

MÉTODOS MULTICRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÃO: ESTUDO EMPÍRICO EM UMA INDÚSTRIA DE CARVÃO ATIVADO

DOS SANTOS, Celso Ferreira ¹
MATOS, Camila ²

RESUMO

A importância de um planejamento e controle da produção para a indústria gera um aperfeiçoamento diário no processo de tomada de decisões. Contudo, ressalta-se a importância de que o gestor realize pesquisas de aperfeiçoamento na área de controle de estoques e produção. Para preencher essa lacuna, este estudo tem como objetivo elaborar a melhor combinação de composição de matéria prima que formula o produto destinado as estações de tratamento de água da empresa em estudo, sendo diretamente voltado para a tomada de decisão. Como aplicação empírico, o estudo de caso foi realizado em uma indústria de carvão ativado situada no centro oeste do Paraná. Outrossim, empregou-se o método multicritério para tomada de decisão, especificamente, Análise de Processo Hierárquico, este avalia critérios em relação a produção do produto fornecido as estações de tratamento de água. Por fim, no que tange a matéria prima utilizada, os critérios de escolha que podem ser alterados com tal método, elencaram-se qual seria o melhor critério de decisão a ser tomada.

Palavras-chave: Carvão ativado. Multicritério para tomada de decisão. Estações de Tratamento de Água.

ABSTRACT

Production, planning, and control importance for the industry generates a daily improvement in decision-making process. However, it is emphasized that the manager researches improvement in the area of inventory control and production. To fill this gap, this study aims to develop the best combination of raw material composition that formulates the product destined for the company's water treatment plants under study, being directly focused on decision-making. As an empirical application, the case study was carried out in an activated carbon industry located in the west of Paraná. Furthermore, the multicriteria method for decision making was used, specifically, Hierarchical Process Analysis, which evaluates criteria concerning the production of the product supplied to water treatment plants. Finally, the selection criteria that can be changed with such a method listed the best decision criteria for the raw material used.

Keywords: Activated carbon, multicriteria decision-making, water treatment plants.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Campo Real, Guarapuava – PR, Brasil. eng-celsosantos@camporeal.edu.br

² Mestre em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Engenheira de Produção - Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), Docente orientadora do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Campo Real, Guarapuava – PR, Brasil. prof_camilamatos@camporeal.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O processo de tomada de decisão no Planejamento e Controle da Produção (PCP) suporta o uso da melhor matéria-prima para manufatura, sendo de suma importância para a indústria como um todo (BRANDÃO et al., 2017). Na qual, ao ocorrer uma escolha indevida de matéria-prima, pode resultar em desperdícios na produção e gerar retrabalho, resultando em custos adicionais a indústria. Assim, é importante que esteja inserido um sistema que ao realizar a programação de produção adicionando as matérias primas que serão utilizadas, o próprio sistema será efetuado e aprovar tal programação tal fato gera uma perspectiva para a busca de ferramentas para ajudar na decisão e realizar de forma correta a programação de produção (HORDONES, CAMARGO e FUCHIGAMI, 2016).

O engenheiro de produção, que atua como programador de produção, está suscetível a ocorrência de problemas que precisam ser resolvidos no mesmo momento (GUIMARÃES, MARTINS e ARRUDA, 2017). Com o desenvolvimento da tecnologia, há a necessidade de estar inserido na globalização e verificar o crescimento contínuo dos processos em evolução, tanto na parte produtiva como econômica que envolve o preço final do produto. Outrossim, o engenheiro de produção deverá tomar decisões com um posicionamento no âmbito científico (EXLER et al., 2010).

O processo de tomada de decisão revela-se sendo uma atividade complexa, na qual, cada ideia colocada em prática para a fabricação de um produto pode gerar gastos desnecessários. Não obstante, em vez de minimizar o custo do produto, elevaria os custos do produto final, tendo como objetivo do setor da produção, minimizar os gastos em relação a matéria prima e maximizar custos-benefícios (PESSÔA, 2016). As melhoras desenvolvidas são encontradas em diversos setores e aplicações, sendo necessário utilizar metodologias multicriteriais para tomada de decisão em estudos empíricos.

O carvão ativado (CA) é um material carbonáceo ativado fisicamente com grande capacidade de adsorção de substâncias indesejáveis devido a sua área superficial (SARAWAN et al., 2019). Este material pode ser produzido a partir de qualquer material carbonáceo como madeira de reflorestamento ou casca de coco. A ativação é um processo físico na qual o carvão já carbonizado passa por um forno de ativação com temperaturas de 800 °C a 1000 °C com a injeção de vapores de água para a abertura dos poros do carvão (NOBRE, 2017). O CA é um material coadjuvante no processo produtivo pois ele entra no processo de clarificação, sendo um material adsorvente retirando as impurezas retirando o gosto e o odor, é um coadjuvante que participa do processo, mas no produto final não há

requisitos de carvão ativado é um produto bastante utilizado nas indústrias químicas, alimentícias, farmacêuticas e estação de tratamento de água (NOBRE, 2017).

O saneamento básico é o conjunto de medidas que visa preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população (BATISTA, 2012; DE PAULA FERREIRA e GARCIA, 2017). No Brasil, o Saneamento básico é um direito assegurado pela constituição e definido pela Lei nº 11.445/2007 como um conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água e estação de tratamento de água, estas utilizam carvão ativado em seu processo para a retirada do gosto, odor, compostos orgânicos como algas e substâncias que diminuem a qualidade da água.

Para dar suporte a melhorias no setor e no produto supracitado, pode ser utilizado o método de multicritério para tomada de decisão, do inglês *MultiCriteria Decision-Making*—MCDM (D'AMORE-DOMENECH, SANTIAGO e LEO, 2020), sendo abrangente em todos os aspectos produtivos na qual será utilizado para a seleção de matéria-prima para a fabricação do produto em relação a custos, composição e qualidade. Um dos principais métodos que está inserido dentro do contexto do multicritério e o mais utilizado é o processo hierárquico analítico, do inglês *Analytic Hierarchy Process*—AHP (PESSÔA, 2016).

Seguindo o supracitado, este estudo tem como objetivo elaborar a melhor combinação de composição de matéria prima que formula o produto destinado as estações de tratamento de água da empresa em estudo, sendo diretamente voltado para a tomada de decisão. Além disso, este estudo possui uma díade de contribuições, como teórica está o levantamento de artigos científicos sobre as temáticas estudadas e suas discussões. Por outro lado, como contribuição prática está a aplicação do estudo de caso de forma empírica, e seus atributos que suportam os tomadores de decisão do setor.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. MULTICRITÉRIO DE DECISÃO

O sistema de PCP desenvolve um importante trabalho à frente da indústria há uma necessidade de buscar de melhoria no seu processo de produção e estoques, com a decisão a ser tomada frequentemente, neste cenário decisório mostra um caminho a ser tomado que é o método multicritério, do inglês *Multicriteria Decision Making*—MCDM e o auxílio multicritério a decisão, do inglês *Multicriteria Decision Aid*—AMD, na qual, o AMD é voltada para a tomada de decisão em otimizar, a aplicação deste método que o modelo apresentado seja abrangente para validar suas

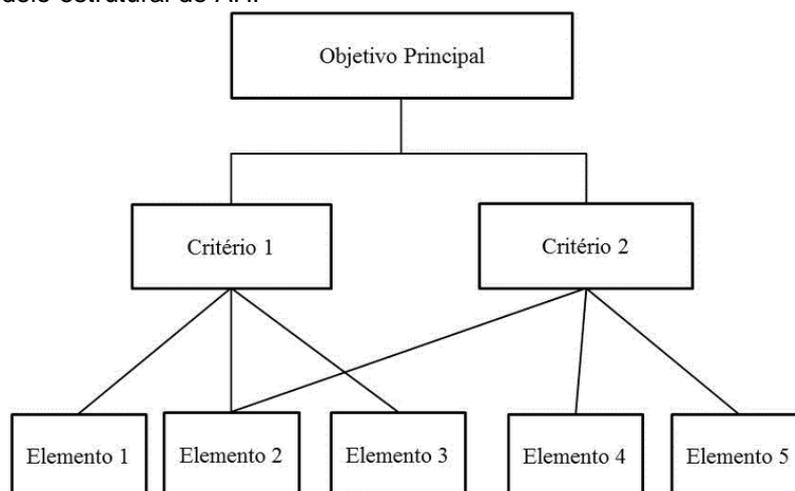
decisões (RODRIGUES et al., 2013). Para Leite e Freitas (2012), ao se tratar da metodologia AMD existem diversas vertentes e fontes de pesquisa, porém as principais linhas de estudo são a Escola Americana e a Escola Francesa, as quais são representadas, fundamentalmente, pelos métodos: *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Elimination and Choice Expressing Reality* (ELECTRE) e *Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE).

O método AMD auxílio multicritério de decisão é uma importante ferramenta para a tomada de decisão em diversos setores industriais, a complexidade de tomar uma de decidir envolve muitos fatores que interferem no produto final a ser produzido e tais decisões é uma busca para custo benefício para a indústria e muitas das vezes é uma decisão intuitiva, um dos principais e mais utilizados métodos é o AHP, sendo considerado um processo hierárquico analítico que suporte os tomadores de decisão (GOMES e GOMES, 2019).

2.2. MODELO AHP

O método AHP é considerada a melhor opção para gestor utilizar em seu trabalho diário (WANG et al., 2020). Outrossim, processos que necessitam de estudos que levantem critérios para tal decisão final, porém, como identificar esses critérios e quais as melhores estratégias para solucioná-los, geralmente onde há vários critérios de decisão envolvidos (LEITE e FREITAS, 2012). A Figura 1 apresenta o modelo de estrutural do método AHP.

Figura 1 - Modelo estrutural de AHP



Fonte: Adaptado de Kummer et al. (2016)

Para Gomes & Gomes (2019), a atribuição de pesos aos critérios no método AHP, criado por Saaty (1980), é baseada na comparação paritária dos critérios considerados. Isso é feito através das seguintes questões: i. Qual destes critérios é o mais importante?; e, ii. Quanto este critério é mais importante que o outro?. Para responder essas questões, o método AHP baseia-se no comprometimento de tomar a decisão entre circunstâncias e verificar a condição de tal escolha, julgar os elementos da cadeia de suprimentos assim criando a matriz de julgamento A (MENDONÇA, 2015)., com o uso de escalas conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Escala numérica de Saaty

Escala numérica	Escala verbal	Explicação
1	Ambos os elementos são de igual importância	Ambos os elementos contribuem com a propriedade de igual forma
3	Moderada importância de um elemento sobre outro	A experiência e opinião favorecem um elemento sobre o outro
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é fortemente favorecido
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro
9	Extrema importância de elemento sobre outro	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre opiniões adjacentes	Usado como valores de consenso entre opiniões.

Fonte: Adaptado de Mendonça (2015)

Desta forma será gerado uma serie de matrizes quadradas positivas, denominadas matrizes dominantes, que expressam o número de vezes em que uma alternativa domina a outra que é dominada, na comparação par a par. A quantidade de julgamento necessário para a construção de uma matriz genérica A é de $n(n-1)/2$, onde n é o número de elementos pertencentes a esta matriz (DE MENDONÇA, 2015).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde: $a_{ij} > 0 \longrightarrow$ positiva;

$$a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1;$$

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \longrightarrow \text{recíproca}$$

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \longrightarrow \text{consistência.}$$

Para Martins e Barros (2009), o método AHP foi desenvolvido para a calcular a Razão de consistência dos julgamentos, denotada por $RC = IC/IR$, na qual, IR é o Índice de Consistência Randômico, obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não-negativos e gerada randomicamente. O Índice de Consistência (IC) é dado por $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1)$, onde $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos. Segundo Saaty (2000), a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$. As Equações 2 e 3 fornecem os resultados da consistência.

$$RC = \frac{(\mu_{\text{máx}} - \frac{n}{n-1})}{RI} \quad (2)$$

$$\mu_{\text{máx}} = \frac{1}{n * \sum w_n} \quad (3)$$

Onde:

$\mu_{\text{máx}}$ – é o índice que relaciona os critérios da matriz de consistência e os pesos dos critérios

n – Numero de critérios

RI – índice tabelado em Função de n .

Após realizar os procedimentos de matrizes o resultado de RC encontrado facilitará a tomada de decisão, e com este resultado, o PCP realizara estudo para a verificação dos resultados encontrados. Leite & Freitas (2012) relatam existir três tipos de prioridades têm de ser calculadas: i. Prioridades dos critérios (Importância de cada critério em relação ao objetivo principal); ii. Prioridade alternativa locais (Importância de uma alternativa em relação ao critério específico); e, Prioridades alternativas

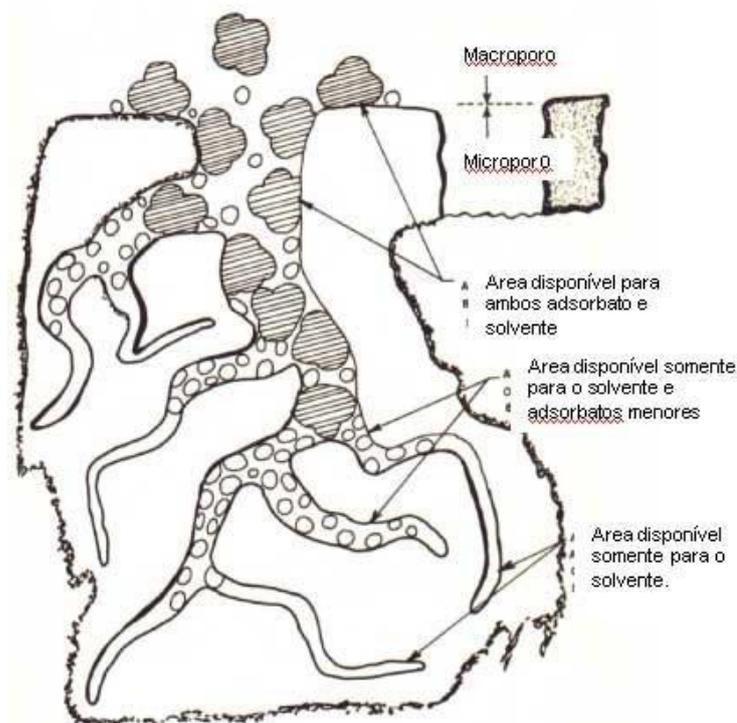
globais (os critérios de prioridade e as prioridades alternativas locais são resultados intermediários utilizados para calcular as prioridades alternativas globais, na qual, as prioridades alternativas globais classificam as alternativas em relação a todos os critérios e, conseqüentemente, ao objetivo global).

2.3. CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado (CA) é um material carbonáceo, produzido a partir de madeiras de reflorestamento e casca de coco, possuindo uma estrutura porosa que é ativado fisicamente, além de ser utilizado em indústrias químicas, alimentícias e principalmente nas companhias de saneamento básico que utilizam carvão ativado em um dos seus processos que auxilia no tratamento de purificação da água (ARAUJO, 2017). Mesmo assim, Nobre (2017) corrobora que o CA gera muito interesse em diversos setores econômicos e relaciona-se a muitas indústrias, tais como as de processamento de alimentos, farmacêuticas, química, petróleo e automobilística, entre outras. Pode ser amplamente utilizado como adsorvente na purificação de líquidos e gases, na remoção de compostos orgânicos e metais e como catalisador e suporte para catalisador

O carvão utilizado para as estações de tratamento de água o processo é em bateladas, ou seja, o carvão será utilizado apenas uma vez. A Figura 2 apresenta a estrutura do carvão ativado divididos em macroporos e microporos, na qual, as impurezas serão retidas, o carvão é um coadjuvante no processo industrial, ele participa do processo, mas não se agrega no produto (ALPHACARBO, 2020).

Figura 2 - Estrutura interna de um carvão ativado



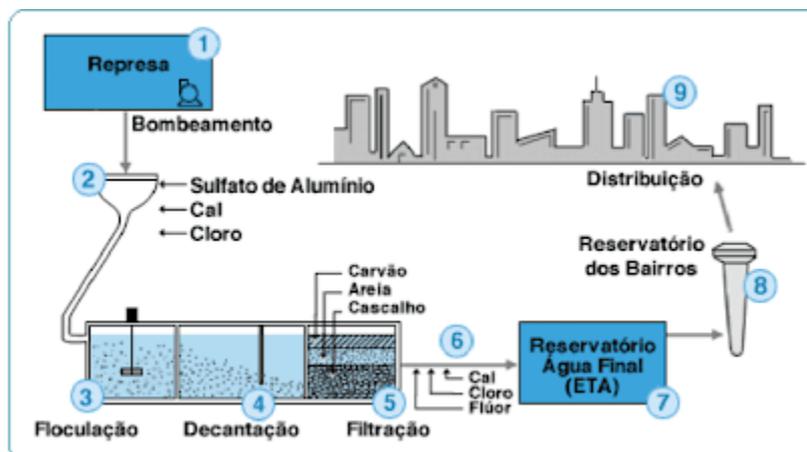
Fonte: Alphacarbo (2020)

O CA pode ser comercializado tanto como carvão ativado pulverizado em pó como na forma granular, este é utilizado por indústrias que utilizem filtro fixo, suportando diversos usos. As estações de tratamento de água utilizam o CA pulverizado, devido a sua porosidade, que ajuda a reter todos os tipos de interferências que podem alterar o gosto ou odor da água (ALPHACARBO, 2020). A Figura 3 apresenta o funcionamento, e ainda, o estudo desenvolvido pela sanepar (2020) apresenta as etapas do tratamento de água:

- 1º etapa – Captação: A água é retirada de mananciais e reservatórios hídricos;
- 2º etapa – Adução: Transporte da água do manancial até as ETAs (Estações de tratamento de água);
- 3º Etapa Coagulação: Nessas águas que serão tratadas existem impurezas cujas partículas são pequenas, elas não se sedimentam (não se depositam no fundo do recipiente) sob a ação da gravidade. Por isso, é necessário acrescentar à água coagulantes químicos. Geralmente, aqui no Brasil, o coagulante utilizado é o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$). Esse produto favorece a união das partículas e impurezas da água, facilitando a remoção na decantação;

- 4º Etapa – Floculação: A água é agitada fortemente por cerca de 30 segundos por um agitador mecânico, com a finalidade de aumentar a dispersão do coagulante. Depois o sistema é agitado lentamente, permitindo o contato entre as partículas. Etapa na qual a água é submetida à agitação mecânica, para que as impurezas formem flocos maiores e mais pesados;
- 5º Etapa – Decantação: Decantação é basicamente o ato de separar, por meio da gravidade, os sólidos sedimentáveis que estão contidos em uma solução líquida. Os sólidos sedimentam no fundo do decantador de onde acabam sendo removidos como lodo, enquanto o efluente, livre dos sólidos, decanta pelo vertedouro;
- 6º etapa – Filtragem: A água decantada é encaminhada às unidades filtrantes onde é efetuado o processo de filtração. Consiste em passar a água através de Filtros formados por camadas de areia grossa, areia fina, cascalho, pedregulho e carvão, capazes de reter os flocos que passam sem decantar-se, ou outras impurezas;
- 7º Etapa – Desinfecção: É feita uma última adição de cloro no líquido antes de sua saída da Estação de Tratamento. Ela garante que a água fornecida chegue isenta de bactérias e vírus até a casa do consumidor. Água recebe adição de cloro, flúor e controle do PH; e,
- 8º Etapa – Reservação: A água é armazenada em reservatórios, com duas finalidades: Manter a regularidade do abastecimento e atender às demandas excessivas, como as que ocorrem nos períodos de calor intenso ou quando, durante o dia, usa-se muita água ao mesmo tempo.

Figura 3 - Fluxograma do processo de tratamento da água



Fonte: SABESP (2020)

Para o tratamento de águas municipais apresenta as especificações normatizadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), disposta na NBR 15784:2009 (Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano – Efeitos à Saúde – Requisitos), possuindo especificações técnicas deste produto destinado as estações de tratamento de água, sendo apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Especificação técnica do carvão utilizado na estação de tratamento de água

Produto	Iodo, mg/g, min.	Umidade, %	Granulometria, % Pas. # 325 Mesh, min.	Cinzas, %	PH
Alpha W 710 Umectado	700	28 - 32	90	12	Alcalino

Fonte: ALPHACARBO (2020)

Segundo as normas da ABNT o número de iodo é um relativo indicador da porosidade do CA, como o método não indica necessariamente a capacidade de adsorção de outras espécies, para alguns tipos de carvões ativados o número de iodo pode ser usado como uma aproximação da área superficial. Contudo esta informação não pode ser generalizada, pois existem muitas variáveis como a matéria-prima, as condições do processo e a distribuição de volume de poros. O número de iodo é expresso em miligramas de iodo por grama de carvão ativado (mg/g).

3. METODOLOGIA

Este estudo utiliza uma abordagem de *mixed-method* (VENKATESH, 2013), por ser qualitativa na discussão dos resultados e quantitativa por mensurar informações do estudo empírico. As informações de estudos quantitativos podem ser traduzidas em números para classificá-las e analisá-las, requer o uso de técnicas estatísticas. Os dados foram levantados em uma indústria de carvão ativado em relação a matéria prima e produção com auxílio de planilhas e especificação técnica do produto. Essa coleta foi realizada através de entrevistas semiestruturadas com os responsáveis pela empresa (AAKER, KUMAR e DAY, 2008).

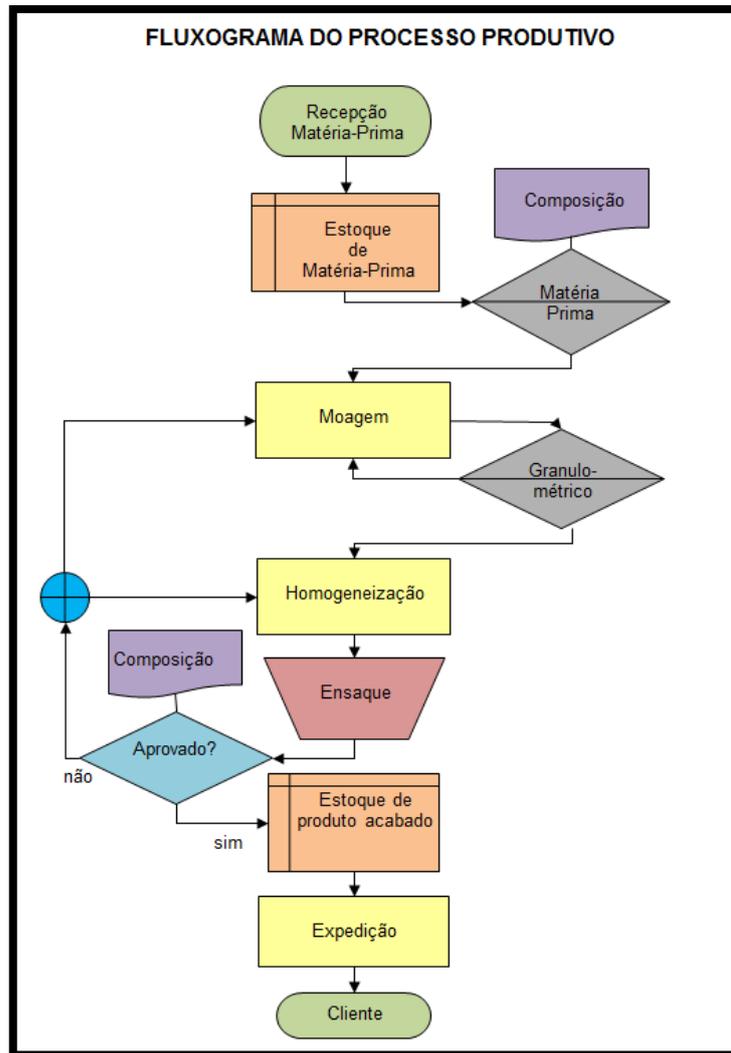
Após a coleta de dados foi estruturado matrizes quadráticas com o objetivo de calcular as possibilidades e quantidades de matérias primas está disponível para

o PCP, na qual, o método utilizado foi o AHP, este demonstrou qual é o sentido para a montagem de uma programação de produção levando em consideração os materiais disponíveis e custo total da produção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo foi realizado na empresa Alphacarbo Industrial LTDA do período de 10 de agosto a 30 de outubro, na qual verificou-se as atividades na área de produção, controle de estoques de análises laboratoriais do carvão ativado. A AlphaCarbo Industrial LTDA é uma empresa especializada na produção e comercialização de carvões ativados utilizados principalmente em sistemas de tratamento de águas municipais, águas residuais, indústrias alimentícias e de bebidas, farmacêuticas e químicas. A empresa iniciou suas atividades em novembro de 2005 e vem se destacando no mercado pelo compromisso e seriedade no atendimento aos seus clientes, buscando a adequação às necessidades de cada cliente em produtos de qualidade, agilidade e excelência em assistência técnica e preços competitivos. O processo em que foi realizado o estudo é o processo do carvão ALPHA WU 710 e pode ser visualizado na Figura 4.

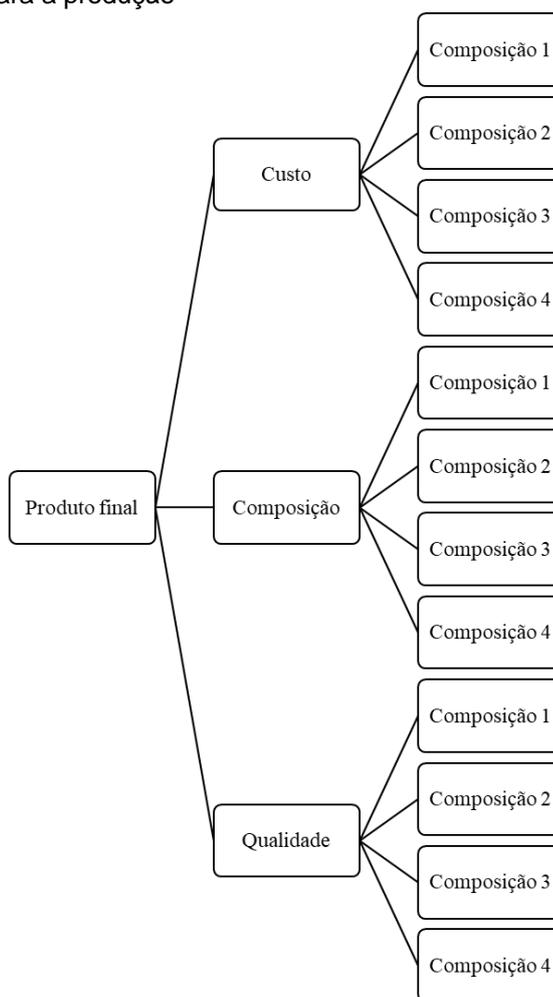
Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo



Fonte: ALPHACARBO (2020).

O processo se inicia com a chegada da matéria prima, após o desembarque da matéria prima, ocorre a análise e cada matéria prima é uma qualidade diferente em relação ao número de iodo que será identificado se tal matéria prima pode ser utilizada para fazer o produto destinado a ETAs ou para fazer outro produto. Com o resultado das análises do PCP, a matéria-prima é colocada em produção e após essa ordem, o encarregado de moagem verifica a composição e inicia se a produção. O diagrama a seguir (Figura 5) mostra a estrutura seguindo uma hierarquia onde no topo é o objetivo da decisão no segundo nível os critérios a serem avaliados e no terceiro nível as alternativas disponíveis. Portanto, o objetivo do estudo que é o produto final, com os seguintes critérios que são qualidade, custo e composição e as alternativas que são as composições.

Figura 5 - Estrutura AHP para a produção



Fonte: autores (2020)

Foi realizado um levantamento de todas as matérias primas disponíveis para o PCP e o preço de compra que cada uma corresponde e a qualidade correspondente de cada matéria prima, na qual, a Tabela 3 apresenta todos esses dados.

Tabela 3 - Matérias-primas com a respectiva qualidade e preços correspondentes

Matéria-prima	Preço	Qualidade
X	R\$ 2,80	720 mg/g
Y	R\$ 3,00	750 mg/g
Z	R\$ 2,45	650 mg/g
W	R\$ 0,90	300 mg/g

Fonte: autores (2020)

Com os dados das matérias primas, foi realizado a composição para a produção de 1000 kg do produto destinado as estações de tratamento de água contendo os custos totais, conforme apresentado na Tabela 4. A primeira composição é a composição que a indústria utiliza atualmente. Foi realizado apenas o custo da matéria prima, não foi calculado o custo da energia elétrica, custo da mão de obra, custos adicionais, apenas somente da matéria prima para a realização da produção do produto.

Tabela 4 - Composição para a fabricação de 1000 kg de produto

Composição 1 para 1000 kg de produto					
Matéria-prima	Custo	Qualidade	Quantidade	Custo total	Tempo de fabricação
X	R\$ 2,80	720 mg/ g	360	R\$ 1.008,00	1 hora e 45 min
Y	R\$ 3,00	750 mg/ g	180	R\$ 540,00	
Z	R\$ 2,45	650 mg/ g	0	R\$ -	
W	R\$ 0,90	300 mg/ g	160	R\$ 448,00	
Água	R\$ 0,01	NA	300	R\$ 2,58	
Total			1000	R\$ 1.998,58	
Qualidade final 702,04 mg/g					

Fonte: autores (2020)

Pode ser observado na Tabela 4 mostra os dados para a fabricação de 1000 kg de carvão ativado WU 710, na qual, o custo total em matéria prima foi de R\$ 1.998,58 e o tempo utilizado para tal processo que levou 1 hora e 15 min. A Tabela 5 apresenta a composição 2.

Tabela 5 - Composição para a fabricação de 1000 kg de produto

Composição 2 para 1000 kg de produto					
Matéria prima	Custo	Qualidade	quantidade	Custo total	Tempo de fabricação
X	R\$ 2,80	720 mg/ g	300	R\$ 840,00	2 horas
Y	R\$ 3,00	750 mg/ g	0	R\$ -	
Z	R\$ 2,45	650 mg/ g	300	R\$ 840,00	
W	R\$ 0,90	300 mg/ g	100	R\$ 280,00	
Água	R\$ 0,01	NA	300	R\$ 2,58	
Total: Quantidade/Custo			1000	R\$ 1.962,58	
Qualidade final 705,15 mg/g					

Fonte: autores (2020)

Pode ser observado na Tabela 5 mostra os dados para a fabricação de 1000 kg de carvão ativado WU 710, onde o custo total em matéria prima foi de R\$ 1.962,58 e o tempo utilizado para tal processo que levou 2 horas. Na sequência, a Tabela 6 apresenta a composição 3.

Tabela 6 - Composição para a fabricação de 1000 kg de produto

Composição 3 para 1000 kg de produto					
Materia prima	Custo	Qualidade	quantidade	custo total	tempo de fabricação
X	R\$ 2,80	720 mg/ g	0	R\$ -	1 hora e 15 min
Y	R\$ 3,00	750 mg/ g	360	R\$ 1.080,00	
Z	R\$ 2,45	650 mg/ g	180	R\$ 504,00	
W	R\$ 0,90	300 mg/ g	160	R\$ 448,00	
Água	R\$ 0,01	NA	300	R\$ 2,58	
Total: Quantidade/Custo			1000	R\$ 2.034,58	
Qualidade final 714,11 mg/g					

Fonte: autores (2020)

Pode ser observado na Tabela 6 que os dados para a fabricação de 1000 kg de carvão ativado WU 710, resultou no custo total em matéria prima de R\$ 2.034,58 e o tempo utilizado para tal processo levou 1 hora e 15 minutos. Por fim, a Tabela 7 apresenta a composição 4.

Tabela 7 - Composição para a fabricação de 1000 kg de produto

Composição 4 para 1000 kg de produto					
Materia prima	Custo	Qualidade	Quantidade	Custo total	Tempo de fabricação
X	R\$ 2,80	720 mg/ g	310	R\$ 868,00	1 hora e 30 min
Y	R\$ 3,00	750 mg/ g	390	R\$ 1.170,00	
Z	R\$ 2,45	650 mg/ g		R\$ -	
W	R\$ 0,90	300 mg/ g	0	R\$ -	
Água	R\$ 0,01	NA	300	R\$ 2,58	
Total: Quantidade/Custo			1000	R\$ 2.040,58	
Qualidade final 730,65 mg/g					

Fonte: autores (2020)

A Tabela 7 mostra os dados para a fabricação de 1000 kg de carvão ativado WU 710, onde o custo total em matéria prima foi de R\$ 2.040,58 e o tempo utilizado para tal processo que levou 1 hora e 30 minutos.

Não obstante, após o levantamento das 4 possibilidades de composição de matérias primas para a produção do carvão ativado Alpha Wu 710, foi realizado o cálculo do método AHP como um processo hierárquico analítico, o qual contém em sua estrutura inicial o problema de decisão as prioridades são calculadas com base nas comparações de pares. A Tabela 8 apresenta a elaboração da matriz de comparação par a par para os critérios, em que houve o cálculo no Excel com a matriz normalizada podemos obter o vetor de prioridades dos critérios. Agora temos uma escala dos critérios, sabemos que o critério qualidade é mais importante com (0,511 ou 51 % da importância total) seguido com o critério composição com (0,389 ou 39 % da importância total) seguido com o critério custo (0,100 ou 10 % da importância total). Os critérios foram atribuídos pela empresa.

Tabela 8 - Cálculo das prioridades de critérios

Cálculo das prioridades de critérios				
Produto final	Custo	Composição	Qualidade	Prioridades
Custo	1	1/3	1/7	0,100
Composição	3	1	1	0,389
Qualidade	7	1	1	0,511

Fonte: autores (2020)

A Tabela 8 mostra a elaboração da matriz de razão de consistência, na qual, uma vez realizadas as comparações par a par, é preciso verificar se os julgamentos são consistentes o método AHP calcula uma razão de consistência (CR) comparando o índice de consistência (CI) da matriz com os nossos julgamentos, com o índice de consistência de uma matriz tipo aleatória (RI), conforme suportado por Mendonça (2015). A Tabela 9 fornece o valor calculado do RI para matrizes de diferentes tamanhos.

Tabela 9 - Cálculo da razão de consistência

Calculo de razão de consistência (CR)				
produto final	Custo	Composição	Qualidade	prioridades
Custo	1	1/3	1/7	0,100
Composição	3	1	1	0,389
Qualidade	7	1	1	0,511
Razão de Consistência (CR)				0,070

Fonte: autores (2020)

A Tabela 9 mostra um resultado de 0,070 de razão de consistência onde este resultado fosse superior a 0,1 seria necessário reavaliar o processo. Por outro lado, a Tabela 10 mostra a escala Saaty, a qual, pela matriz ser 3x3, possui 3 critérios sendo comparados par a par, logo a inconsistência máxima permitida seguindo a escala saaty vai ser 0,58. O Índice de Consistência (IC) é dado por $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n - 1)$, onde $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos. Segundo Saaty (2000) a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$.

Tabela 10 - Escala de Saaty

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (2012)

Na sequência, na Tabela 11, consta as matrizes de julgamento referente a custo, composição e qualidade.

Tabela 11 - Matriz de julgamento com o cálculo de razão de consistência em relação a Custo

Custo	Composição 1	Composição 2	Composição 3	Composição 4	Prioridades
Composição 1	1	1/3	1/5	1/9	0,052
Composição 2	3	1	1/3	1/3	0,141
Composição 3	5	3	1	1/3	0,274
Composição 4	9	3	3	1	0,533
		C.R			0,043

Fonte: autores (2020)

A Tabela 11 demonstrou a matriz de julgamento com o cálculo da razão referente a custo, a qual, apresentou o valor de 0,043, onde este resultado fosse superior a 0,1 seria necessário reavaliar o processo. A Tabela 12, por sua vez, apresenta a matriz de julgamento em relação a composição.

Tabela 12 - Matriz de julgamento com o cálculo de razão de consistência em relação a composição

Composição	Composição 1	Composição 2	Composição 3	composição 4	prioridades
Composição 1	1	1	5	7	0,455
Composição 2	1	1	3	5	0,370
Composição 3	1/5	1/3	1	1	0,097
Composição 4	1/7	1/5	1	1	0,078
		C.R			0,017

Fonte: autores (2020)

A Tabela 12 mostra a matriz de julgamento com o cálculo da razão referente a composição, em que apresentou o valor de 0,017 onde este resultado fosse superior a 0,1 seria necessário reavaliar o processo. Por outro lado, a Tabela 13 mostra a matriz de julgamento com o cálculo da razão referente a qualidade.

Tabela 13 - Matriz de julgamento com o cálculo de razão de consistência em relação a qualidade

Qualidade	Composição 1	Composição 2	Composição 3	composição 4	prioridades
Composição 1	1	1/3	3	7	0,307
Composição 2	3	1	3	6	0,494
Composição 3	1/3	1/3	1	3	0,142
Composição 4	1/7	1/6	1/3	1	0,057
		C.R			0,071

Fonte: autores (2020)

A Tabela 13 mostra a matriz de julgamento com o cálculo da razão referente a qualidade onde apresentou o valor de razão de consistência de 0,071 onde este resultado fosse superior a 0,1 seria necessário reavaliar o processo. Não obstante, a Tabela 14 mostra a os resultados referente a qual composição será mais vantajoso para a indústria nos critérios qualidade, custo e composição.

Tabela 14 - Resultado final das prioridades

Produto final	Custo	Composição	Qualidade	Prioridades
Pesos dos critérios	0,1001443	0,389321789	0,511	
Composição 1	0,051906937	0,455391528	0,306519513	34%
Composição 2	0,141014929	0,369677242	0,494424849	41%
Composição 3	0,273739231	0,097093343	0,142280123	14%
Composição 4	0,533338904	0,077837887	0,056775515	11%

Fonte: autores (2020)

Atualmente, a indústria realiza em sua produção a composição 4, em que os dados para a fabricação de 1000 kg de carvão ativado WU 710, obteve o custo total em matéria prima de R\$ 2.034,58 e o tempo utilizado para tal processo levou 1 hora e 15 minutos. Mesmo assim, de acordo com as combinações das matrizes, nota-se que com 41%, a combinação que mais se mostrou eficaz foi a composição 2, em que os dados para a fabricação de 1000 kg de carvão ativado WU 710, representou um custo total de R\$ 1.962,58 e o tempo utilizado para tal processo de 2 horas. Com esta composição, o PCP pode economizar com outra matéria prima, além de haver um ganho no custo-benefício para a indústria em estudo. Sendo assim, essa composição pode ser considerada a melhor, tanto na qualidade como nos custos gerais.

Como contribuição, o estudo foi de relevante para a indústria em estudo, e sendo voltado para a tomada de decisões e levantamento de uma novo método para o uso no dia, o estudo considerou-se eficaz, onde buscou se novas ferramentas para o gestor de PCP e conseqüentemente a melhoria nas decisões com base científica em modelos matemáticos. A aplicação mostrou ser eficaz para este produto, no entanto, o modelo pode ser utilizado nos outros produtos da indústria.

O modelo de multicritério de decisão mostrou a importância de qual matéria prima será utilizada para tal produto que será destinado as estações de tratamento de água e o melhor custo-benefício para a indústria de carvão ativado. O método AHP, por sua vez, mostrou a estrutura de níveis hierárquicos no contexto de produção, matéria prima, os critérios utilizados para a escolha de formulação de ordens de produção. O critério final é a qualidade, segue com custo-benefício e composição.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo objetivou elaborar a melhor combinação de composição de matéria-prima que formula o produto destinado as estações de tratamento de água da empresa em estudo, sendo diretamente voltado para a tomada de decisão. Como aplicação empírica, o estudo de caso foi realizado em uma indústria de carvão ativado situada no centro oeste do Paraná. E ainda, como suporte, empregou-se o método multicritério para tomada de decisão, especificamente, Análise de Processo

Hierárquico, este avalia critérios em relação a produção do produto fornecido as estações de tratamento de água.

O resultado do estudo que foi realizado em uma indústria de carvão ativado em um determinado produto que é destinado as indústrias de saneamento básico que são as estações de tratamento de água, na qual, o consumo deste produto é bastante abrangente pois de certa forma é o produto mais vendido pela indústria onde se realizou o estudo.

Contudo, pode-se concluir que o objetivo do estudo foi alcançado, aprimorando a ordem de produção para o produto WU710 atingindo a minimização do custo-benefício, não deixando a qualidade do produto decair abaixo da especificação técnica. O resultado foi eficaz e mostrou como pode ser abrangente as diferentes composições para a realização do produto.

Ainda, como futuras pesquisas, sugere-se uma aplicação de um método multicritério para tomada de decisão, tanto na área de PCP como em outras áreas industriais, que podem suportar os tomadores de decisões em estratégias para melhorias de qualidade e produtividade de produtos e serviços.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela minha saúde e força para superar os momentos difíceis. A minha mãe Dolarice Ferreira dos Santos por ser essencial na minha vida e a minha família e amigos por me incentivarem a não desistir dos meus sonhos.

Agradeço a todos os funcionários da instituição de ensino Centro Universitário Campo Real por todo apoio e por proporcionaram um ambiente propício para o desenvolvimento do meu trabalho de conclusão de curso. A todos os professores, por todo os conselhos e ajuda durante os meus estudos e elaboração do meu TCC.

Quero agradecer a minha professora orientadora Camila Matos, pelo empenho dedicado ao meu projeto de pesquisa, pelo apoio e paciência ao longo da elaboração do meu projeto final. Agradeço a todos os funcionários da indústria da ALPHACARBO INDUSTRIAL LTDA por todo apoio e por proporcionaram um ambiente propício para o desenvolvimento do meu trabalho de conclusão de curso. Agradeço

em especial a indústria ALPHACARBO INDUSTRIAL LTDA por possibilitar a execução deste trabalho de conclusão de curso.

REFERÊNCIAS

AAKER, David A.; KUMAR, Vineet; DAY, George S. **Marketing research**. John Wiley & Sons, 2008.

ABNT NBR 12073 – **Determinação do Número de Iodo**, 2017.

ABNT NBR 15784:2017 **Produtos químicos utilizados no tratamento de água para consumo humano – Efeitos à Saúde – Requisitos 2017**

Alphacarbo Industrial LTDA. Disponível em <<http://alphacarbo.com.br/>> Acessado em nov/2020.

ARAUJO, Larissa Sene **Comparação do Desempenho de Carvão ativado Produzido a Partir de Diferentes Matrizes para Remoção de Microsistina** 2017. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2017.

BATISTA, Mônica. **Manual do Saneamento Básico**. Instituto trata Brasil, 2012.

BRANDÃO, André et al. Análise bibliométrica da literatura sobre métodos multicritério de auxílio à tomada de decisão aplicados a problemas de PCP. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, p. 128-140, 2017.

D'AMORE-DOMENECH, Rafael; SANTIAGO, Óscar; LEO, Teresa J. Multicriteria analysis of seawater electrolysis technologies for green hydrogen production at sea. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 133, p. 110166, 2020.

DE PAULA FERREIRA, Mateus; GARCIA, Mariana Silva Duarte. Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana. **Dignidade Re-Vista**, v. 2, n. 3, p. 12, 2017.

EXLER, Rodolfo Bello; BANDEIRA, Francisco Roque Mendes. A Utilização da Pesquisa Operacional como Ferramenta Assistente ao Processo da Tomada de Decisão Gerencial. **Revista de Administração e Contabilidade da FAT**, v. 2, n. 2, p. 59-69, 2017.

GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; GOMES, Carlos Francisco Simões, **Princípios e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério**. 6 ed Atlas, 2019 360 p). 57 – 120

GUIMARÃES, LJBL; MARTINS, Agnaldo Lopes; ARRUDA, Ana Paula Diniz. O uso de robótica educacional no ensino de lógica de programação para engenheiros de produção. In: Anais... **XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (Cobenge 2017), Joinville (Brasil)**. 2017.

HORDONES, Paulo Antônio; CAMARGO, Victor Hugo; FUCHIGAMI, Hélio Yochihiro. Programação da produção em flow shop permutacional envolvendo medidas de atraso: uma contribuição bibliométrica. **XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Anais... Vitória, ES, 2016.

SABESP. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>> Acesso em nov/2020.

KUMMER, Ana Carolina Barbosa et al. **Recursos Hídricos gestão e sustentabilidade**, 1 ed Tupã São Paulo. ANAP - Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista. 2016. pg 196.

LEITE, Igor Michel Santos; FREITAS Felipe Fonseca Tavares, **Análise Comparativa dos Métodos de Apoio Multicritério a Decisão: AHP, Electre e Promethee** 2012. XXXII Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.

MARINS, Cristiano Souza, et al. **O Uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na Tomada de Decisões Gerenciais- Um Estudo de Caso**, XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento Pág. 1783

MENDONÇA, Carlos Hermano de Melo Furtado, **Análise de Multicritério Aplicada a Operação de Crédito no Município de Recife**, 2015 Projeto de pesquisa (Pós - Graduação) Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

NOBRE, João Rodrigo Coimbra, **Resíduos Agroindustriais Da Região Amazônica: Potencial na Produção de Carvão Ativado** 2017. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

PESSÔA, Isabela Cristina. **Estatística Das Aplicações de Métodos Multicritério nas Areas da Engenharia de Produção**, 2016 Dissertação (mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016

RODRIGUES, Dey Salvador Sanchez et al. **Método de Auxílio Multicritério a Decisão Aplicados a problemas de PCP: Mapeamento da produção em Periódicos Publicados no Brasil**, 2013. Gest. Prod., São Carlos, v. 20, n. 1, p. 134-146, 2013.

SARAWAN, Caitlyn et al. Optimized activated charcoal detoxification of acid-pretreated lignocellulosic substrate and assessment for bioethanol production. **Bioresource technology**, v. 286, p. 121403, 2019.

VENKATESH, Viswanath; BROWN, Susan A.; BALA, Hilloi. Bridging the qualitative-quantitative divide: Guidelines for conducting mixed methods research in information systems. **MIS quarterly**, p. 21-54, 2013.

WANG, Chia-Nan et al. A multi-criteria decision-making (MCDM) approach using hybrid SCOR metrics, AHP, and TOPSIS for supplier evaluation and selection in the gas and oil industry. **Processes**, v. 6, n. 12, p. 252, 2018.