

Aplicação do Método de Análise Multicriterial AHP como Ferramenta de Apoio a Tomada de Decisão

Application of AHP Method as a Decision-Making Support

Fernanda FONTANIVE [1](#); Leandro Luís CORSO [2](#); Rodrigo Panosso ZEILMANN [3](#); Rodrigo Nappi BIASIN [4](#)

Recibido:29/10/16 • Aprobado: 25/11/2016

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
- [2. Fundamentação teórica](#)
- [3. Resultados e discussões](#)
- [4. Considerações](#)

[Referências](#)

RESUMO:

A aplicação do AHP ocorreu para subsidiar as pesquisas acerca da aquisição de um robô de polimento. Assim, iniciou-se a identificação das alternativas disponíveis no mercado e a coleta de dados para aplicar o método construído acerca de operações numéricas da pesquisa operacional. Posteriormente, o banco de dados foi desenvolvido e realizou-se as manipulações algébricas. Por fim, foi atrelado o benefício indicado ao custo da compra, possibilitando a análise por meio do benefício/custo. Os resultados atenderam o objetivo da pesquisa, pois viabilizaram a compra de um maquinário que apresentou 44,36% de preferência, englobando todos os critérios envolvidos na análise.

Palavras-chave: AHP. Análise de decisão. Pesquisa operacional

ABSTRACT:

This paper focuses on the AHP study in order to purchase the best option among polishing robots. Based on the evaluation of the scenario, it was possible to find three different able alternatives. After that, the data collected was conducted and the information was used to apply the method, which was developed using numerical operations from operation research. Subsequently, the benefits were divided by the machine costs. It presents the benefit/cost of the purchase. The results provided met the goal of the research as they enabled the purchase of the robot, that presented 44.36% preference covering all the criteria involved.

Keywords: AHP. Multicriteria decision. Operation research.

1. Introdução

A indústria de bens intermediários está inserida em um mercado em que o nível de competição mostra-se, a cada dia, mais acentuado. Este cenário ocorre devido à globalização econômica que tem se intensificado nos últimos anos (SCARPIN; ROCHA, 2000). Gonçalves (2003) afirma

que a globalização provoca a alta competição na concorrência internacional, assim faz com que o setor secundário se mantenha em busca de métodos e análises vantajosas para conservar-se competitivo.

Na indústria é comum encontrar situações em que a escolha entre duas ou mais alternativas é indispensável. Algumas situações que, em princípio, possam parecer um processo de tomada de decisões simples, podem exigir uma análise cuidadosa.

Segundo Casarotto Filho e Kopittke (2010), poucas empresas têm uma cultura de realizar análises quantitativas, que dispõe dos dados necessários para julgar propostas claramente, elidindo riscos. Percebem-se situações em que dados primordiais não estão disponíveis ou não estão dispostos de maneira prática, fazendo com que os usuários não tenham clareza para utilização destes recursos. Desta forma, é necessário que as informações possam ser transformadas em conhecimento, em prol da organização. Além disso, alguns dados são qualitativos e tornam-se mais difíceis de serem parametrizados, pois podem gerar diferentes interpretações (ZOPOUNIDIS; PARDALOS, 2010), portanto é fundamental utilizar métodos que auxiliem na organização das informações e ajudem a minimizar as falhas, a fim de obter uma decisão baseada em informações.

A tomada de decisão é a transformação das informações pesquisadas em ações. As incitações fazem com que os gestores busquem meios para estruturar um plano de ação adequado ao perfil da empresa, com o objetivo de alcançar a resolução ideal (OLIVEIRA, 2004).

A análise de decisão multicritério padroniza o processo decisório com o objetivo de encontrar a melhor alternativa. Esse processo, de tomada de decisão, é geralmente dividido em estágios, desde identificar o problema até encontrar a melhor alternativa. Os passos constituem a decisão estratégica de forma científica, são ações que quando utilizadas pelos líderes das organizações, podem afetar a saúde e o rumo organizacional de forma positiva.

Estes estágios têm o intuito de organizar o problema e situar o decisor em frente a uma situação de adversidade, servindo como ferramenta de apoio e facilitando a tomada de decisão, além de ajudar a integrar os diferentes pontos de vista entre os tomadores de decisão.

A ideia principal do método de decisão multicriterial AHP é a clarificação de critérios de um sistema comparado por pares. Por meio da avaliação da relevância relativa de cada um deles determina-se uma classificação em níveis de importância. O método é utilizado em diversas áreas e torna possível que dados quantitativos e qualitativos sejam abrangidos em uma mesma análise. Também possibilita, utilizando uma modelagem matemática, avaliar a capacidade do homem para realizar julgamentos, sem que ocorram divergências (SENA, 2007).

1.1. Cenário Atual

A aplicação do método ocorreu em uma empresa que tem foco na produção de acessórios de qualidade, *design* e inovação, para personalização de veículos automotores. A empresa apresenta um processo produtivo tecnológico e organizado, dividido em setores de corte, dobra, polimento, pintura, cromagem, montagem, entre outros. Conta com um sistema de produção desenvolvido por seus colaboradores embasado no LEAN *manufacturing*.

O processo abordado por este estudo é o de polimento, que hoje é terceirizado pela empresa. O trabalho conta com cinco operadores, três trabalham no processo de desbaste, um no polimento e o último realiza o trabalho de inspeção, para verificar onde é necessário o retrabalho.

Para realizar o processo de polimento, é necessário que as peças passem por três lixas de granulometria diferentes, chamadas de *flap wheels*, que proporcionam um desbaste mais pesado e, posteriormente, pelo processo de *buffing*, que concede, por meio de uma escova, um melhor acabamento espelhado.

O processo de polimento é feito manualmente, por operadores que demonstram não conhecer o processo como um todo e sua importância, devido a isso, não demonstram cuidado durante a

realização do polimento, assim, a maioria das peças não são polidas por inteiro, causando retrabalho e pouca qualidade superficial. Essa atividade caracteriza-se por ser fatigante e apresentar condições ambientais não adequadas, como poeira e ruído excessivo. Além disso, percebe-se a dificuldade de encontrar operadores para a realização do mesmo. Em vista disso, percebe-se a necessidade da modificação do processo.

2. Fundamentação teórica

A metodologia AHP é estruturada de forma competente, permitindo encontrar soluções precisas com o apoio da experiência e intuição dos tomadores de decisão, os autores também afirmam que a ferramenta proporciona um maior conhecimento das atividades e das possibilidades do negócio (Reis; Ladeira; Fernandes, 2013).

Os autores Travessini et. al (2015) utilizaram a metodologia para propor a caracterização dos critérios mais importantes para a indústria de móveis na seleção de novas ideias. Já, Silva Souza et. al. (2016) escolheram um sistema help desk e Loureiro, Freitas e Gonçalves (2015) auxiliaram a decisão de expansão de terminais portuários.

Quando o AHP é definido como metodologia de suporte para a solução de um caso complexo, é necessário seguir alguns passos para facilitar a execução e manter sob controle o andamento da sistemática proposta. Kou et al. (2013) mostram alguns estágios que tem o intuito de assistir à concretização deste procedimento, estes estão clarificados em quatro itens de tal forma: (1) definir e decompor o problema; (2) construir um conjunto de matrizes de comparação em pares; (3) aplicar as modelagens matemáticas do método AHP; (4) Avaliar os resultados do modelo.

2.1. Definir e decompor o problema

No primeiro passo é necessário definir o impasse a ser decidido, em seguida, decompor em partes de forma hierárquica, ou seja, quebrar o problema em uma hierarquia de elementos inter-relacionados. Para Costa (2002), o processo de mapeamento hierárquico envolve três atividades diferentes, determinar o foco principal (FP), em seguida, definir o conjunto de parâmetros viáveis e por fim, propor as alternativas disponíveis. A primeira delas consiste em descrever o objetivo absoluto, a segunda em identificar os fatores que possam influenciar no processo e avaliação do desempenho das alternativas e a terceira em apresentar as possibilidades de decisão.

No entanto, realizar a seleção dos critérios pode trazer preocupações e dúvidas, Saaty (1990) diz que no momento de construir uma hierarquia é necessário incluir dados suficientes para representar a situação de forma minuciosa sem perder o foco, considerar o ambiente que envolve o problema, identificar as questões e os atributos que influenciam o problema e apontar os participantes envolvidos. O autor ainda afirma que, estas ações trazem uma visão global da situação e promove que o tomador de decisão opere a comparação entre os critérios de forma mais confiável.

2.2. Construir um conjunto de matrizes de comparação em pares

Na segunda fase, os elementos de um mesmo nível são comparados sempre respeitando o critério exposto um nível acima. O método AHP sugere que vetores de peso sejam desenvolvidos para expor a importância correspondente dos diferentes elementos. O primeiro passo é determinar o grau de importância dos componentes, por meio de comparações binárias (SCHIMDT, 1995). Para realizar esta tarefa de quantificação, é indicado a elaboração de um questionário, aplicado aos envolvidos, utilizando a escala proposta por Saaty, mostrada na Quadro 1.

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente ao objetivo final.
3	Menor importância de um sobre o outro	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação a outra
5	Essencial ou forte importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação a outra
7	Importância significativa	Uma atividade é fortemente favorecida e esta dominância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorecendo uma atividade em relação a outra é da ordem mais alta possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes.	Quando há necessidade de compromisso
Recíprocos (diferentes de zero)	Se a atividade i tem um dos números acima atribuídos a ela quando comparada com a atividade j , então j tem o valor recíproco quando comparado com i .	

Fonte: Adaptado de Kou et al. (2013).

Os julgamentos realizados, com o auxílio desta tabela, têm o objetivo de auxiliar a transformação das avaliações verbais em números, são feitos por colaboradores, baseados em experiência, intuição e dados físicos, sempre com foco no objetivo principal. As informações finais, em formato numérico, são utilizadas para a construção de matrizes de comparação (SCHMIDT, 1995).

Essas matrizes constituem a base do método AHP e devem ser matrizes pareadas, que expressem os valores relativos das comparações binárias de um grupo de atributos atinentes à tomada de decisão trabalhada. O número na linha i e na coluna j , expressa a relevância do parâmetro A_i em referência a A_j , como mostrado na Figura 1 (KATAYAMA; KOSHIISHI; NARIHISA, 2005).

Figura 1: Exemplo de matriz comparada em pares.

Critério	A ₁	A ₂	...	A _n
A ₁	1	V ₁₂	...	V _{1n}
A ₂	1/V ₁₂	1	...	V _{2n}
...
A _n	1/V _{1n}	1/V _{2n}	...	1

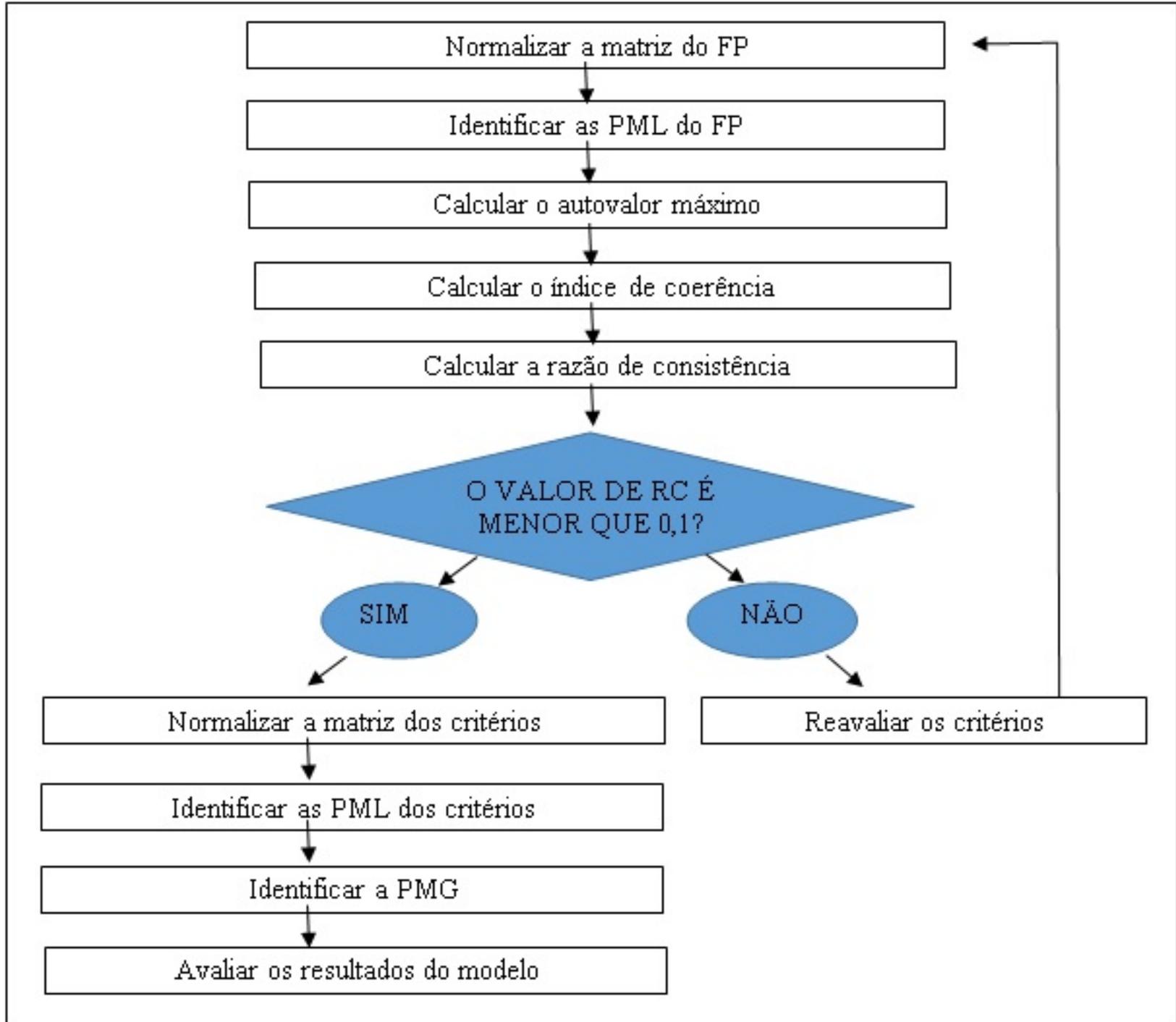
Fonte: Katayama, Koshiishi e Narihisa (2005).

2.3 Aplicar as modelagens matemáticas do método AHP

Para facilitar os cálculos, é possível utilizar o apoio dos *softwares Priest* e *Microsoft Excel*. O fluxograma para otimizar as manipulações algébricas necessárias foi elaborado, como mostra a Figura 2.

Inicialmente, a matriz do FP é normalizada. Para normalizar uma matriz mostra-se necessária a realização de dois passos, o primeiro consiste em obter o somatório de cada coluna da matriz de julgamentos, o segundo compreende a divisão de todos os elementos pelo produto do somatório obtido na etapa antecedente, deste modo, obtém-se o resultado. Em seguida encontra-se as prioridades médias locais (PML) sobre o FP, assim o ranking de preferências entre os critérios foi exposto numericamente. Estas são obtidas a partir das médias aritméticas de cada linha da matriz normalizada (COSTA, 2002). A média aritmética alcança-se por meio do somatório da linha e, posteriormente, a divisão do produto da soma obtida, pelo número de elementos.

Figura 2: Fluxo de aplicação algébrica para o AHP



Fonte: O Autor (2015).

Sabe-se que o processo analítico hierárquico se caracteriza por ser um processo que permite calcular a coerência dos cálculos efetuados, devido ao fato que toda a apuração é embasada nos julgamentos humanos dos critérios de avaliação, existe a possibilidade de inconsistência lógica na avaliação e, conseqüentemente, na realização dos cálculos. Com base nisso, percebe-se a necessidade da realização das seguintes operações matemáticas:

1. Calcular o autovalor máximo ($\lambda_{máx}$): o método AHP busca o $\lambda_{máx}$, que mostra se os dados estão logicamente ligados. Este pode ser calculado por meio de três passos básicos. Na primeira etapa, multiplica-se a matriz de julgamentos pelo vetor de prioridades do foco principal, e, em seguida, divide-se o produto da multiplicação pelo vetor de prioridades do foco principal (CHAN; CHAN, 2004). Na segunda etapa, encontra-se o $\lambda_{máx}$ por intermédio da média aritmética das prioridades auxiliares, ou seja, a média aritmética da divisão realizada anteriormente (COSTA, 2002). Saaty (1990) corrobora que a matriz é considerada consistente, se e somente se, $\lambda_{máx}$ for igual ao número de linhas e colunas da matriz;
2. Calcular o índice de consistência (IC): Esta etapa deve ser realizada se a matriz for considerada consistente, por meio da seguinte equação $(\lambda_{máx}-n)/(n-1)$, onde n é o número de linhas e colunas da matriz;
3. Calcular a razão de consistência (RC): A RC mostra a coerência das comparações pareadas, identificando se uma correção da apreciação deve ser considerada (SAATY, 1990). Pamplona (1999 apud SAATY, 2001), mostra que este índice pode ser calculado por meio da seguinte fórmula, $RC=IC/CA$, onde CA é um índice de consistência aleatória, apresentado por Pamplona (1999).

A RC deve ser significativamente pequena, mais especificamente, esta requer um valor menor do que 0,1, se o resultado atende o padrão, o cálculo é aceito, caso contrário é necessário melhorar a consistência, por meio da reavaliação das comparações pareadas (SAATY, 1990).

No entanto, vale lembrar que, uma revisão feita por Saaty (1994), considerou novos índices para o padrão de avaliação de inconsistência da matriz, embasados no seu tamanho. Para matrizes de ordem três, fundamentou-se o valor 0,05, para as de ordem quatro, 0,08 e, as demais, permanecem com o índice de 0,1. Se a RC apresentar um valor aceitável, deve-se normalizar a matriz dos critérios e encontrar as prioridades médias locais para cada critério. Com base nesses resultados, pode-se perceber a importância de cada alternativa em relação a cada critério.

Por fim, realiza-se o cálculo da prioridade média global (PMG), com isso, encontra-se valores numéricos que são organizados em formato de um *ranking* de prioridades. Esta ação que indica qual alternativa atenderá de forma mais apropriada as necessidades da organização, foi efetuada por meio da seguinte fórmula:

$$[PMG] = [PML \text{ critérios}] \times [PML \text{ foco principal}]$$

2.4. Avaliar os resultados do modelo

Esta etapa consiste em avaliar os resultados obtidos por meio da aplicação da modelagem matemática proposta por Saaty. A motivação dá-se ao fato da importância de compreender os valores encontrados.

A análise do benefício/custo possibilita entender ambos fatores no momento de introduzir uma alternativa no processo. Esta avaliação é selecionada com o intuito de utilizar um modelo capaz de englobar o benefício ao custo, por meio da divisão do primeiro pelo segundo. Assim, é possível possibilitar uma análise que englobe ambos parâmetros e identificar a alternativa mais atrativa (SUDIANA, 2010).

Outra metodologia amplamente utilizada para avaliação dos resultados é a análise de sensibilidade, verificada por meio de gráficos que podem ser gerados com o uso de um *software* habilitado. Segundo Eschenbach (1999) é uma etapa na metodologia de análise de decisão que é utilizada para:

1. Tomar decisões mais próximas do ideal;
2. Perceber quais dados devem ser refinados antes de optar por uma alternativa;
3. Concentrar-se nos elementos críticos durante a implementação.

Com esse intuito, os gráficos de análise de sensibilidade podem ser gerados e interpretados, tornando-se facilitadores e asseguradores do processo.

3. Resultados e discussões

As etapas de desenvolvimento para a aplicação do método foram realizadas em estágios, de acordo com o sugerido pelo método na bibliografia, por este motivo, serão apresentadas desta forma: (1) identificação das variáveis que modelam o problema; (2) identificação das alternativas possíveis; (3) identificação dos critérios que utilizados; (4) elaboração e aplicação do questionário; (5) organização dos dados para a aplicação do método; (6) aplicação do método AHP para tomada de decisão; (7) avaliação dos resultados do modelo.

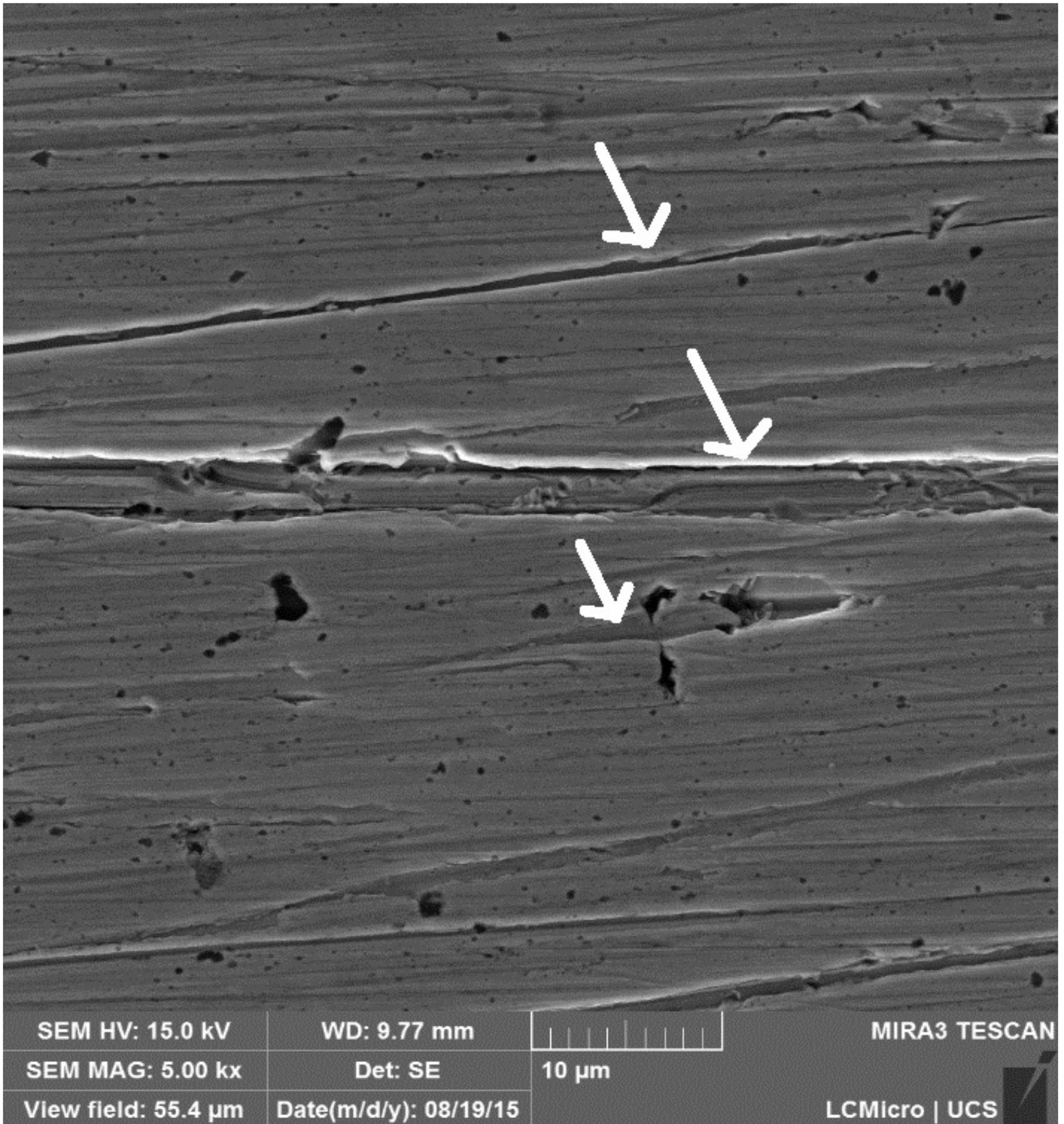
3.1. Identificação das variáveis que modelam o problema

A identificação das variáveis que modelam o problema foi realizada com o intuito de mapear as necessidades da organização e verificar a conveniência quanto a realização do projeto, assim como mostrar as possibilidades que o mercado disponibiliza para a problemática em questão.

Após a análise do processo, verificou-se a qualidade superficial das peças polidas pelo processo

manual, por meio de testes de rugosidade e análises de textura, os resultados mostraram que o valor de rugosidade (Ra), está na faixa de 0,2 a 0,4 μm , valores acima do idealizado, conclui-se também que o processo não é realizado de maneira adequada, pois é perceptível as marcas deixadas pelas lixas nas diversas etapas anteriores, como mostra a superfície após o processo de polimento manual exposta na Figura 3 com ampliação de 5000 vezes, as setas apontam os casos de maior aparência.

Figura 3: Fotografia da superfície após polimento manual



Confirma-se esta afirmação na bibliografia de Roswell, Fengfeng e Guanhjun (2005), os autores afirmam que o polimento acontece por duas etapas principais, a primeira é a remoção das marcas, como riscos, marcas dos processos anteriores, poros e outros defeitos, e a segunda é a redução da rugosidade, foco principal de sua aplicação. Dieste et al (2013), corroboram que o polimento deve remover completamente as marcas deixadas pela lixa anterior para que ocorra um acabamento adequado.

Considerando isso, realizou-se uma pesquisa utilizando a bibliografia disponível sobre automação de processos de acabamento, como, artigos, livros, *journals*, entre outros.

O estudo avaliou os processos de acabamento sugeridos por Kalpakjian (2006), são eles: Brunimento, tamboreamento, retificação eletroquímica, retificação, eletropolimento, polimento, lapidação e superacabamento. O autor mostra uma forma de classificação dos processos de fabricação de acordo com sua empregabilidade, percebe-se então, o eletropolimento e o polimento como os processos com capacidade de produzir formas livres, sendo que, o primeiro não é indicado para o material utilizado pela empresa, o aço carbono AISI 1010.

Diante disso, percebeu-se a necessidade de automatizar o processo, por meio da aquisição de um robô de polimento. Esta ação traz maior qualidade superficial, aumenta a segurança e a produtividade.

3.2 Identificação das alternativas possíveis

O foco deste estágio é encontrar os fornecedores de robôs disponíveis no mercado que oferecem maquinário possibilitado para automatizar os processos de *flap wheels* e *buffing*, além de, oferecer rugosidade adequada e atender a demanda necessária. Para isso, usou-se como ferramenta inicial os sites das empresas disponíveis, avaliaram-se os produtos oferecidos e então o primeiro contato, com produtores diferentes, foi realizado.

A intenção foi coletar informações como, o orçamento, as particularidades do maquinário, o valor monetário, as condições de pagamento e transporte, taxa de produção, dados técnicos, entre outras informações julgadas pertinentes para aplicações futuras. Após confirmada a aptidão por parte dos fornecedores em atender a demanda atual da empresa, três deles passaram a ser uma alternativa, A, B e C.

3.3 Identificação dos critérios utilizados

Utilizando os dados recolhidos por meio da leitura de estudos de casos anteriores, um *brain storming* foi realizado. A ação teve como objetivo reunir até nove critérios importantes para organização. Além disso, ocorreu a clarificação do método para os empresários responsáveis, os motivos que levaram a escolha do AHP para a resolução da problemática foram contextualizados, assim como, os objetivos do método, a modelagem matemática e o contexto histórico.

Diante disso, nove critérios julgados pertinentes foram elencados, são eles: tempo de *pay back*, facilidade de manuseio, manutenção, versatilidade, taxa de produção, cuidado ambiental, tempo de *set up*, financiamento e competências técnicas. Estes critérios têm importância na aplicação do método, pois expressam as necessidades organizacionais, diante disso foi possível elaborar a estrutura hierárquica do AHP, que mostra no primeiro nível o objetivo principal, a compra de um robô de polimento, em seguida, no segundo nível, apresenta-se os nove critérios selecionados e, por fim, no terceiro nível, exibe-se as três alternativas disponíveis.

Esta estruturação hierarquizada em formato de árvore trouxe ao tomador de decisão uma visão global da situação a ser tratada pelo método de análise multicriterial, facilitou o processo de tomada de decisão.

3.4 Elaboração e aplicação do questionário

O formulário, que conta 36 comparações pareadas entre os critérios, foi elaborado pelo autor e respondido pelos responsáveis do projeto dentro da empresa, em reunião particular após receberem o treinamento, assim, este foi analisado e em seguida utilizado para aplicação do método.

Existe a necessidade de realizar um segundo questionamento, para isso, utilizou-se a mesma metodologia, porém os objetivos foram diferentes. Este tem o propósito de coletar informações referentes as alternativas, que são comparadas em pares em relação a cada critério.

A aplicação de ambos os questionários proporcionou a extração dos julgamentos pareados em relação aos critérios e as alternativas. A participação dos empresários no julgamento das comparações foi de extrema importância, de modo que trouxe a sabedoria de quem conhece as necessidades da empresa, tanto passadas quanto futuras.

3.5 Organização dos dados para a aplicação do método

Em primeiro momento, as informações coletadas por meio do questionário de preferencias foram organizadas em forma matricial, uma delas é a matriz de comparações. Exposta na Figura 4.

Figura 4: Matriz de comparação entre os critérios

Matriz de Comparação

	<i>Tempo de pay back</i>	<i>Facilidade de manuseio</i>	<i>Manutenção</i>	<i>Versatilidade</i>	<i>Taxa de produção</i>	<i>Cuidado ambiental</i>	<i>Tempo de set up</i>	<i>Financiamento</i>	<i>Competências técnicas</i>
<i>Tempo de pay back</i>	1	3	9	3	3	5	9	5	5
<i>Facilidade de manuseio</i>	1/3	1	5	5	3	1/5	1/5	1/3	3
<i>Manutenção</i>	1/9	1/2	1	1/5	5	3	3	1/5	5
<i>Versatilidade</i>	1/3	1	2	1	3	1/5	3	3	3
<i>Taxa de produção</i>	1/3	1	1	1/3	1	1/5	3	3	3
<i>Cuidado ambiental</i>	1/2	5	2	2	5	1	5	3	3
<i>Tempo de set up</i>	1/9	1	1/3	1/3	1/3	1/5	1	3	3
<i>Financiamento</i>	1/5	1/2	1	1/3	1/3	1/3	1	1	3
<i>Competências técnicas</i>	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1

Fonte: O Autor (2015).

Em segundo momento, as matrizes de comparação entre as alternativas foram construídas para cada critério, utilizando a mesma metodologia. Por fim, com todos os dados organizados em formato matricial, a aplicação do método foi realizada com o uso da ferramenta *Microsoft Excel*. A partir dessa formatação é possível realizar as modelagens matemáticas necessárias.

3.6 Aplicação do método AHP para auxílio na tomada de decisão

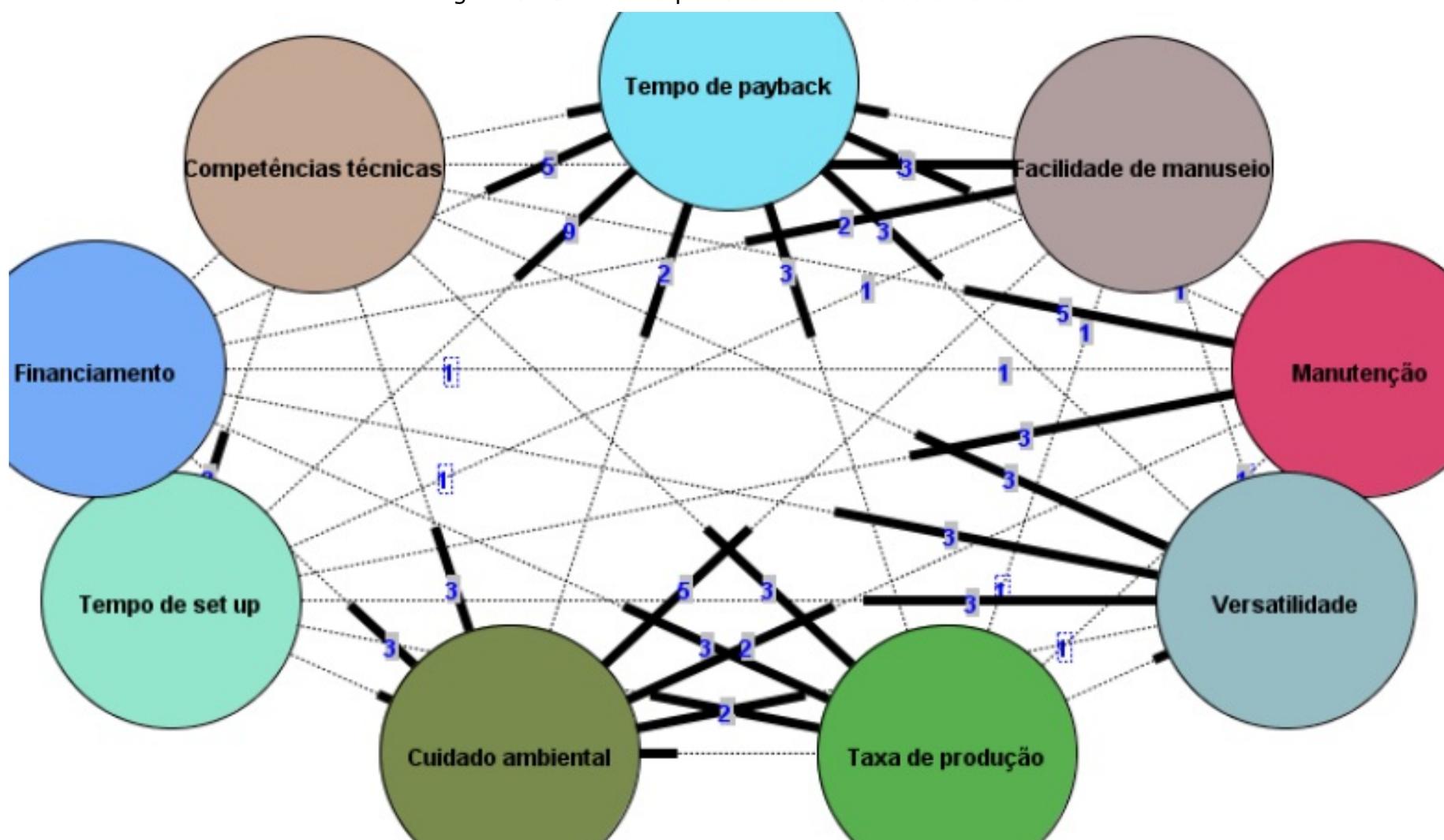
Os cálculos, embasados na metodologia proposta por Saaty (1990) e exposta na Figura 2, foram realizados para encontrar a melhor alternativa dentre as três disponíveis. Assim, foram encontrados os valores 12,05 para o $\lambda_{máx}$ e 0,263 para a RC. Esses valores mostram uma matriz inconsistente, já que, de acordo com o método proposto por Saaty, o primeiro valor deve corresponder ao número de linhas e colunas da matriz, ou seja, nove, e o segundo valor deve ser menor que 0,1.

Diante disso, faz-se necessário a avaliação dos julgamentos com o intuito de encontrar as inconsistências e oportunizar a aplicação do método. Para esse fim, foi utilizado o *BPMMSG AHP priority calculator*, um *software* gratuito que sinaliza as inconsistências e facilita a correção. Após a revisão, as comparações pareadas sofreram alterações em seus valores, esta ação originou uma nova matriz de comparação.

A partir dos ajustes realizados nas comparações pareadas, uma reunião junto aos diretores foi praticada, com a finalidade de explicar o procedimento ocorrido e verificar a veracidade dos julgamentos, assim obete-se certificação das mudanças necessárias.

Para expor esses dados, foi utilizado como auxílio a Figura 5, desenvolvida por meio do *software Priest*. Este reúne todos os critérios em uma única análise. As linhas pretas indicam o nível de importância de um critério em relação ao outro. Assim, é possível perceber que o tempo de *pay back* tem relevância significativa em relação a todos os outros critérios, tendo importância absoluta em relação ao tempo de *set up* e pequena importância em relação a versatilidade, por outro lado, o financiamento não demonstra prioridade quando comparado aos outros parâmetros, com exceção das competências técnicas.

Figura 5: Gráfico de preferências entre os critérios

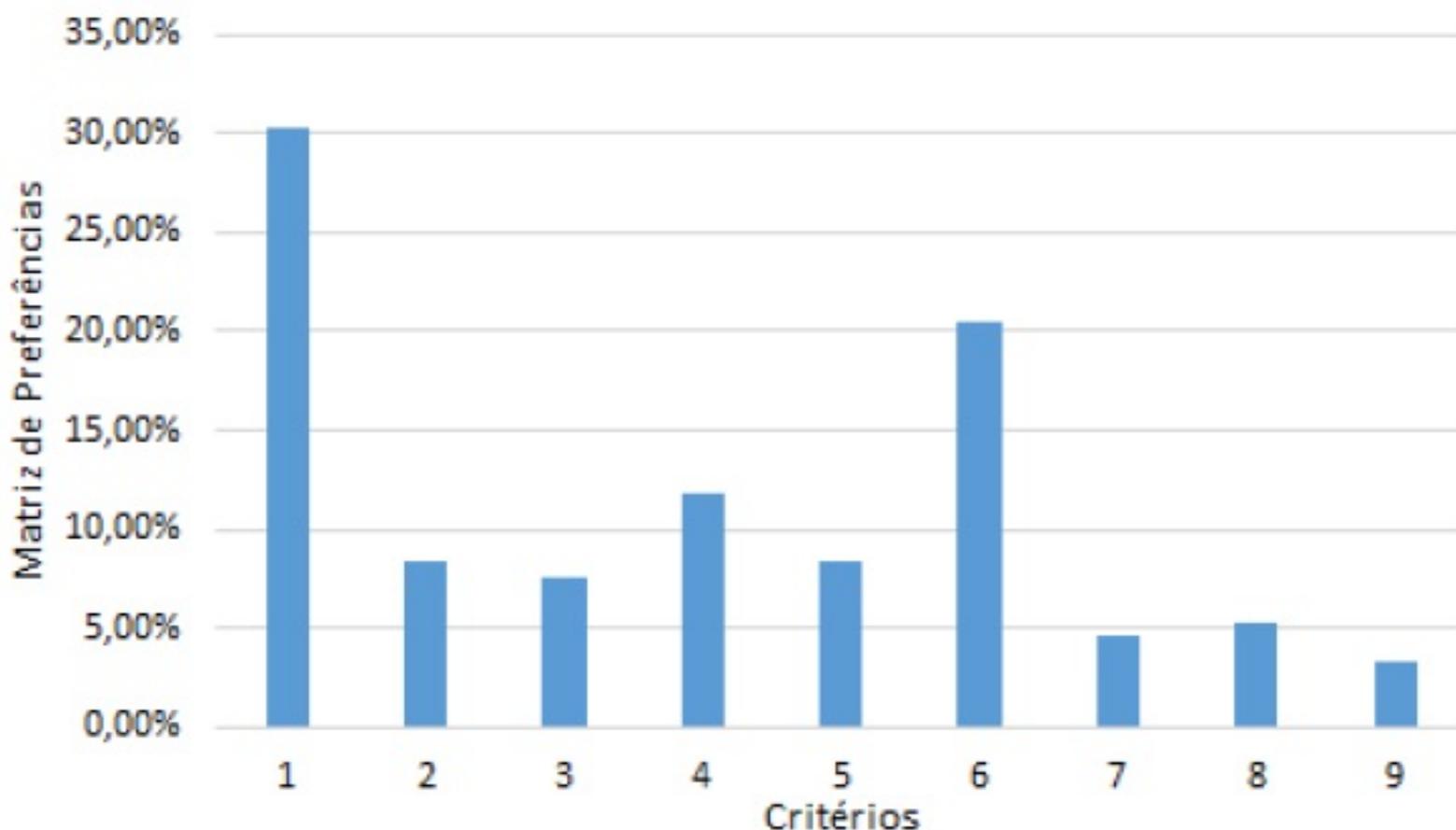


Fonte: O Autor (2015).

A matriz de comparação entre os critérios tratada foi normalizada, e as médias foram

calculadas, diante dessa ação foi possível verificar o *ranking* de preferências entre os critérios, exposto na Figura 6.

Figura 6: Gráfico de preferências entre os critérios.



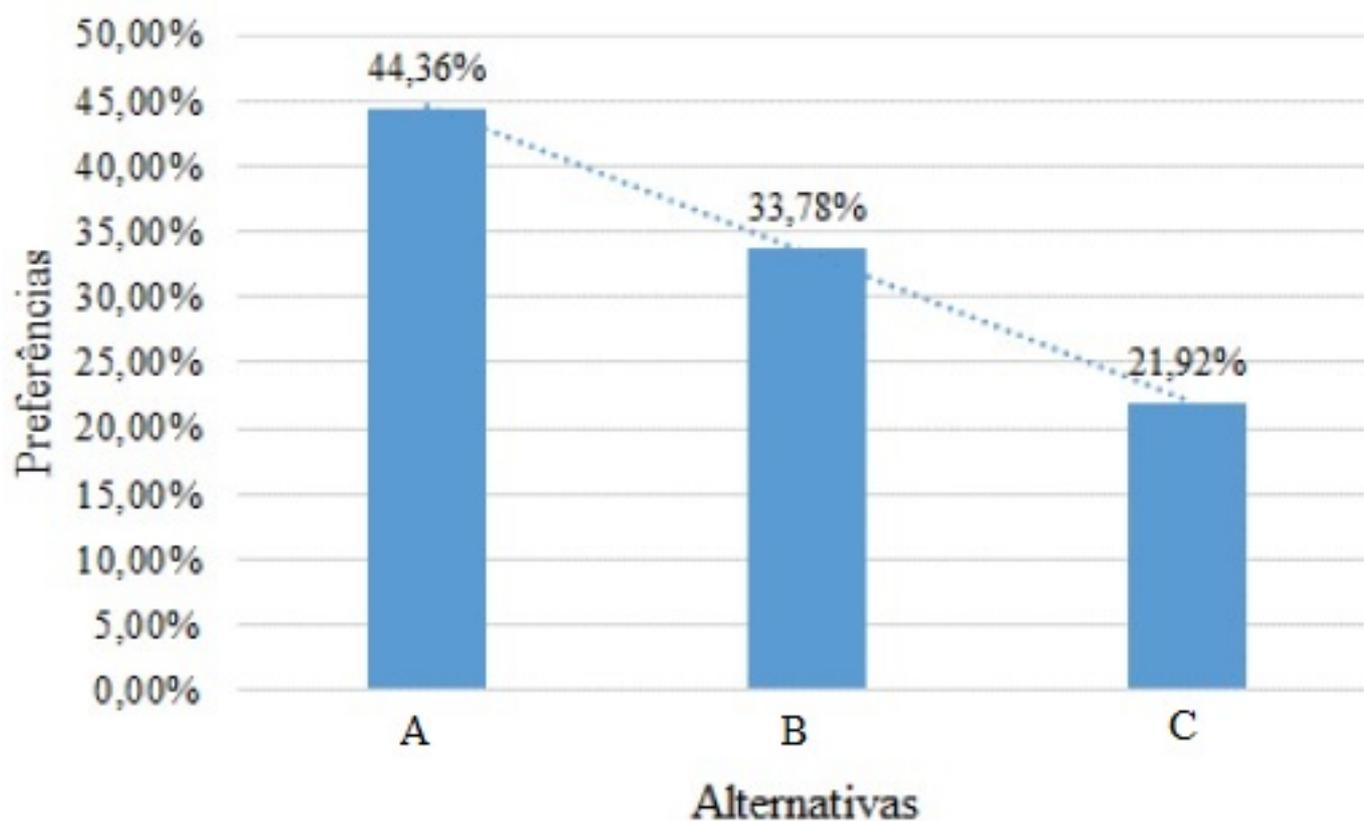
Fonte: O Autor (2015).

Os cálculos de $\lambda_{máx}$, IC e RC foram realizados novamente. Assim, foram encontrados os valores 9,86 para o $\lambda_{máx}$ e 0,074 para o RC. À vista disso, constata-se uma matriz consistente para os próximos passos da metodologia.

Seguindo, as matrizes dos critérios foram normalizadas e as médias calculadas, isso possibilitou o cálculo das PMLs para os critérios. Com base nessas informações a matriz de preferências dos critérios foi elaborada. As matrizes dos critérios também passaram pela verificação de consistência lógica. Por serem matrizes pequenas, a construção de um modelo consistente pode ser considerada simples, portanto, não foram encontradas matrizes que apresentassem necessidade de avaliação.

Por fim, é preciso calcular a PMG que expões o *ranking* de preferencias entre as alternativas, exposto na Figura 7.

Figura 7: Gráfico de preferências entre as alternativas.



Fonte: O Autor (2015).

A apuração realizada para encontrar a PMG, mostra que, entre as três alternativas viáveis disponíveis no mercado, a A oferece o maior benefício perante as necessidades relatadas pela empresa. Em segundo lugar a B e na última colocação a C.

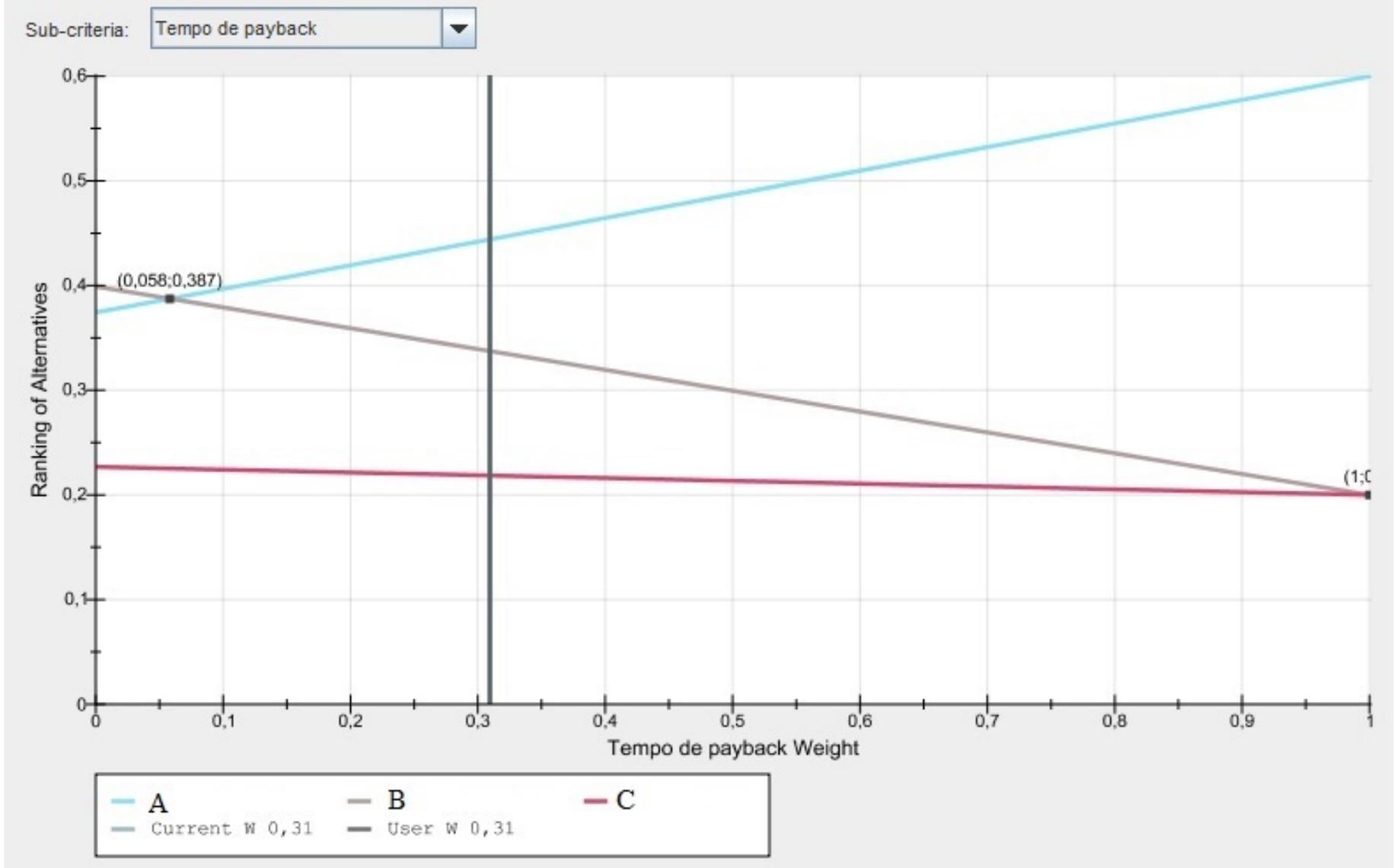
3.7. Avaliação dos resultados do modelo

Para finalizar as análises de preferências é indicado encontrar o valor do benefício/custo. Esta medida envolve o benefício proporcionado pela alternativa atrelado ao custo da mesma, para que ocorra uma decisão englobando ambos parâmetros, uma vez que, benefício e custo são fortemente considerados pelas organizações.

Para isso, os valores encontrados por meio da aplicação da metodologia AHP, que geraram o *ranking* das alternativas, foram divididos pelo custo das mesmas. Devido às restrições impostas pelas empresas responsáveis pela venda do equipamento, o custo não deve ser publicado. Vale lembrar que, existe a possibilidade de haver oscilações de mercado no momento da compra, nesse caso, os valores devem ser recalculados. Foram gerados gráficos de análise de sensibilidade, com o uso do *Priest* um *software* habilitado, para avaliar a coesão dos critérios, ou seja, como seria o comportamento do *ranking* dos fornecedores se houvesse variação na prioridade dos critérios do problema.

Com esse intuito, os gráficos de análise de sensibilidade podem ser interpretados, tornando-se facilitadores e asseguradores do processo, como mostra a Figura 8, que examina quanto sensível é a alternativa escolhida se as variáveis envolvidas no modelo de decisão forem alteradas.

Figura 8: Análise de sensibilidade para o critério tempo de *pay back*.



O gráfico mostra as prioridades das alternativas *A*, *B* e *C* com relação ao objetivo selecionado. A linha cheia cinza mostra a prioridade atual do objetivo e é lida a partir do eixo *x*, na interseção. As prioridades das alternativas são lidas a partir do eixo *y* e determinadas pela interseção das linhas das alternativas com a linha de prioridade do objetivo, o vetor de prioridade.

Observa-se o vetor de prioridade, representado pela linha vertical (0,31), atribuído ao critério tempo de *pay back*. A análise de sensibilidade é efetuada arrastando a linha vertical, esta ação mostra o quanto seria necessário alterar o vetor principal do critério em questão para modificar o resultado final.

Por fim, para obter segurança nos resultados, todos os nove critérios, discutidos durante o processo de decisão, foram analisados. Observou-se sensibilidade para os critérios manutenção e financiamento, os outros sete, não se apresentaram sensíveis ao processo de mudança. Essa ação sugere um resultado robusto para tomada de decisão, pois demonstrou pouca oscilação.

4. Considerações

A metodologia apresentada traz uma proposta interessante quando o foco é a tomada de decisão englobando diferentes critérios, a modelagem matemática flexível possibilita ao tomador de decisão quantificar os critérios qualitativos, e assim, avaliar a problemática unindo-os aos critérios quantitativos. Esta ação é atraente, pois possibilita conectar os critérios técnicos aos econômicos em uma única avaliação.

A versatilidade do método, torna-se visível também, quando se fala em campo de atuação, dado que pode ser utilizado além do âmbito empresarial, por exemplo, no setor público, pessoal e em situações diversas. Outro ponto importante é a possibilidade da contribuição advinda de diversas áreas da organização, estas podem manifestar seus conhecimentos, percepções e experiências como contribuição ao resultado final.

Além de contemplar os julgamentos dos tomadores de decisão, a metodologia possibilita a verificação de possíveis falhas cometidas pelo homem nessas avaliações, diante do fato que o ser humano é passível de erro, considera-se este um ponto positivo. Tendo em vista a dinâmica do cenário empresarial atual, também é concordante a permissão de mudanças com facilidade quanto a metodologia aplicada, pode-se dizer que o AHP atende este quesito e auxilia na análise e síntese das informações.

As ações sugeridas pelo método possibilitam a tomada de decisão de forma mais palpável, de um certo modo, a metodologia traz para o plano real o assunto em questão, tornando perceptível as variáveis que modelam o problema. Assim, é proporcionado ao tomador de decisão solucionar impasses de forma mais acertada, evitando decisões embasadas em opiniões pontuais.

E, mesmo que o decisor opte por um desfecho diferente do indicado pelo método, o AHP motivou o envolvido a um estudo detalhado do caso, possibilitando a visualização da problemática por diferentes ângulos, ou seja, proporcionando um amplo conhecimento do caso, deste modo, é possível mitigar as falhas no momento da escolha.

A vasta gama de bibliografia publicada sobre o assunto reforça sua aplicabilidade e mostra que a metodologia foi utilizada por diversos pesquisadores em diferentes estudos de caso. O crescimento significativo que o AHP tem mostrado recentemente, impulsionou o desenvolvimento de alguns *softwares* para sua aplicação, o uso de um apoio computacional é um facilitador do processo, assim, tende a tornar-se mais requisitado e continuar se expandindo no mercado.

Sob outra perspectiva, é preciso conhecer os aspectos negativos do método, uma delas é a grande quantidade de julgamentos, isso faz com que os participantes percam o interesse na atividade ao longo do tempo, devido ao cansaço físico e mental. Esse alto número de julgamentos também aumenta a possibilidade de constituir matrizes inconsistentes, essa problemática é de difícil resolução e pouco encontrada na bibliografia.

O AHP mostrou-se um método útil, por ser aplicável em diversas áreas, assim, considera-se um conhecimento que agrega valor ao pesquisador e/ou colaborador, simples e flexível, pois é de fácil aplicabilidade, e sólido, por ter diversas bibliografias publicadas confirmando sua veracidade.

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou aplicar a literatura estudada sobre o método AHP na prática, esta ação trouxe uma visão do assunto não somente acadêmica como empresarial, oportunizando aprofundar ambos conhecimentos. Além disso, permitiu a contribuição com o processo produtivo e econômico de uma empresa regional, por meio das manipulações matemáticas com foco no apoio a tomada de decisão.

A identificação das variáveis que modelam o problema ocorreu de forma prática, por meio de visitas e filmagens, ambas realizadas com o intuito de perceber as deficiências do processo manual. Esta ação trouxe a visão da necessidade de automatizar o processo, para evitar o retrabalho e garantir a segurança dos operadores. Assim, pode-se apontar as alternativas possíveis. A *A* e a *B* demonstraram-se resistentes quanto ao envio de informações adicionais sem o envio das peças. Por outro lado, a *C* disponibilizou um orçamento embasado no processo dissertado.

A simplicidade e flexibilidade das modelagens matemáticas propostas por Saaty permitiram ajustar uma decisão contendo critérios tangíveis e intangíveis, mais precisamente, parâmetros de natureza econômica e qualitativa foram considerados simultaneamente na análise. Esse fato torna o AHP ferramenta chave quando o processo decisório necessita quantificar critérios intangíveis.

A construção do questionário trouxe motivação para trabalhos futuros, pois identificou-se a necessidade de um modelo com interface amigável, o grande número de comparações pareadas exige uma construção simples para evitar a fadiga e o equívoco por parte de quem replica.

Com a aplicação do método de maneira prática, sabe-se que é indicada a explicação do cenário aos intervenientes, sem a necessidade de detalhes técnicos, como matrizes e cálculos matemáticos, esses detalhes dificultam a compreensão e levam a perda de relevância. Outro ponto positivo da prática, foi a percepção da importância da agilidade, mostrar esboços e resultados rápidos despertam o interesse dos envolvidos, tornando-os mais participativos, o que é relevante quando se considera que os julgamentos propostos por eles fazem parte da análise.

Outro aspecto importante agregado por meio da aplicação foi a habilidade para lidar com as adversidades diárias enfrentadas pelas organizações, como, prazos, troca de participantes durante o processo, engajamento dos envolvidos, introdução de uma nova ferramenta, entre outros. Vale lembrar que, os obstáculos tendem a agravar em um cenário que sofre com a crise econômica atual.

Após a aplicação do método ser finalizada foi possível, por meio da análise dos dados, indicar a *A* como uma empresa fornecedora apta a atender as necessidades qualitativas da organização. Esta apresenta vantagens competitivas no quesito benefício em quase todos os critérios. Sob outro ponto de vista, percebe-se que a empresa *B* apresenta um valor numérico em relação ao benefício aproximado da primeira opção, assim, pode-se considerar essa opção e confrontar as duas possibilidades por meio da melhor proposta financeira oferecida. Esta ação traz possibilidades de negociação durante o processo de aquisição.

Para realização do trabalho, com o intuito de expandir as possibilidades, as modelagens matemáticas foram desenvolvidas em dois softwares, o *Priest* e o *Excel*. A escolha se mostrou útil, pois o primeiro apresentou a questão de forma gráfica, e o segundo viabilizou o entendimento da parte numérica.

Por fim, para avaliar sob outro aspecto a escolha, os gráficos da análise de sensibilidade foram construídos e facilitaram a aprovação do resultado, já que não demonstraram grandes oscilações.

De modo geral, pode-se dizer que a tratativa obteve sucesso, pois trouxe resultados robustos e beneficiou as partes envolvidas, a organização e o grupo de pesquisa da universidade onde foi realizado o projeto.

Referências

- CASAROTTO FILHO, N; KOPITTKE, H. B. (2010). Análise de Investimentos. São Paulo.
- CHAN, F. T. S; CHAN, H. K. (2004). Development of the supplier selection model - a case study in the advanced technology industry. *Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers*, 218, p. 1807-1824.
- COSTA, H. G. (2002). Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão. Rio de Janeiro: Niterói.
- DIESTE, J.A.; FERNÁNDEZ, A.; ROBA, D.; GONZALVO, B.; LUCAS, P. (2013). Automatic grinding and polishing using Spherical Robot. *The Manufacturing Engineering Society International Conference*, Zaragoza, Espanha.
- ESCHENBACH, T. G. (1999). Spiderplots versus Tornado diagrams for Sensitivity Analysis; Interfaces.
- GONÇALVES, R. (2003). O nó econômico. Rio de Janeiro: Record.
- KALPAKJIAN, S. (2006) Manufacturing engineering and technology. *Pearson Education*. India, 2006.
- KATAYAMA, K.; KOSHIISHI, T.; NARIHISA, H. (2005) Reinforcement Learning Agents with Primary Knowledge Designed by Analytic Hierarchy Process. Okayama: Okayama University of Science, 2005.
- KOU, G; ERGU, D; PENG, Y e SHI, Y. (2013) Data Processing for the AHP/ANP. Library of

Congress Control Number: 2012944253. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

LOUREIRO, J. F.; FREITAS, R. R.; GONÇALVES, W. (2015) **Proposta de um método de localização para expansão de um terminal portuário por meio do Analytic Hierarchy Process (AHP)**. *Espacios*. Vol. 36 (Nº10) Pg. 7.

OLIVEIRA, D de P. R. de. (2004) Sistemas de informações gerenciais: estratégicas, táticas e operacionais. 9. ed. São Paulo: Atlas.

PAMPLONA, E. O. (1999) Avaliação qualitativa de cost drivers pelo método AHP. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá.

REIS, P. L.; LADEIRA, B. M; FERNADES M. J. (2013) Contribuição do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para auxílio ao processo decisório de terceirizar ou internalizar atividades no contexto de uma empresa de base tecnológica. *Revista Produção Online*. Minas Gerais.

ROSWELL A.; FENGFENG, X.; GUANHJUN, L. (2005) Modelling and analysis of contact stress for automated polishing. Toronto, Ontario, Canada.

SAATY, T. L. (1990) **How to make a decision: the analytic hierarchy process**. *European Journal*, North Holland, n. 9, p. 9-26.

SAATY, T. L. (1994) Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP. *RWS Publications*, Pittsburgh, PA, U.S.A.

SAATY, T L. (2001) The Seven Pillars of the Analytic Hierarchy Process. In: Köksalan, Murat; Zionts, Stanley. *Multiple Criteria Decision Making in the New Millennium*. E.U.A. Springer.

SCARPIN, J. E.; ROCHA, W. (2000) Target Costing: abordagem conceitual e histórica. *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*.

SCHMIDT, A. M. A. (1995) Processo de apoio à tomada de decisão abordagens: AHP e Macbeth. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

SENA, L. A. (2007) Uma aplicação de análise de decisão com o método AHP – processo de hierarquia analítica: um estudo sobre adoção de sistema eletrônico de cobrança no transporte público urbano. Rio Grande do Norte, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção).

SILVA SOUZA, M. G.; SILVA, O. C.; MELO, D. R. A.; BOGO, S. E. S. (2016) **Utilização da Técnica de Análise Hierárquica de Processo (AHP) para a Escolha de um Sistema de Help Desk**. *Espacios*. Vol. 37 (Nº16) Pg. 13.

SUDIANA, I. P. (2010) How effective is cost-benefit analysis in assisting decision making by public sector managers? Case studies of two Australian departments. Canberra.

TRAVESSINI, R.; RODRIGUES, T.; BRAGHINI, A.; COLMENERO, J. C.; BEINLICH, S.; ZOCHE, L. (2015) Seleção de ideias na indústria de móveis com o auxílio do método Analytic Hierarchy Process. *Espacios*. Vol. 36 (Nº9) Pg. 2.

ZOPOUNIDIS, C.; PARDALOS, P. (2010) *Handbook of multicriteria analysis*. Springer Science & Business Media.

-
1. Engenheira de Produção Universidade de Caxias do Sul ffontanive@ucs.br
 2. Prof. Dr. em Engenharia Mecânica Universidade de Caxias do Sul llcorso@ucs.br
 3. Prof. Dr. em Engenharia Mecânica Universidade de Caxias do Sul rpzeilma@ucs.br
 4. Ms. em Engenharia Mecânica Universidade de Caxias do Sul rbiasin@ucs.br
-

