} = \frac{0,17}{3} = 0,057 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,02}{0,90} = 0,06$$

Tabela 19 – Composição do Fator *Flexibilidade nas Negociações*

Flexnegoc	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1	1	1/2	0,20
Fornec B	1	1	1/2	1/2	0,17
Fornec C	1	2	1	2	0,34
Fornec D	2	2	1/2	1	0,29
Total	5	6	3	4	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,18$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,18-4}{3} = \frac{0,18}{3} = 0,06 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,06}{0,90} = 0,07$$

Tabela 20 – Composição do Fator *Objetivos Comuns*

Objcomum	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D	Peso
Fornec A	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec B	1	1	1/2	1/2	0,16
Fornec C	2	3	1	2	0,41
Fornec D	2	2	1/2	1	0,27
Total	6	7	2,5	4	1,00

$$\lambda_{\max} = 4,17$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4,17-4}{3} = \frac{0,17}{3} = 0,057 \quad CR = \frac{IC}{IR} = \frac{0,02}{0,90} = 0,06$$

9.2.4 Composição do Fator Custo de Abastecimento de Carvão

Quadro 7 – Composição do custo por tipo de carvão e fornecedor

Fornecedor	Carvão	Custo (\$/t)	Frete (\$/t)	Outros (\$/t)	Total (\$/t)	Custo Total Normalizado
Fornec A	AV	105,00	11,00	10,00	126,00	0,32
	MV	109,50	13,00	10,00	132,50	0,34
	BV	107,75	13,00	10,00	130,75	0,34
Fornec B	AV	105,00	11,00	15,00	131,00	0,32
	MV	109,50	13,00	15,00	137,50	0,34
	BV	107,75	13,00	15,00	135,75	0,34
Fornec C	AV	105,00	11,00	25,00	141,00	0,32
	MV	109,50	13,00	25,00	147,50	0,34
	BV	107,75	13,00	25,00	145,75	0,34
Fornec D	AV	105,00	11,00	18,00	134,00	0,32
	MV	109,50	13,00	18,00	140,50	0,34
	BV	107,75	13,00	18,00	138,75	0,34

Obs: AV, MV e BV significam carvões Alto, Médio e Baixo Voláteis.

9.2.5 Pesos dos Critérios e da Classificação dos Fornecedores por Benefícios

Peso da Capacidade de Entrega por fornecedor

Os pesos da *Estrutura da mina; da Rota mina/porto; do Porto de embarque e dos fornecedores nesses atributos* estão apresentados nas Tabelas 5, 9, 10 e 11, nas páginas 41, 43 e 44.

$$0,50 \times \begin{bmatrix} 0,11 \\ 0,11 \\ 0,30 \\ 0,48 \end{bmatrix} + 0,25 \times \begin{bmatrix} 0,13 \\ 0,50 \\ 0,22 \\ 0,15 \end{bmatrix} + 0,25 \times \begin{bmatrix} 0,16 \\ 0,16 \\ 0,41 \\ 0,27 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,13 \\ 0,22 \\ 0,31 \\ 0,34 \end{bmatrix}$$

Peso da Garantia da Qualidade por fornecedor

Os pesos da *Qualidade do carvão*; da *Qualidade dos serviços*; de *Solução de problemas e dos fornecedores* nesses atributos estão apresentados nas Tabelas 6, 12, 13 e 14, nas páginas 44 e 45.

$$0,53 \times \begin{bmatrix} 0,17 \\ 0,20 \\ 0,39 \\ 0,24 \end{bmatrix} + 0,33 \times \begin{bmatrix} 0,33 \\ 0,18 \\ 0,09 \\ 0,40 \end{bmatrix} + 0,14 \times \begin{bmatrix} 0,16 \\ 0,16 \\ 0,41 \\ 0,27 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22 \\ 0,19 \\ 0,29 \\ 0,30 \end{bmatrix}$$

Peso dos Riscos por fornecedor

Os pesos da *Estabilidade Política*; das *Relações Trabalhistas*; de *Condições Ambientais e dos fornecedores* nesses atributos estão apresentados nas Tabelas 7, 15, 16 e 17, nas páginas 42, 46 e 47.

$$0,53 \times \begin{bmatrix} 0,16 \\ 0,16 \\ 0,41 \\ 0,27 \end{bmatrix} + 0,33 \times \begin{bmatrix} 0,24 \\ 0,20 \\ 0,39 \\ 0,17 \end{bmatrix} + 0,14 \times \begin{bmatrix} 0,16 \\ 0,16 \\ 0,41 \\ 0,27 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,19 \\ 0,17 \\ 0,40 \\ 0,24 \end{bmatrix}$$

Peso do Relacionamento Fornecedor/Empresa por fornecedor

Os pesos de *Facilidade de Comunicação*; de *Flexibilidade nas Negociações*; de *Objetivos Comuns e dos fornecedores* nesses atributos estão apresentados nas Tabelas 8, 18, 19 e 20, nas páginas 42, 47 e 48.

$$0,20 \times \begin{bmatrix} 0,16 \\ 0,16 \\ 0,41 \\ 0,27 \end{bmatrix} + 0,49 \times \begin{bmatrix} 0,20 \\ 0,17 \\ 0,34 \\ 0,29 \end{bmatrix} + 0,31 \times \begin{bmatrix} 0,16 \\ 0,16 \\ 0,41 \\ 0,27 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,18 \\ 0,16 \\ 0,38 \\ 0,28 \end{bmatrix}$$

Classificação dos Fornecedores em relação aos Benefícios

Os pesos dos critérios Capacidade de Entrega; *Garantia da Qualidade*; *Riscos Percebidos*; *Relacionamentos Fornecedor/Empresa* e dos fornecedores nesses critérios estão apresentados na Tabela 3 e cálculos nas páginas 49 e 50.

$$0,33 \times \begin{bmatrix} 0,13 \\ 0,22 \\ 0,31 \\ 0,34 \end{bmatrix} + 0,33 \times \begin{bmatrix} 0,22 \\ 0,19 \\ 0,29 \\ 0,30 \end{bmatrix} + 0,20 \times \begin{bmatrix} 0,19 \\ 0,17 \\ 0,40 \\ 0,24 \end{bmatrix} + 0,14 \times \begin{bmatrix} 0,18 \\ 0,16 \\ 0,38 \\ 0,28 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,18 \\ 0,19 \\ 0,33 \\ 0,30 \end{bmatrix}$$

Obs: (Os resultados 0,18; 0,19; 0,33; 0,30 são os pesos dos benefícios dos fornecedores A, B, C e D, normalizados).

9.2.6 Benefícios/Custos por Tipo de Carvão e por Fornecedor

Os pesos dos custos totais normalizados para cada fornecedor estão apresentados no Quadro 7, página 42 e os pesos dos Benefícios normalizados na classificação dos Fornecedores, na seção 9.2.5.

Quadro 8 – Composição do Fator Benefícios/custos

Tipo de Carvão	Fornecedor	Benefícios normalizados	Custos Normalizados	Benef/custos normalizados
Alto Volátil (AV)	A	0,18	0,32	0,56
	B	0,19	0,32	0,59
	C	0,33	0,32	1,03
	D	0,30	0,32	0,94
Médio Volátil (MV)	A	0,18	0,34	0,53
	B	0,19	0,34	0,56
	C	0,33	0,34	0,97
	D	0,30	0,34	0,88
Baixo Volátil (BV)	A	0,18	0,34	0,53
	B	0,19	0,34	0,56
	C	0,33	0,34	0,97
	D	0,30	0,34	0,88

9.2.7 Classificação Global dos Fornecedores por Benefícios/custos

Quadro 9 – Classificação Global dos Fornecedores

Classe do Carvão	Classificação Global dos fornecedores			
	Fornec A	Fornec B	Fornec C	Fornec D
Alto Volátil	Quarto	Terceiro	Primeiro	Segundo
Médio Volátil	Quarto	Terceiro	Primeiro	Segundo
Baixo Volátil	Quarto	Terceiro	Primeiro	Segundo

No Quadro 8, pode-se observar que, entre os fornecedores, a amplitude da variabilidade do Fator custos normalizados (0,32 a 0,34) é menor do que a amplitude da variabilidade do fator Benefícios normalizados (0,18 a 0,33) e, além disso, esses custos são os mesmos para todas as alternativas. Portanto, os benefícios proporcionados pelos fornecedores foram decisivos na classificação apresentada. O fornecedor C foi o melhor classificado relação benefícios/custos em todos os tipos de carvão por ele comercializados, conforme Quadro 9.

9.2.8 Análise dos Resultados

No Quadro 10, estão apresentados os benefícios/custos normalizados por fornecedor, usados para a classificação final dos fornecedores no exemplo hipotético, em cada classe de carvão.

Quadro 10 – Benefícios/custos por Fornecedor e classe do carvão

Classe do carvão	FORNEC A	FORNEC B	FORNEC C	FORNEC D
Alto Volátil	0,56	0,59	1,03	0,94
Médio Volátil	0,53	0,56	0,97	0,88
Baixo Volátil	0,53	0,56	0,97	0,88

No Quadro 11, estão apresentados os pesos resultantes das avaliações dos fornecedores em cada critério considerado no modelo. O fornecedor C obteve a melhor avaliação nos critérios Garantia da qualidade, Riscos percebidos e Relacionamento Fornecedor/Empresa.

Quadro 11 – Avaliações dos Fornecedores em cada critério

Fornecedor	Capac. Entrega	Garantia Qualidade	Riscos Percebidos	Relacionamento Fornec/Empresa	Total Normalizado
A	0,04	0,07	0,04	0,03	0,18
B	0,08	0,06	0,03	0,02	0,19
C	0,10	0,10	0,08	0,05	0,33
D	0,11	0,10	0,05	0,04	0,30
Total	0,33	0,33	0,20	0,14	1,00

No Quadro 12, estão apresentadas as melhores avaliações dos fornecedores em cada um dos subcritérios considerados no modelo. O fornecedor C obteve as melhores avaliações em 9 dos 12 subcritérios considerados.

Quadro 12 – Melhores avaliações dos Fornecedores

CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	FORNECEDOR	PESO
CAPACIDADE DE ENTREGA	Estrutura da Mina	D	0,48
	Rota Mina/Porto	B	0,50
	Porto de embarque	C	0,41
GARANTIA DA QUALIDADE	Qualidade do carvão	C	0,39
	Qualidade dos serviços	D	0,40
	Solução de problemas	C	0,41
RISCOS PERCEBIDOS	Estabilidade Política	C	0,41
	Relações Trabalhistas	C	0,39
	Condições Ambientais	C	0,41
RELACIONAMENTO FORNEC / EMPRESA	Comunicação	C	0,41
	Flexibilidade negociações	C	0,34
	Objetivos comuns	C	0,41

9.2.9 Análise de Sensibilidade dos Resultados

Um modelo de apoio à decisão, como o próprio nome informa, é um instrumento para ajudar os administradores na escolha da melhor linha de ação, em situações problemáticas. Um modelo deve uma boa representação da realidade observada e possibilitar ao tomador de decisão a obtenção de respostas para seus questionamentos sobre mudanças nos fatores que produziram um determinado resultado.

O modelo proposto para a seleção de fornecedores, utilizando o Método de Análise Hierárquica, possibilita a avaliação de questões do tipo “e se”, que são importantes em um processo de tomada de decisão. O AHP classifica os fornecedores em função do objetivo visado e dos critérios considerados necessários para alcançá-lo. A análise de sensibilidade dos resultados fornecidos pelo modelo pode mostrar como variações nos pesos resultantes das avaliações paritárias dos critérios, dos subcritérios e dos fornecedores afetariam a classificação obtida no processo decisório.

No exemplo hipotético, suponha que, com novas avaliações, os pesos dos critérios tivessem a seguinte configuração: Capacidade de Entrega passou de 0,33 para 0,30; Garantia da Qualidade de 0,33 para 0,30; Riscos Percebidos de 0,20 para 0,25 e Relacionamento Fornecedor/Empresa de 0,14 para 0,15.

Os pesos resultantes das novas avaliações estão mostrados no Quadro 13, a seguir.

Quadro 13 – Avaliações dos Fornecedores para os novos pesos em cada critério

Fornecedor	Capacid. Entrega	Garantia Qualidade	Riscos Percebidos	Relacionamento Forn/Empresa	Total Normalizado
A	0,036	0,064	0,050	0,032	0,182
B	0,073	0,054	0,037	0,021	0,185
C	0,091	0,091	0,100	0,054	0,336
D	0,100	0,091	0,063	0,043	0,297
Total	0,300	0,300	0,250	0,150	1,000

Como pode-se verificar, comparando os Quadros 11 e 13, essas variações não provocaram mudanças na classificação global dos fornecedores em relação aos benefícios.

Geralmente, pequenas variações não causam mudanças nos resultados da classificação final em problemas, quando as avaliações forem consistentes.

Segundo Shimizu (2001), a análise de sensibilidade da solução apresentada é fundamental no processo de decisão. *Softwares* interativos e amigáveis como, por exemplo, o *Expert Choice* pode ser muito útil na modelagem de um problema pelo AHP, bem como na análise da sua solução. O suporte de um bom *software* pode reduzir as barreiras para a aplicação de um Método Multicritério de Apoio à Decisão, (Ossadnik, W. E Lange, O. , 1999).

10. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

10.1 Conclusões

O carvão metalúrgico, por ser totalmente importado é uma matéria prima estratégica para a siderurgia brasileira pela sua importância no processo de produção de ferro gusa em grandes altos fornos e por ser responsável por uma significativa parcela do custo do aço produzido no País.

As usinas que compõem o parque siderúrgico do País consomem um grande volume de carvão. No mercado internacional existem diversos fornecedores, diversos tipos de carvão e outros fatores a serem considerados nas negociações de contratos de aquisição dessa matéria prima.

Garantir a segurança abastecimento de uma usina siderúrgica brasileira com carvões adequados às suas necessidades e com uma boa relação benefícios/ custos é um problema que, pelas suas características objetivas e subjetivas, evidencia a necessidade de instrumentos de apoio à decisão, que possibilitem incorporar uma visão mais abrangente ao processo de tomada de decisões, através de uma metodologia Multicritério.

Segundo Bana e Costa (1996), um processo decisório é um sistema de relações entre fatores de natureza objetiva próprios às ações e fatores de natureza subjetiva próprios aos sistemas de valores dos “atores” em que, a consideração desses dois tipos de fatores na construção de

modelos de apoio à decisão constitui uma das principais vantagens da abordagem Multicritério sobre a Monocritério.

A abordagem Multicritério oferece aos tomadores de decisões um meio em que eles podem construir modelos, quantificar e validar suas próprias convicções, em um processo interativo.

No processo de contratação de carvões para a siderurgia brasileira, um passo importante pode ser a seleção dos melhores fornecedores. Geralmente, o processo de seleção de fornecedores consiste em identificar qual é o objetivo ou objetivos a serem alcançados, as alternativas existentes e as informações possíveis de serem obtidas, de tal forma que ordenando estes elementos em uma estrutura lógica seja possível tomar decisões.

O Método de Análise Hierárquica (AHP), uma das técnicas da Estatística Multivariada tem se mostrado apropriado para o desenvolvimento de modelos quantitativos de apoio à decisão, nesse tipo de problema. Um modelo quantitativo de apoio à decisão é uma representação simplificada ou uma abstração de uma realidade, geralmente complexa, onde se procura identificar e ressaltar seus elementos mais importantes e descartar aqueles que são irrelevantes para o problema. No processo de desenvolvimento de um modelo, a riqueza e abrangência da realidade são trocadas por capacidade de experimentação e poder de análise de distintos cenários e a verificação da estabilidade dos resultados obtidos, (Ehrlich, 1996).

Portanto, a metodologia proposta, além de favorecer a formalização e a integração do processo de seleção de fornecedores, tornará o modelo de apoio às decisões compreensível, de fácil construção e de fácil utilização, no planejamento de compras de carvões.

A aplicação do AHP, como um instrumento na escolha dos melhores fornecedores de carvão para siderurgia brasileira, pode contribuir para formalização e integração desse processo de tomadas de decisões e conseqüentemente, para segurança no abastecimento das suas usinas.

10.2 Considerações Finais

O processo de desenvolvimento e a utilização de modelos quantitativos de apoio às decisões requerem que os envolvidos e, principalmente, os tomadores de decisão estejam convencidos da utilidade desses modelos e dos benefícios decorrentes do seu uso. É necessário compreender o ambiente, a situação problemática e o processo de tomadas de decisão nos quais as informações fornecidas pelos modelos serão utilizadas, para melhor exploração dos elementos de ordem subjetiva. Isto implica na participação dos envolvidos em todas as fases do processo decisório.

No processo de desenvolvimento de um modelo utilizando o Método de Análise Hierárquica, a experiência e o conhecimento da equipe envolvida são fundamentais, pois ela será responsável pela definição do problema; definição dos critérios e subcritérios a serem considerados na decisão; definição das alternativas disponíveis; bem como, pela estruturação do problema como uma hierarquia enxuta e pela racionalidade na sua avaliação.

A Análise Hierárquica pode ser um instrumento muito útil em diversos problemas gerenciais, como por exemplo: Ordenação das ações do plano diretor de uma organização; Seleção dos melhores projetos no planejamento de P & D; Escolha do melhor local para a instalação de uma empresa; Análise de investimentos considerando fatores tangíveis e intangíveis.

Na seleção de fornecedores no mercado global, onde disponibilidades; prazos; confiabilidade; transporte; inventários; políticas governamentais; tributos; *know-how* são fatores importantes, justifica-se a utilização de um Modelo de Apoio à Decisão Multicritério. (Perassa e Almeida, 2000).

O Professor Thomas L. Saaty em seu livro “Método de Análise Hierárquica”, traduzido pelo Professor Titular da Universidade Federal Fluminense, Wainer da Silveira e Silva, Ph.D. e publicado pela Editora MAKRON Books do Brasil em 1991, apresenta exemplos de diversos tipos de problemas em que o AHP foi aplicado como instrumento de apoio à decisão.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANA e COSTA, C. A.; ENSSLIN, L.; HOLZ, É. ; MARTINS, F. ; COSTA, A.; FELIPE, F.; GOMES, M. C. O Apoio Multicritério à Decisão e a Convicção do Construtivismo. Trabalho apresentado no XXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, p. 261 – 265, Rio de Janeiro, 1996.

BANA e COSTA, C. A. Readings in Multiple Criteria Decision Aid. Editors: Carlos A. Bana e Costa, New York, 1990.

BARZILAI, J. Deriving Weights from Pair wise Comparison Matrices. *Journal of the Operational Research Society*, nº 48, 1226 – 1232, 1997.

BERTLING, H. end STROBEL, U. - Coking Coal and Coke Market Trends and Development in Cokemaking Capacities; *Cokemaking International*, vol. 8, 1/1996.

BRAMONT, P. P. B. Priorização de Projetos Sob a Ótica Social – Um Método Robusto Envolvendo Múltiplos Critérios. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 1996.

EHRlich, P. J. Modelos Quantitativos de Apoio à decisão–I. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, vol. 36, nº 1, 33-41, janeiro/fevereiro/março de 1996.

EHRlich, P. J. Modelos Quantitativos de Apoio à decisão–II. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, vol. 36, nº 2, 44-52, abril/maio/junho de 1996.

ELLENRIEDER, A. R. V. Princípios Básicos na Construção de Modelos. Trabalho apresentado no XII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, São Paulo, novembro de 1979.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. e ALMEIDA, A. T. Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério. Editora Atlas S.A., São Paulo, 2002.

MILLER, A. G. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review, Harvard University*, vol. 63, nº 2, 81-97, março de 1956.

MOTTA, P. C. e PAMPLONA, C. A. Aplicação do Método Analítico de Hierarquias à Seleção de Projetos de Desenvolvimento de Novos Produtos. *Revista de Administração de Empresas*, Rio de Janeiro, nº 28 (1), 5-10, janeiro/março de 1988.

OSSADNIK, W. e LANGE, O. AHP-Based Evaluation of AHP-SOFTWARE. *European Journal of Operational Research*, nº 118, 578-588, 1999.

PERASSA, L. F. P. e ALMEIDA, D. A. Fatores Qualitativos e Quantitativos no Processo da Seleção de Fornecedores. *Revista Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico*, vol. 24, nº 2, maio de 2000.

SAATY, T. S. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, vol. 48, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. S. Método de Análise Hierárquica. McGraw-Hill/Makron Books, São Paulo, 1991, 367p.

SCHMIDT, A. M. (1995), Processo de Apoio à Tomada de Decisão Abordagens: AHP e MACBETH, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis/SC.

SHIMIZU, T. Decisão nas Organizações. Editora Atlas S.A., São Paulo, 2001.

VARGAS, L. G. An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications. *European Journal of Operational Research*, vol. 48, p. 2-8, 1990.

WIND, Y. e SAATY, T. Marketing Appl of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 26(7): 641-57, 1980.

ZESHUI, X. e CUIPING, W. A. Consistency Improving Method in the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, n° 116, 443-449, 1999.