



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N^o 65/4: 633-641
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

APLICAÇÃO DO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO NA ESCOLHA DE TECNOLOGIA DE COLETA DE DADOS PARA CÁLCULO DE VOLUME DE MINÉRIO ESTOCADO

*Application of the Analytic Hierarchy Process to the Selection of Data Collection
Technology in the Calculation of Ore Stockpile Volume*

Sebastião Ribeiro Júnior¹ & Carlos Antônio Oliveira Vieira²

¹Instituto Federal Minas Gerais – UFMG

Campus Ouro Preto - Departamento de Mineração

R. Pandiá Calógeras 898, Bauxita, Ouro Preto, MG, CEP 35400-000, Telefone 31-35592248
srjunior2000@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Departamento de Geociências

Trindade, Florianópolis, SC, CEP 88040-900, Cx. Postal 476, Telefone 48-3721-8593,
carlos.vieira@ufsc.br

Recebido em 22 de novembro, 2011/ Aceito em 15 de março, 2012

Received on November 22, 2011/ Accepted on March 15, 2012

RESUMO

Com o acelerado desenvolvimento das tecnologias, várias são as opções que se apresentam como alternativas para a realização de levantamentos de dados em campo, necessários à determinação de volumes de pilhas de minérios estocados. Dentre essas opções, são abordadas nesse trabalho as tecnologias GPS (*Global Positioning System*), LST (*Laser Scanner Terrestre*), LSA (*Laser Scanner Aerotransportado*) e a técnica de Pós-Sinalização (PÓS). Além dos valores obtidos para os volumes de minério, outros parâmetros envolvidos no processo de avaliação como: tempo na coleta de dados, produtividade, etc., foram considerados e analisados, mediante a aplicação do Processo Analítico Hierárquico (*Analytical hierarchical process - AHP*), definindo assim, aquela tecnologia melhor indicada para a realização dos trabalhos propostos. São apresentados como resultados finais, os valores de volumes, as quantificações de fatores variáveis envolvidos e uma classificação hierárquica do AHP, onde a tecnologia Pós-Sinalização se apresentou com o maior índice de indicação para a aplicação, de acordo com os critérios e condições estabelecidas no problema proposto.

Palavras-chaves: *Laser Scanner*, Volumes de minério, GPS, Pós-Sinalização, AHP.

ABSTRACT

With the rapid development of technology, several options have presented themselves as alternatives to field surveying necessary to determine the volumes of ore stockpiles. Among those options, this paper will discuss GPS technology (*Global Positioning System*), LST (*Terrestrial Laser Scanning*), LSA (*Airborne Laser Scanning*) and Post-Signalization technique (PÓS). Besides the obtained values for ore volumes, other parameters involved in the evaluation process, such as the time spent in data collection, productivity, etc., were considered and analyzed by applying the Analytic

Hierarchy Process (AHP), thus determining the most appropriate technology to carry out this project. The final results presented are the volume values, measurements of variable factors involved and a hierarchical classification of the AHP in which the Post-Signalization technology had the highest rate of application suitability, according to the criteria and conditions of the research problem.

Keywords: Laser Scanning, Ore volumes, GPS, Post-Signalization, AHP.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as várias técnicas de coleta de dados em campo, o levantamento por geodésia espacial, utilizando a tecnologia GPS, tem sido aplicado com grande frequência pelas mineradoras para o cálculo de volumes de minério. Porém, existem diversos fatores, no uso dessa tecnologia, que reduzem a precisão do processo de obtenção de dados em campo e, conseqüentemente, dos produtos gerados e utilizados na cubagem de minério estocado. Entre outros fatores, podem-se mencionar dificuldades no levantamento de pilhas de minério com conformações físicas irregulares, ou mesmo, com presença de pontos inacessíveis na área de levantamento e a segurança dos operadores no ambiente de mineração.

Através da utilização de ferramentas de sensoriamento remoto, outras técnicas de levantamentos de dados em campo, vêm sendo aplicadas com o propósito de minimizar problemas inerentes aos métodos de levantamentos tradicionais.

O termo sensoriamento remoto refere-se à obtenção dos dados sem que haja contato físico entre o sistema sensor e o objeto ou área a ser estudada (MATHER, 2003).

Normalmente, as técnicas de sensoriamento remoto, como as varreduras a *Laser* Terrestre (LST) e a *Laser* Aerotransportado (LSA), assim como a técnica conhecida como Pós-Sinalização (PÓS), permitem a obtenção de informações topográficas tridimensionais da superfície terrestre, inclusive em regiões inacessíveis, com precisão, rapidez e elevado grau de detalhamento.

Este trabalho objetiva analisar, comparativamente, as aplicações das tecnologias LST, LSA e Pós-Sinalização, assim como a utilização da tecnologia GPS, na coleta de dados em campo para o cálculo de volumes de pilhas de minério e, com o auxílio do Processo Analítico Hierárquico (AHP), definir aquela técnica melhor indicada para esse fim.

Segundo Cicone Júnior (2008), AHP é um método de análise bastante flexível, que auxilia no processo de tomada de decisão em problemas

complexos. Permite a determinação de prioridades e identifica a melhor opção dentro de várias alternativas possíveis.

Os volumes de minério são determinados a partir da geração dos Modelos Digitais de Terreno (MDT) de cada pilha na situação atual, que são comparados com os modelos definidos em épocas anteriores.

Cada uma das tecnologias abordadas utilizou equipamentos e *softwares* específicos, na coleta e tratamentos dos dados, gerando assim seus respectivos modelos de pilhas.

Os valores obtidos para os volumes de minério foram utilizados no fechamento contábil de produção e estoque da mina de Alegria (Vale), definindo os respectivos índices percentuais de variação entre o estoque contábil e o estoque físico de minério.

Variáveis comuns às tecnologias empregadas, como recursos humanos, tempo de coleta de dados, número de pontos dos MDT, produtividade, custo, segurança ocupacional e fechamento contábil foram quantificados e analisados pelo AHP.

2. ÁREA DE ESTUDOS

Os levantamentos de campo foram realizados no pátio do embarcadouro da mina de Alegria da companhia Vale, situada no Município de Mariana, estado de Minas Gerais.

A mina localiza-se na parte sudeste do Quadrilátero Ferrífero, com área total de 496,28 ha. Geograficamente, entre as coordenadas latitude 20° 07' 00"S e 20° 17' 00"S, e longitude 43° 24' 00"W e 43° 35' 00"W, na zona metalúrgica de Minas Gerais.

A Figura 1 apresenta a localização do Complexo Mariana, da Companhia Vale, envolvendo as minas de Alegria, Fazendão, Fábrica Nova e Timbopeba.

3. PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP)

Segundo Jordão & Pereira (2006), o processo analítico hierárquico foi desenvolvido pelo Dr. Thomas L. Saaty, no ano de 1971. Sua primeira

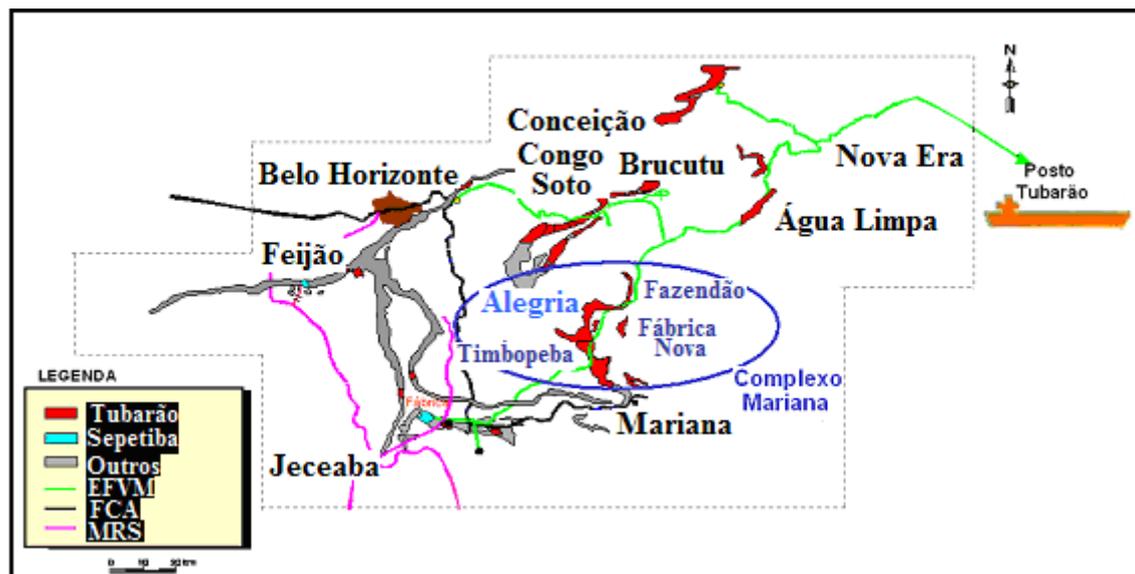


Fig. 1 - Complexo Mariana (MG) - Mina de Alegria - Vale

aplicação (1972) foi em estudos de racionamento de energia para indústrias, para a *National Science Foundation* (NSF) dos Estados Unidos, chegando à sua maturidade aplicativa com o estudo dos transportes do Sudão, dois anos depois.

O método AHP tem sido mundialmente utilizado para auxiliar os processos de decisão considerando os mais diversos fins, indo da análise de terrorismo até a disposição de recursos em questões governamentais (JORDÃO & PEREIRA, 2006).

Em Vilas Boas (2005), tem-se que a aplicação do processo de decisão é apropriada para comparar alternativas de projetos, políticas e cursos de ação e também para analisar projetos específicos, identificando seu grau de impacto global. Desta forma, a metodologia dá ao grupo envolvido no processo de tomada de decisão, subsídios necessários para se obter uma solução que melhor se ajuste às suas necessidades.

Segundo Saaty (1984), o desenvolvimento do Processo Analítico Hierárquico teve como base conceitos de álgebra linear, pesquisa operacional e psicologia, a partir dos quais é possível promover comparações e definições das diferenças de importância entre os parâmetros envolvidos.

No AHP, o problema a ser analisado é representado por uma estrutura hierárquica onde estão presentes o objetivo global, as variáveis ou critérios a analisar e as alternativas de resolução.

São descritos a seguir, os passos de desenvolvimento prático do AHP:

1) Criação de uma estrutura de decisão hierárquica em função do problema, das variáveis e dos critérios considerados;

2) Comparações binárias entre as variáveis: São promovidas as comparações binárias entre as variáveis, determinando o impacto que cada critério exerce sobre cada variável. Essas comparações definem as matrizes de preferência das variáveis em relação a cada critério. São desenvolvidas várias matrizes, tantas quanto o número de critérios;

3) Definição das prioridades globais entre as variáveis;

4) Comparações binárias entre os critérios: Também é gerada a matriz de comparação entre os critérios, definindo a importância que cada um exerce sobre o outro;

5) Avaliação das prioridades através da determinação de suas coerências: As matrizes das prioridades devem ser avaliadas quanto à coerência dos valores atribuídos às variáveis e aos critérios. Esta avaliação, Razão de Consistência (RC), leva em consideração a totalização das entradas (vetor soma ponderada), o vetor de consistência, o índice de coerência, o índice aleatório e o número de variáveis.

Segundo Cicone Júnior (2008), caso o resultado da avaliação seja menor ou igual a 0,1 ele pode ser considerado confiável, caso contrário deve-se reavaliar as comparações efetuadas a fim de melhorar a consistência;

6) Definição do resultado: O resultado é gerado a partir da multiplicação entre a matriz de

prioridade das variáveis e a matriz de comparação entre os critérios. A matriz resultante apresenta os índices de indicação de cada tecnologia ao problema proposto, de acordo com os parâmetros analisados.

A montagem das matrizes de comparações binárias, entre as variáveis e também entre os critérios, tem como base a escala proposta por Thomas Lorie Saaty, desenvolvedor do processo, onde os pesos aplicados correspondem à importância que cada variável tem em relação à outra, sendo:

Peso 1 - fatores de igual importância;

Peso 3 - fator um pouco mais importante ou de fraca importância;

Peso 5 - fator muito mais importante ou de forte importância;

Peso 7 - fator muito fortemente mais importante ou de muito forte importância;

Peso 9 - fator absolutamente mais importante ou de importância absoluta.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados na coleta de dados em campo estão abaixo listados:

a) Tecnologia GPS - Coletores de dados: **Trimble** (*Trimble System Controller*) TSC1 e TSC2; Receptores GPS: *Trimble 4800*, *Trimble 5800* e *Trimble R8*; Aplicativos Computacionais: *Trimble Geomatics Office* (TGO), *Excel* e *Topograph-98SE*;

b) Tecnologia LST - Sistema *Laser Scanner* Estático *I-Site 4400CR/LR* e *software I-Site Studio*;

c) Tecnologia LSA - Sensor *Laser Optech* Modelo 3100EA; Câmera Fotogramétrica Digital *Rollei-Metric* Modelo AIC-Pro 45; Receptor GPS *Trimble 5700*; Aeronave *Sêneca II*; *Softwares* *ALTM-NAV Planner*, *ALTM-NAV Controller*, *PosPac* versão 5.1.1, *DASHMap*, *TerraScan*, *TerraModeler* e *AutoCAD*;

d) Tecnologia Pós-Sinalização - Sistema *Endurance*® 100, composto por uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), Câmara Digital de pequeno formato e transmissor de dados GPS; Receptor GPS *Trimble 5800* e Coletor de dados **Trimble TSC2; Notebook e o Aplicativo Computacional Suite Endurance**®.

O desenvolvimento deste trabalho se deu a partir dos resultados obtidos por aplicação das tecnologias GPS, LST, LSA e Pós-Sinalização, os quais foram analisados pelo AHP de acordo com os passos descritos anteriormente.

Foram adotados e definidos, como critérios ou variáveis comuns às aplicações das tecnologias, os seguintes parâmetros de comparação:

1) Recursos Humanos: Número de operadores (No) envolvidos na coleta de dados em campo;

2) Tempo de Execução (T): Tempo, em horas, utilizado na coleta de dados em campo;

3) Produto (P): Número de pontos (Np) levantados e utilizados na geração dos modelos digitais e, conseqüentemente, nos cálculos dos volumes;

4) Rendimento ou Produtividade (R): Relação entre o número de pontos levantados (Np) e o produto do número de operadores envolvidos (No) com o tempo de coleta (T), dada pela Equação 1;

$$R = Np / (No \times T) \quad (1)$$

5) Custo de Produção (CP): Correspondente àquele de uma prestação de serviços contratado junto a uma empresa especializada - (Contrato por um ano, equivalente a 24 levantamentos. Valores em dólar americano);

6) Segurança Ocupacional (SO): Relação, inversamente proporcional ao produto do tempo (T) com o número de operários envolvidos (No) e expostos a riscos inerentes aos serviços e ao ambiente, dada pela Equação 2;

$$SO = 1 / (T \times No) \quad (2)$$

7) Fechamento Contábil (FC): Variação percentual entre o estoque contábil (estoque anterior mais a produção menos as saídas de minério) e o estoque medido topograficamente.

Os pesos aplicados a cada variável e cada alternativa, constituindo as matrizes de comparações binárias, foram definidos, conjuntamente, a uma equipe de profissionais da Vale, capacitados a avaliar as influências que cada variável exerce no processo de coleta de dados em campo para a determinação do volume de pilhas de minério, problema proposto neste trabalho.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 Parâmetros Analisados ou Critérios

Como resultados são apresentados os valores correspondentes aos parâmetros ou critérios que foram analisadas durante a coleta de dados em

campo para cada tecnologia aplicada, conforme a Tabela 1.

- Unidades:** (op): operários;
 (h): horas;
 (pt): pontos;
 [pt/(op*h)]: pontos/(operários x hora);
 (US\$): dólar americano;
 (%): porcentagem

Pela Tabela 1, podem-se fazer as seguintes considerações:

- O número de pessoas envolvidas na coleta de dados pelas tecnologias de sensoriamento remoto é bem mais reduzido que na tecnologia GPS;
- O tempo de coleta de dados é aproximadamente a metade quando o equipamento utilizado para esse fim se desloca por via aérea;
- As técnicas que utilizam as ferramentas do sensoriamento remoto registram um volume de dados muito superior àquele obtido por GPS;
- Como a produtividade é definida em função da quantidade de trabalho realizado (produto) e os recursos consumidos para realizar este trabalho, ela se mostra com maior eficiência nas tecnologias de sensoriamento remoto;
- Como consequência da evolução tecnológica, dos equipamentos envolvidos e outras vantagens, como por exemplo, a cobertura e abrangência a grandes áreas, sensores ativos, etc., que as tecnologias que utilizam o *laser* como ferramenta de sensoriamento remoto oferecem, o custo de suas aplicações é mais elevado em relação aos custos das tecnologias GPS e Pós-Sinalização;
- A segurança ocupacional se destaca entre os parâmetros analisados, sendo considerado o de maior importância entre todos. Ela está diretamente relacionada ao número de pessoas envolvidas nos trabalhos de campo e ao tempo de exposição aos riscos inerentes às atividades e ao ambiente. As técnicas de sensoriamento remoto que utilizam sensores instalados em plataformas que se deslocam

Tabela 1 - Características operacionais GPS / LST / LSA / Pós-sinalização.

Ordem	Parâmetro Variável	Tecnologia			
		GPS	LST	LSA	PÓS
1	Nº pessoal (op)	11	2	3	3
2	Tempo (h)	3,625	3,467	1,417	1,133
3	Nº pontos (pt)	5.387	47.221	26.063	27.043
4	Rend. [pt/(op * h)]	135,08	6.810,72	6.132,47	7.953,82
5	Custo (US\$)	128.571,43	276.912,00	950.228,57	73.234,29
6	Segurança (%)	2,51	14,42	23,53	29,41
7	Fech. Contábil (%)	1,30	1,46	-1,99	1,92

por via aérea, se apresentaram com os melhores índices de segurança ocupacional, tendo como fator de grande influência o reduzido tempo de coleta de dados;

- Pelos valores apresentados nos fechamentos contábeis, realizados com os diferentes dados levantados pelas tecnologias, verificamos que todos eles atendem às exigências da companhia Vale, ou seja, estão dentro do limite de variação de (+-2%) em relação aos dados contábeis.

5.2 Estrutura Hierárquica AHP

A Figura 2 apresenta a estrutura de decisão hierárquica criada e utilizada no AHP, envolvendo o problema analisado, os critérios de análises, as variáveis alternativas e suas interações.

5.3 Matrizes das Variáveis

Pelas Tabelas 2 a 8 são apresentadas as matrizes de comparação entre as variáveis, onde são expostos os impactos que cada critério exerce sobre cada uma variável.

Tabela 2 - Matriz de preferência em relação ao critério 1 - nº de operadores.

Critério 1				
Variável	GPS	LST	LSA	PÓS
GPS	1	1/8	1/6	1/6
LST	8	1	3	3
LSA	6	1/3	1	1
PÓS	6	1/3	1	1

Tabela 3 - Matriz de preferência em relação ao critério 2 - tempo de coleta.

Critério 1				
Variável	GPS	LST	LSA	PÓS
GPS	1	1/8	1/6	1/6
LST	8	1	3	3
LSA	6	1/3	1	1
PÓS	6	1/3	1	1

Tabela 4 - Matriz de preferência em relação ao critério 3 - nº de pontos.

Critério 3				
Variável	GPS	LST	LSA	PÓS
GPS	1	1/9	1/7	1/7
LST	9	1	4	4
LSA	7	1/4	1	1/2
PÓS	7	1/4	2	1

Tabela 5 - Matriz de preferência em relação ao critério 4 - produtividade.

Critério 4				
Variável	GPS	LST	LSA	PÓS
GPS	1	1/5	1/4	1/7
LST	5	1	3	1/4
LSA	4	1/3	1	1/4
PÓS	7	4	4	1

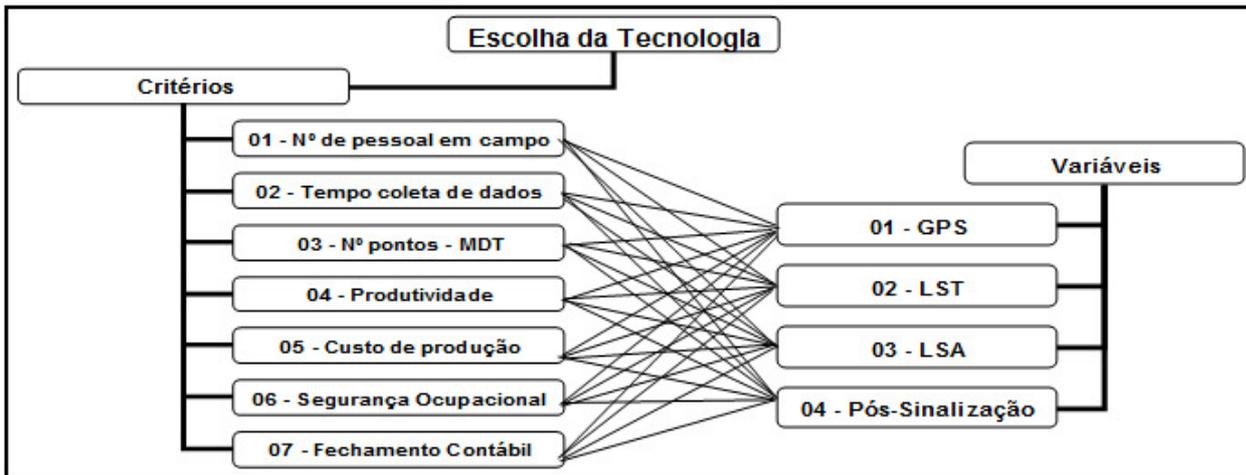


Fig. 2 - Estrutura Hierárquica AHP.

Tabela 6 - matriz de preferência em relação ao critério 5 – custo.

Critério 5				
Variável	GPS	LST	LSA	PÓS
GPS	1	5	9	1/3
LST	1/5	1	4	1/6
LSA	1/9	1/4	1	1/9
PÓS	3	6	9	1

Tabela 7 - Matriz de preferência em relação ao critério 6 – segurança.

Critério 6				
Variável	GPS	LST	LSA	PÓS
GPS	1	1/4	1/4	1/5
LST	4	1	1/3	1/3
LSA	4	3	1	1/2
PÓS	5	3	2	1

Tabela 8 - Matriz de preferência em relação ao critério 7 – fechamento.

Critério 7				
Variável	GPS	LST	LSA	PÓS
GPS	1	1	2	2
LST	1	1	2	2
LSA	1/2	1/2	1	1
PÓS	1/2	1/2	1	1

Os pesos atribuídos correspondem ao grau de importância ou influência que cada critério exerce sobre cada variável, relacionados aos resultados apresentados por aplicação das variáveis. Por exemplo, interpretando a Tabela 3, verifica-se que para a variável LSA, o critério “tempo de coleta de dados” é “de muito forte importância” (peso 7 na escala de Saaty), que para a tecnologia GPS.

Todas as matrizes de comparação das variáveis são normalizadas, constituindo uma nova matriz correspondente à influência média que cada critério exerce em relação a cada variável. A Tabela 9 apresenta a matriz resultante.

Tabela 9 - Matriz de hierarquização das variáveis em relação aos critérios.

Variáveis	Crit. 1	Crit. 2	Crit. 3	Crit. 4	Crit. 5	Crit. 6	Crit. 7
GPS	4,55%	5,03%	3,90%	5,31%	30,96%	6,85%	33,33%
LST	52,51%	7,70%	56,61%	24,77%	10,13%	17,02%	33,33%
LSA	21,47%	31,07%	16,89%	14,22%	3,97%	30,61%	16,67%
PÓS	21,47%	56,20%	22,60%	55,71%	54,94%	45,52%	16,67%
Soma	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

De acordo com a Tabela 9, considerando o critério 1, verifica-se que a variável GPS apresenta uma preferência ou grau de importância de apenas 4,55%, LSA e Pós-Sinalização cada uma, com 21,47% de preferência, ao passo que, a variável LST se apresenta com 52,51% de preferência de aplicação.

5.4 Matriz dos Critérios

A Tabela 10 apresenta a matriz de comparação entre os critérios, constando pesos que correspondem à importância que cada critério exerce em relação a outro, diante do problema proposto, ou seja, trabalhos de coleta de dados em campo para cálculo de volumes de minério.

Por essa tabela, verifica-se que o critério 6 (segurança ocupacional) tem peso 9 em relação ao critério 1 (n° de operadores em campo), ou seja, a segurança neste processo, é tratada como sendo de “importância absoluta” em relação ao critério 1.

5.5 Prioridades dos Critérios

Após a normalização da matriz hierárquica dos critérios, foi definido o vetor de prioridade dos critérios em relação ao problema analisado onde, a variável 6 (segurança ocupacional) se apresentou

Tabela 10 - Matriz de hierarquização dos critérios.

	Crit. 1	Crit. 2	Crit. 3	Crit. 4	Crit. 5	Crit. 6	Crit. 7
Crit. 1	1	1/3	1/5	1/3	1/2	1/9	1/9
Crit. 2	3	1	1/3	3	3	1/9	1/6
Crit. 3	5	3	1	3	4	1/8	1/5
Crit. 4	3	1/3	1/3	1	3	1/9	1/5
Crit. 5	2	1/3	1/4	1/3	1	1/9	1/6
Crit. 6	9	9	8	9	9	1	5
Crit. 7	9	6	5	5	6	1/5	1

como a mais importante (47,30 %) no processo de decisão.

A Tabela 11 apresenta o vetor de prioridades dos critérios.

5.6 Consistências das Matrizes

Foram verificadas as coerências das matrizes, em relação aos pesos atribuídos em cada comparação, obtendo-se resultados satisfatórios. Assim, a exigência do processo de análise, quanto à Razão de Consistência (RC), foi atendida, ou seja, todos os valores de RC foram inferiores ou igual a 0,1. A Tabela 12 apresenta os resultados dos testes de coerências.

5.7 Ranking AHP

Satisfeitas as relações de consistência, definiu-se a decisão do Processo Analítico Hierárquico, com a elaboração de um ranking de preferência entre as alternativas para aplicação diante do problema proposto. Esta definição foi obtida através da multiplicação da matriz de influência dos critérios sobre as variáveis com o vetor prioridade dos critérios. O resultado é apresentado pela Tabela 13.

A Tabela 13 mostra, de acordo com o AHP e com as comparações realizadas, que a alternativa 04, Pós-Sinalização (PÓS) se apresenta como a tecnologia mais indicada, com o índice de 37,36%. Seguem-se as recomendações das alternativas Laser Scanner Terrestre (LST) com 25,53%, Laser Scanner Aerotransportado (LSA) com 23,88% e, finalmente, a tecnologia GPS com 13,23%.

5.8 Gráfico: Variáveis X Critérios

Os resultados das análises pelo AHP podem ser expressos através de curvas geradas a partir dos valores do grau de importância de cada variável em relação a cada critério. A Figura 3 apresenta os resultados desta forma de representação.

Pelas curvas apresentadas na Figura 3, pode-se analisar, comparativamente, a importância ou preferência que cada variável apresenta em relação aos critérios. Por exemplo, temos a seguinte ordem

Tabela 11 - Vetor prioridade dos critérios.

Critério	Importância
Critério 1	2,49%
Critério 2	7,21%
Critério 3	10,88%
Critério 4	5,48%
Critério 5	3,37%
Critério 6	47,30%
Critério 7	23,26%
Soma	100,00%

Tabela 12 - Consistência das avaliações dos critérios e variáveis.

RAZÃO DE CONSISTENCIA		
MATRIZ	RC	
VARIÁVEL	Critério 1	0,031
	Critério 2	0,058
	Critério 3	0,085
	Critério 4	0,091
	Critério 5	0,088
	Critério 6	0,064
	Critério 7	0,000
CRITÉRIOS	0,100	

Tabela 13 - Resultado do AHP.

RESULTADOS AHP					
Variável	GPS	LST	LSA	PÓS	TOTAL
Preferência	13,23%	25,53%	23,88%	37,36%	100,00%

de importância quando analisamos as variáveis em relação ao critério 2 (tempo de coleta de dados em campo), ou seja, a variável Pós-Sinalização (PÓS) apresenta uma preferência de 56,2%, seguida da variável LSA com 31,07%, LST com 7,7% e GPS com apenas 5,03%.

Quanto ao critério 6 (segurança ocupacional), a variável Pós-Sinalização se apresenta com o maior índice de preferência, ou seja, 45,52%. Seguem as variáveis LSA com 30,61%, LST com 17,02% e GPS 6,85%.

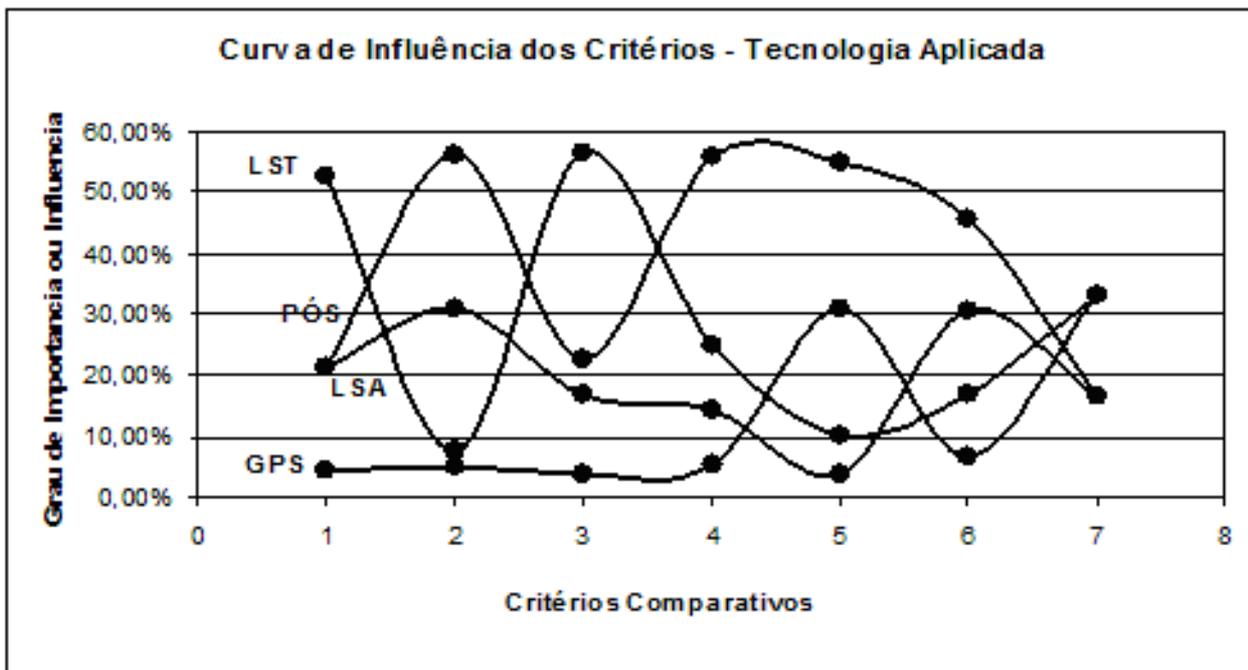


Fig. 3 - Curvas Variáveis X Critérios

6. CONCLUSÕES

Uma das principais características das técnicas de levantamento por sensoriamento remoto é a possibilidade de se ter um enorme volume de informações sobre a superfície terrestre ou objetos, sem que haja o contato físico direto dessa superfície com o sistema de medição. Sendo assim, elas se apresentam como alternativas para vários tipos de aplicações, como em levantamentos destinados à determinação de volumes de minério, onde as características físicas (geométricas) irregulares das pilhas apresentam vários pontos de difícil e inseguro acesso.

O método de análise hierárquico (AHP) fornece subsídios à tomada de decisão, de maneira a se obter a solução mais adequada às necessidades do aplicador.

Por meio da aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP), do problema proposto e em função dos fatores variáveis considerados (critérios), a tecnologia de sensoriamento remoto Pós-Sinalização se mostrou a mais indicada para a realização dos serviços de coleta de dados em campo para a determinação de volumes de pilhas de minério estocado, apresentando como principais vantagens o reduzido tempo de coleta de dados, alta produtividade, reduzido custo e o alto índice de segurança ocupacional.

Baseado nas interpretações das curvas de preferência das variáveis em relação aos critérios,

como as da Figura 3, o interessado pelos serviços pode analisar, comparativamente, as variáveis e os critérios de acordo com seus interesses e necessidades. Porém, os resultados aqui apresentados estão relacionados a uma situação específica, que é o problema de estudo proposto, com características, definições e parâmetros próprios. Em uma situação real de escolha entre as técnicas possíveis de aplicação, cabe aos interessados, promoverem uma análise às variáveis comuns, definindo, em função de seus objetivos, necessidades e condições específicas, aqueles de maior peso e importância.

AGRADECIMENTOS

Além do acordo firmado com a companhia Vale, para o desenvolvimento das atividades práticas na mina de Alegria, foram necessárias outras parcerias com as empresas GEOID Aerolevantamentos, responsável pelo levantamento LSA; MAPTEK do Brasil, responsável pelo levantamento LST e HGT Geoprocessamento, detentora da técnica de Pós-Sinalização.

Os autores agradecem a essas empresas pelo apoio, participação e contribuições neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. J. **Estudo da Carga Circulante Elevada na Britagem Terciária na Planta de IB3 na Mina de Alegria (VALE)**. Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia de Minas. Pós-

Graduação *Lato Sensu* em Beneficiamento Mineral. Ouro Preto, MG. 2010. 30 p.

CICONE JÚNIOR, D. **Modelagem e Aplicação da Avaliação de Custos Completos através do Processo Analítico Hierárquico dentro do Planejamento Integrado de Recursos.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008. 146 p.

JORDÃO, B. M. C & PEREIRA, S. R. **A Análise Multicritério na Tomada de Decisão - O Método Analítico Hierárquico de T. L. Saaty.** Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Departamento de

Engenharia Civil. Portugal. 2006. Artigo Gestão de Empreendimentos. 14 p.

MATHER, P. M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction.** Third Edition. The University of Nottingham. 2003. 319 p.

SAATY, T. L. **Décider Face à la Complexité, “Une Approche Analytique Multicritère d’aide à la Décision”**, tradução de Lionel Dahan. Paris, 1984, ISBN2-7101-0491-1. 223 p.

VILAS BOAS, C. L. **Análise da Aplicação de Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (MMAD) na Gestão de Recursos Hídricos.** Companhia de Recursos e Pesquisa Mineral CPRM. Goiânia, GO. 2005. 119 p.