

Implementação do sequenciamento de partida de unidades de processamento de gás natural utilizando um método fuzzy-TOPSIS

André da Silva Barcelos
andrebarcelos813@hotmail.com
UFF

Fábio Muniz Mazzoni
fabiomuma@hotmail.com
UFF

Resumo: A indústria de processamento de gás natural oferece produtos e energia para a sociedade e tem como premissa atender a demanda de um mercado competitivo e regulamentado. Entende-se que os princípios da produção enxuta estão diretamente relacionados com a otimização de processos e assim que estas indústrias utilizam-se destes princípios para manterem-se competitivas. Este trabalho tem por objetivo definir o sequenciamento de partida de 4 plantas industriais de processamento de gás natural que entram em operação de acordo com a demanda de gás natural do mercado nacional. A seleção do sequenciamento é estratégica para esta indústria e deve atender diversos critérios simultâneos, tais como a demanda de gás natural do mercado, vazão de produção, eficiência da produção, redução de desperdícios, operacionalidade, produção enxuta, etc. Devido a natureza multivariável das plantas de processo, utiliza-se do método método Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) para definir e otimizar a sequência de partida destas 4 plantas industriais. Ao final deste trabalho, apresenta-se os resultados obtidos, assim como uma análise do sequenciamento de partida indicado e a melhoria estimada para implementação.

Palavras Chave: Gás Natural - Fuzzy - TOPSIS - Sequenciamento - Produção enxuta

1. INTRODUÇÃO

No atual cenário industrial, faz-se necessário que as decisões estratégicas se encontrem alinhadas com os princípios de otimização e produção enxuta. Esta necessidade está relacionada com a competitividade do mercado, redução de custos, minimização de desperdícios e a melhoria contínua dos processos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSON, 2009).

Segundo Marodin e Saurin (2013), a manufatura enxuta é definida como uma estratégia de produção baseada em técnicas, cujo objetivo é melhorar continuamente o sistema produtivo. A produção enxuta deve buscar resultados a partir da eliminação do desperdício em todos os níveis do processo, pois ter a organização enxuta é uma condição de sobrevivência em um mercado global e competitivo (WOMACK; JONES, 1997).

Frente a esta perspectiva, diversas técnicas para o auxílio de tomada de decisão que se utilizam de lógica *fuzzy*, estatística, álgebra e computação multivariável, auxiliam o gestor a tomar decisões em questões que envolvem a multiobjetividade. Isso permite que a tomada de decisão se torne assertiva, pois tratam-se de técnicas com foco na construção de opções e na escolha de alternativas multivariáveis (ALMEIDA et al., 2016).

A indústria de produção de energia, utiliza-se de unidades de processamento de gás natural (UPGN's), para atender a demanda de produção de gás natural processado (GNP) dos mercados consumidores regionais. Estas unidades encontram-se localizadas em parques industriais que apresentam desafios de produção e otimização, onde faz-se necessário utilizar-se de técnicas e modelos computacionais multivariáveis, para modelar e otimizar o sistema produtivo, com a finalidade de manter os processos internos enxutos.

Neste cenário, as UPGN's são responsáveis pela produção do GNP a partir do gás natural (GN), que é proveniente de poços de petróleo e desta forma, os parques industriais utilizam-se destas unidades que podem produzir em paralelo de acordo com a demanda nacional de GNP. Assim, faz-se necessário estabelecer o sequenciamento de partida e a prioridade de operação das UPGN's de um parque industrial baseando-se nos princípios da produção enxuta.

Este trabalho tem como primeiro objetivo aplicar o método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*, (TOPSIS) para auxiliar a tomada de decisão sobre o sequenciamento de partida e operação de UPGN's em um parque industrial. Neste parque encontram-se disponíveis quatro unidades e o objetivo é decidir qual a melhor alternativa de sequência de partida e operação.

Como segundo objetivo, este trabalho propõe que os dados adquiridos para a obtenção dos pesos do método TOPSIS sejam independentes dos especialistas, baseando-se na entropia da matriz de alternativas. Esta escolha advém da possibilidade de uma indução forçada ou análise incoerente do ser humano que pode influenciar na matriz de alternativas e fornecer uma análise incoerente com a realidade.

Assim, divide-se este trabalho de maneira que a seção 2 apresenta o método de tomada de decisão TOPSIS, enquanto que a seção 3 descreve o estudo de caso. Na seção 4 encontram-se os experimentos e na seção 5 realiza-se a análise dos resultados obtidos. Na seção 6 conclui-se o trabalho apontando o sequenciamento de partida e as melhorias que podem ser implementadas nas UPGN's.

2. O MÉTODO TOPSIS

Um problema multicritério de ordenação ou classificação, consiste em uma situação em que existe pelo menos duas alternativas envolvendo múltiplas escolhas. Um método multicritério para decisão deve ser conduzido pela necessidade de atender a múltiplos objetivos, que estão associados com os critérios de cada alternativa a ser ponderada (ENSSLIN et al., 2010).

O sequenciamento de partida e operação das UPGN's é modelado como um problema de cinco critérios e quatro alternativas e desta forma faz-se necessário estabelecer um modelo para um problema multicritério que deve ser solucionado com uma técnica que ordena ou classifica múltiplas escolhas (HO; XIN, 2018).

O método *Technique for Order Preference by Similarity to a Ideal Solution* (TOPSIS) é definido como uma análise multicritério, onde é avaliada a distância euclidiana de todas as alternativas possíveis com uma solução ideal e por definição, analisa múltiplos critérios para atender o ordenamento ou classificação das alternativas (POMEROL; BARBA-ROMERO, 2012).

Conceitualmente entende-se que a melhor alternativa D^+ para uma solução de um problema multicritério pelo método TOPSIS, encontra-se na menor distância euclidiana possível da solução ideal em um e por conseguinte, a pior alternativa D^- , encontra-se mais próxima possível da solução não-ideal (HWANG; YOON, 1981).

Para a implementação do método TOPSIS, utiliza-se da matriz de alternativas conforme observa-se na Figura 1, onde encontram-se todas as alternativas possíveis A_i relacionadas aos atributos C_j . (POMEROL; BARBA-ROMERO, 2012).

$$A = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j \\ A_1 & \left\{ \begin{array}{cccc} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} \end{array} \right. & \end{matrix}$$

Figura 1: Matriz de alternativas

Fonte: Autores (2019)

O processo de execução do TOPSIS pode ser expresso em uma sequência de etapas, onde avalia-se a construção de uma matriz de alternativas ponderadas para em seguida definir a solução ideal e a solução não ideal através de distância euclidiana (BEHZADIAN et al., 2012). A seguir encontram-se descritas as etapas para a implementação do método TOPSIS.

- Construção da matriz ponderada:

Utiliza-se de um vetor de pesos (w_1, w_2, \dots, w_n) que deve ser construído ou fornecido pelo especialista para ponderar as alternativas em cada critério da matriz A. Devido à questão cognitiva do ser humano, o especialista pode ponderar as alternativas de maneira incoerente ou inconsistente e determinar os pesos de forma induzida e comprometer a análise (WHITE; HOLLOWAY, 2008).

Uma forma de obter pesos para solucionar problemas onde pode prevalecer a indução humana é utilizar-se de teorias e métodos que por definição são independentes do especialista (BORGES, 1999). Um desses métodos, utiliza-se da medida de incerteza ou entropia da informação, que mede o estado de desordem e inconsistência de um sistema em um dado momento (ORMOS; ZIBRICZKY, 2014).

O conceito de entropia na atribuição de pesos representa uma medida de desordem da informação, onde espera-se que quanto maior for a inconsistência dos dados, maior será a entropia (PINEDA, 2006). Ormos e Zibriczky, (2014) esclarecem ainda que a entropia é uma quantidade matemática que caracteriza um estado em que o sistema se encontra e que pode ser utilizada para estudos de comportamentos e tendências dos sistemas.

Para este trabalho, a equação 1 calcula a entropia (e_j) da matriz de alternativas A cujo elementos são x_{ij} . Nesta equação, o índice m representa a quantidade de alternativas possíveis, que é o grau de liberdade do sistema. Os pesos (w_1, w_2, \dots, w_n) são calculados pela equação 3 como consequência da aplicação da equação 2. Observa-se que w_j é o vetor coluna obtido através da entropia da matriz de alternativas.

$$e_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m x_{ij} \ln(x_{ij}) \quad (1)$$

$$d_j = 1 - e_j \quad (2)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (3)$$

Uma vez que se obtenha o vetor coluna w_j , torna-se possível obter uma matriz com elementos descritos de acordo com a equação 4, onde r_{ij} são os dados da matriz de alternativas A normalizadas e v_{ij} representa os elementos de uma matriz ponderada pela entropia e normalizada.

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (4)$$

Observa-se que a obtenção desta matriz ponderada v_{ij} é independente da escolha cognitiva do especialista, pois neste caso realizou-se a determinação dos pesos w_{ij} através da entropia. Casos em que os processos decisórios são influenciados pela indução equivocada ou inconsistente do ser humano, podem ser evitados com a obtenção de pesos pelo método da entropia (BORGES, 1999).

- Cálculo da similaridade

No método TOPSIS, define-se que a similaridade positiva é a distância euclidiana entre cada alternativa e a solução ideal e, por conseguinte, a similaridade negativa é a distância euclidiana entre cada alternativa e a solução não ideal. Nesta etapa, calcula-se a

similaridade da matriz ponderada, tanto para a solução ideal D^+ quanto para a solução não-ideal D^- , conforme as equações 5 e 6 respectivamente.

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m [(v_{ij}(x) - v_j^+(x))]^2} \quad (5)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m [(v_{ij}(x) - v_j^-(x))]^2} \quad (6)$$

Ao final, utiliza-se da equação 7 para ordenar as alternativas e propor a solução otimizada onde o vetor R_i apresenta um *ranking* de alternativas obtidas através da entropia dos dados.

$$R_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (7)$$

3. ESTUDO DE CASO

A matriz energética nacional demanda o uso de diferentes fontes de energia para atender às necessidades da sociedade brasileira. Dentre estas fontes, encontra-se o gás natural processado (GNP), que é obtido a partir do gás natural. (TOMALSQUIM; GUERREIRO, 2007).

O processamento de gás natural é realizado em parques industriais que estão localizados próximos aos grandes centros consumidores. Nestes parques, encontram-se as Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN's) que são plantas industriais que devem entrar em operação de acordo com a demanda nacional de GNP (BRONZATTI; IAROZINSKI, 2008).

A demanda de GNP é variável devido ao fato de estar inserida na matriz energética nacional e assim, o volume de GNP produzido pelas UPGN's também deve ser variável. Para atender esta premissa, os parques industriais contam com uma ou mais UPGN's em *stand-by* que entram em operação paralela de acordo com a demanda energética nacional.

Este trabalho tem por objetivo desenvolver o método multicritério TOPSIS, para estabelecer o sequenciamento de partida e operação de 4 UPGN's em um parque industrial que devem entrar em operação enxuta de acordo com a demanda de GNP nacional. Esta necessidade reside no fato de que se tratam de plantas industriais que produzem energia para o mercado nacional e o sequenciamento de partida e operação destas plantas deve ser otimizado.

3.1 PROCESSAMENTO DE GÁS NATURAL

A Figura 2 apresenta o arranjo de um parque industrial que contém quatro UPGN's disponibilizadas para produzir em paralelo. O insumo é o gás natural (GN) que é composto de percentuais de metano (C1), etano (C2), propano (C3), butano (C4) e pentanos (C5+) que são obtidos através da exploração de poços de petróleo.

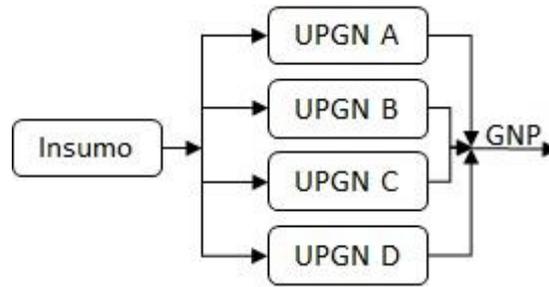


Figura 2: Diagrama de um parque industrial

Fonte: Autores (2019)

O produto resultante do processamento do GN em uma UPGN é o gás natural processado (GNP), que é composto majoritariamente das frações de menor peso molecular que são o C1 e C2. Esta composição do GNP é uma exigência legal do órgão nacional regulamentador que é a Agência Nacional de Petróleo (ANP).

Em cada uma das UPGN's existe uma torre de processamento do gás natural, onde o C1 e o C2, que correspondem às frações de maior volatilidade do GN, ascendem até o topo da torre de processamento, enquanto que as frações de maior peso molecular, descem até o fundo da torre de processamento, devido à ação da gravidade (KIDNAY; PARRISH; McCARTNEY, 2011).

O GNP que ascende ao topo da torre de processamento é o produto da UPGN e será enviado ao mercado consumidor de acordo com a demanda energética nacional. O líquido de fundo (C3, C4 e C5+), caracteriza um subproduto que será encaminhado para unidades distintas de tratamento e processamento de líquidos (SILVA, 2013). Observa-se na Figura 2 a torre de processamento e as características da produção.

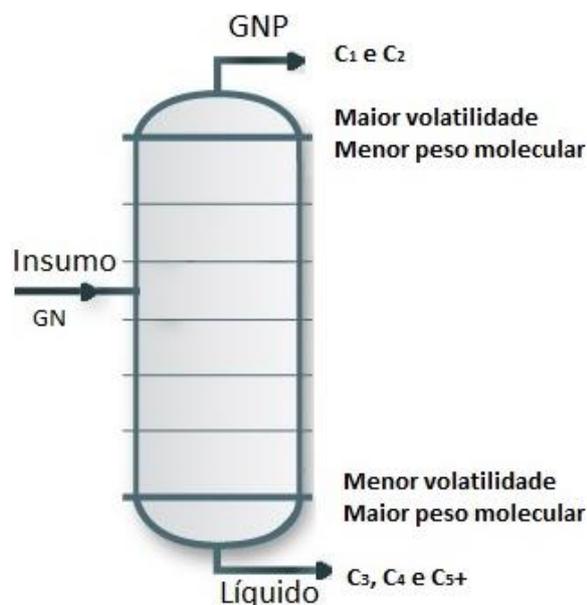


Figura 2: Torre de processamento de uma UPGN

Fonte: Autores (2019)

Nestas torres de processamento, existe a limitação de vazão máxima de insumo (GN) que deve ser controlada, pois caso admita-se uma vazão superior à controlável, ocorrerá o arraste das frações de maior peso molecular para o topo da torre e acarretará na desespecificação do GNP (DOMENEGHINI, 2015).

Caso a demanda da matriz energética nacional aumente e atinja-se a capacidade máxima de produção de uma UPGN, inicia-se a partida de outras UPGN's em paralelo até que o volume de produção de GNP desejado seja estabelecido. Por esse motivo, existe a necessidade de definir o sequenciamento de partida adequado para tornar-se possível a produção enxuta.

Devido às características operacionais das instalações, entende-se que existem diferenças de desempenho da produção entre as UPGN's A, B, C e D que se situam no mesmo parque industrial. Desta forma, deve-se realizar a modelagem através das variáveis e funções que determinam o comportamento de uma UPGN com a finalidade de compreender a dinâmica do processo de produção.

3.2 ESTABILIDADE OPERACIONAL

Para obter a estabilidade operacional, utiliza-se dos conceitos de grau de automação, capacidade de controle e o percentual de equipamentos *stand-by*. Estes três conceitos, definem as três variáveis de entrada de uma função não-linear e resulta como saída, a estabilidade operacional da UPGN.

O grau de automação é definido como a quantidade de variáveis críticas do processo interno, alarmes e malhas de controle que auxiliam a partida e operação da unidade, enquanto a capacidade de controle é determinada pela quantidade de malhas estáveis e controláveis, que são capazes de manter os processos termodinâmicos estabilizados. A terceira variável de entrada é a quantidade percentual de equipamentos em standby, que remete o potencial de manter a UPGN em operação contínua.

Para obter a capacidade operacional que é a função de saída, este trabalho utiliza-se de lógica *fuzzy* e estabelece três superfícies de simétricas que avalia as três variáveis de entrada, tomadas duas à duas em relação a estabilidade operacional. A função de pertinência é a trapezoidal com cinco hierarquias semelhantes à Figura 3.

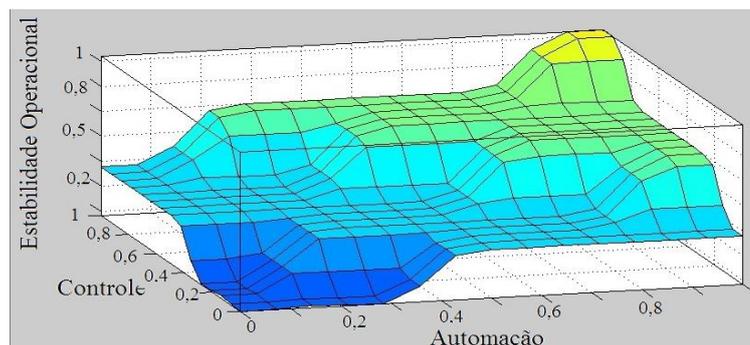


Figura 3: Superfície da estabilidade operacional
Fonte: Autores (2019)

O método de defuzzyficação adotado é o centro de gravidade que retorna um valor numérico de acordo com as três variáveis de entrada em função da estabilidade operacional. Com esta superfície, cada UPGN apresentará um valor correspondente a sua estabilidade operacional que servirá de base para o modelo de comportamento.

3.3 VAZÃO DE PRODUÇÃO

Para medir a vazão de produção de GNP ($\mu_p(t)$), utiliza-se do somatório do volume produzido, dividido pelo tempo de operação, conforme a equação 8.

$$\mu_p(t) = \frac{\sum_{t=0}^{tf} v_p(t)}{\Delta t} \quad (8)$$

A computação dos valores obtidos por meio da equação 8, possibilita obter a vazão máxima (μ_{max}) de produção cada uma das UPGN's e, por conseguinte construir a Tabela 2. Com a finalidade de comparação, define-se que o valor 1 será atribuído a vazão máxima possível de uma UPGN. Assim sendo, A UPGN A encontra-se com a maior vazão relativa possível ($\mu_{max}(t) = 1$), enquanto que as outras plantas que apresentam um valor de vazão inferior à 1.

Tabela 2: Vazão da produção

Variável	UPGN A	UPGN B	UPGN C	UPGN D
μ_{max}	1,0000	0,9074	0,9074	0.9359

Fonte: Autores (2019)

3.4 EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO

A vazão de produção de gás natural especificado que ascende ao topo da torre de processamento $\mu_p(t)$ e a vazão de insumo $i_p(t)$ são as variáveis utilizadas para medir a eficiência $\varepsilon(t)$ da planta. Para o cálculo da eficiência, computa-se a razão da vazão de produção e a vazão de insumo através da equação 9.

$$\varepsilon(t) = \frac{\mu_p(t)}{\sum_{t=0}^{tf} i_p(t)} \quad (9)$$

Esta equação retorna o valor de $\varepsilon(t)$ e representa a eficiência em que uma UPGN consegue transformar o insumo em produto ao longo do tempo. Em uma planta teórica ideal este valor é 1, onde entende-se que todo o insumo é convertido em produto. A Tabela 3 apresenta a máxima eficiência da produção $\varepsilon_{max}(t)$ de cada planta em relação a planta teórica.

Tabela 3: Eficiência da produção

Variável	UPGN A	UPGN B	UPGN C	UPGN D
ε_{max}	0,9231	0,7058	0,7003	0,8874

Fonte: Autores (2019)

3.5 DESPÉRDIO DE INSUMO

Entende-se como desperdício ($\mu_d(t)$), o volume total de insumo que é admitido na torre de processamento e que por descontrole operacional ou falhas no processamento, torna-se desespecificado e ao mesmo tempo impossibilitado de converter-se em produto especificado (GNP). Neste trabalho, trata-se da soma do volume de gás reprocessado ($\mu_{rp}(t)$), com o volume de gás rejeitado ($\mu_{rj}(t)$).

O gás natural (GN) que ascendeu ao topo da torre de processamento e que por ineficiência do processo encontra-se desespecificado, deve ser **reprocessado** ou enviado para o sistema de **rejeito**. O reprocessamento consiste em injetar o gás desespecificado na corrente de insumo da torre de processamento. A equação 10 permite obter o volume reprocessado.

$$\mu_{rp}(t) = \frac{\sum_{t=0}^{tf} v_d(t)}{\Delta t} \quad (10)$$

O sistema de rejeito consiste em uma outra instalação industrial cuja finalidade é o descarte do gás que ascendeu ao topo da torre de processamento e encontra-se desespecificado. Observa-se por meio da equação 11 a totalização deste volume rejeitado.

$$\mu_{rj}(t) = \frac{\sum_{t=0}^{tf} v_b(t)}{\Delta t} \quad (11)$$

O volume de gás desperdiçado que é medido por meio da equação 12, consiste na soma do volume de gás **reprocessado** com o volume de gás enviado ao sistema de **rejeito**. Computar o volume de insumo desperdiçado e propor melhorias está de acordo com as práticas de redução de custos da produção enxuta.

$$\mu_d(t) = \mu_{rp}(t) + \mu_{rj}(t) \quad (12)$$

A Tabela 4 é o resultado da equação 12 e apresenta o volume médio harmônico de desperdício de cada planta do parque industrial em estudo. Por definição faz-se necessário minimizar o desperdício de cada planta de acordo com os princípios de produção enxuta.

Tabela 4: Volume de desperdício

Variável	UPGN A	UPGN B	UPGN C	UPGN D
μ_{medio}	0,1419	0,1180	0,1312	0,1074

Fonte: Autores (2019)

3.6 OPERACIONALIDADE

As UPGN's apresentam diferenças de *layout*, tecnologia, modelo de construção e particularidades de instalação que ponderam sobre sua capacidade de partir e operar

adequadamente. Utiliza-se da lógica *fuzzy* para criar uma superfície simétrica em relação aos eixos, que avalia as três variáveis de entrada que são: o tempo de partida; os recursos necessários e o tempo de estabilização com a finalidade de definir a operacionalidade, conforme observa-se na Figura 4.

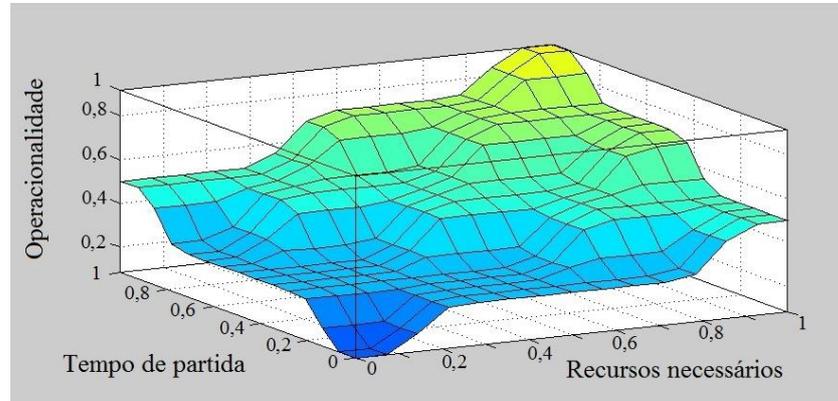


Figura 4: Superfície da estabilidade operacional
Fonte: Autores (2019)

A função de pertinência adotada também é a trapezoidal com cinco hierarquias e com três superfícies simétricas relacionadas duas a duas em função da Operacionalidade. O método de defuzzyficação também é o centro de gravidade.

4. EXPERIMENTOS

Os resultados obtidos na seção 3 formam o modelo que será utilizado para os experimentos com o TOPSIS. Este modelo é representado numericamente em uma matriz 4x5, onde cada coluna são respectivamente os valores da estabilidade operacional, vazão da produção, eficiência, desperdício de insumo e operacionalidade de cada UPGN. Ao analisar estes dados é possível determinar a ordem de partida das UPGN's em que se prioriza a melhor planta disponível sequencialmente.

4.1. DESENVOLVIMENTO DO TOPSIS

Para o desenvolvimento do método TOPSIS utiliza-se dos resultados obtidos nas funções *fuzzy*, que são casos particulares, em conjunto com as Tabelas 2, 3 e 4 para construção da matriz de alternativas que se observa na Tabela 5:

Tabela 5: Matriz de Alternativas

Planta	Estabilidade	Vazão	Eficiência	Desperdício	Operac.
UPGN A	0,667	1,000	0,923	0,142	0,588
UPGN B	1,000	0,907	0,706	0,118	0,769
UPGN C	0,833	0,907	0,700	0,131	1,000
UPGN D	0,625	0,936	0,887	0,107	0,714

Fonte: Autores (2019)

Utilizando-se dos dados da Tabela 5, computa-se a entropia do sistema de acordo com a equação 1 para obter um vetor coluna e_j , que expressa a desordem ou incerteza da matriz de alternativas.

$$e_j = \begin{bmatrix} 0,98241 \\ 0,99923 \\ 0,99205 \\ 0,99457 \\ 0,98179 \end{bmatrix}$$

Uma vez que obtém-se o vetor coluna e_j , torna-se possível o cálculo do vetor peso w_j de acordo com as equações 2 e 3. O vetor coluna w_j encontra-se disponível e representa o peso que será ponderado nos cálculos seguintes.

$$w_j = \begin{bmatrix} 0,3501 \\ 0,0159 \\ 0,1599 \\ 0,1097 \\ 0,3643 \end{bmatrix}$$

A Tabela 6 contém o produto da matriz de alternativas normalizada com o vetor w_j . As colunas que representam os critérios de estabilidade, vazão, eficiência e operacionalidade devem ser maximizadas enquanto que o desperdício deve ser minimizado de acordo com o princípio da produção enxuta.

Tabela 6: Matriz de Alternativas normalizadas pelo peso w_j

Planta	Estabilidade	Vazão	Eficiência	Desperdício	Operac.
UPGN A	0,1468	0,0085	0,0911	0,0621	0,1370
UPGN B	0,2201	0,0077	0,0696	0,0516	0,1791
UPGN C	0,1834	0,0077	0,0691	0,0574	0,2329
UPGN D	0,1376	0,0079	0,0876	0,0470	0,1663
Ideal	0,2201	0,0085	0,0911	0,0470	0,2329
Não Ideal	0,1376	0,0077	0,0691	0,0621	0,1370

Fonte: Autores(2019)

O critério de estabilidade da UPGN B de 0,2201 é considerado ideal local pois trata-se do maior valor entre as alternativas para este critério. Por conseguinte, a UPGN D que se encontra com o menor valor de 0,1376, deve ser considerada não ideal local. Para o critério de minimização do desperdício, a UPGN D apresenta o menor valor possível de 0,0470 e portanto é ideal local.

Torna-se possível computar o vetor D_i^+ que é a distância euclidiana entre critério e a solução ideal global através da equação 5. Este vetor representa o quanto cada alternativa encontra-se próxima da solução ideal global onde todos os critérios são ideais em conjunto.

$$D_i^+ = \begin{bmatrix} 0,122 \\ 0,058 \\ 0,044 \\ 0,106 \end{bmatrix}$$

O vetor D_i^- expressa o resultado da computação da equação 6 com as alternativas classificados como não ideais locais. Este vetor representa o quanto cada alternativa encontra-se afastado da solução ideal não ideal global.

$$D_i^- = \begin{bmatrix} 0,024 \\ 0,093 \\ 0,106 \\ 0,038 \end{bmatrix}$$

Uma vez que se obtenha os valores de D_i^+ e D_i^- , torna-se possível estabelecer o ordenamento de alternativas pela equação 7. Este ordenamento é o *ranking* onde a UPGN C (0,707) assume prioridade de partida, seguida pela UPGN B (0,616).

$$R_i = \begin{bmatrix} 0,164 \\ 0,616 \\ 0,707 \\ 0,263 \end{bmatrix}$$

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos pelo TOPSIS mostram que a UPGN C é a melhor escolha para iniciar o sequenciamento de partida e operação de acordo com os critérios adotados. O método apresenta valores relativamente distintos e observa-se que a UPGN A encontra-se como última opção no sequenciamento de partida e operação.

O método TOPSIS apresenta desambiguidade nos resultados, uma vez que a diferença relativa entre a UPGN C (melhor planta) e a UPGN B (segunda melhor) encontra-se na ordem de 14,77%. A Tabela 7 apresenta o resultado normalizado e a comparação entre as unidades.

Tabela 7: Resultado Normalizado

Unidade	TOPSIS	Ranking	Status
UPGN A	0,094	4	Pior
UPGN B	0,352	2	
UPGN C	0,404	1	Melhor
UPGN D	0,150	3	

Fonte: Autores (2019)

6. CONCLUSÃO

O sequenciamento de partida das UPGN's deve ser otimizado de acordo com os princípios da produção enxuta, pois tratam-se de plantas industriais inseridas na matriz energética nacional e desta forma são unidades estratégicas para a produção de energia.

Para definição do sequenciamento de partida e operação, este trabalho desenvolve o método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) que tem por finalidade a resolução de problemas de múltiplas alternativas com base em múltiplos critérios de decisão.

A utilização da entropia para a computação dos pesos pelo método TOPSIS possibilita uma análise baseada na incerteza ou desordem do sistema e, por conseguinte é independente do processo decisório do especialista que pode tornar-se induzido e incoerente.

O método TOPSIS desenvolvido neste artigo apresenta o sequenciamento de partida e operação das plantas industriais de um parque de processamento que deve iniciar pela UPGN C, seguido B, D e A. Esta definição no sequenciamento de partida e operação está de acordo com os princípios da produção enxuta de minimização de desperdícios e otimização da produção

Com este estudo torna-se possível identificar as características econômicas e de produção de cada unidade de processamento e obter informações de desempenho e eficiência que podem ser utilizadas em diversas abordagens como planos de manutenção, estratégia e investimentos.

A melhoria estimada para a implementação deste trabalho é a redução do lucro cessante em aproximadamente 16,5% devido ao fato de partir sempre as melhores plantas nas melhores condições e diminuir o tempo necessário a estabilização da produção

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se a consulta de um especialista que proponha uma nova matriz de criticidade para o método AHP ou semelhante, com a finalidade de comparar uma nova análise com o resultado apresentado neste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. T.; ALMEIDA, A. J.; COSTA, A. C. S. & FILHO, A. T. A.** A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, v. 1, 2000, pp. 79–191
- BEHZADIAN, M; OTAGHSARA, S.K; YAZDANI, M. & IGNATIUS, J.** A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with applications*, v. 39, 2012. pp 13051–13069.
- BORGES, E. P.** Irreversibilidade, desordem e incerteza: três visões da generalização do conceito de entropia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v 4, 1999, pp.453–463
- BRONZATTI, A.; LUIZ, F.&NETO, I.** Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, v 8, 2008, pp. 13–16, 2008
- DOMENEGHINI, E. C.** Proposta de índice de eficiência energética baseado na exergia para UPGN. 1ª edição, Lume-UFRGS, 2015.
- ENSSLIN, E.; GRIFFHORN, E.; ENSSLIN, R. S. & VIANNA, B. W.** Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicritério de apoio à decisão-construtivista. *Pesquisa Operacional*, v. 30, 2010, pp.125–152.
- FORTUNA, L.; GRAZIANI, SALVATORE. & XIBILIA, M. G.** Soft sensors for product quality monitoring in debutanizer distillation columns. *Control Engineering Practice*, v. 4, 2005, pp. 499–508
- HO, W. & XIN, M.** The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v 2, 2018, pp. 399–414



- HWANG, L.C. & YOON, K.** Methods for multiple attribute decision making. In Multiple attribute decision making, 1ª edição, Springer, 1981.
- KIDNAY, A. J.; PARRISH, R. W. & McCARTNEY, D. G.** Fundamentals of natural gas processing. 1ª Edição CRC press, 2011.
- MARODIN, G. A. & SAURIN, T.A.** Implementing lean production systems research areas and opportunities for future studies. International Journal of Production Research, v.1, 2013, pp.6663–6680.
- ORMOS, M. & ZIBRICZKY, D.** Entropy-based financial asset pricing. PloS one, v 9, 2014.
- PINEDA, J. O. C.** A entropia segundo Claude Shannon: O desenvolvimento do conceito fundamental da teoria da informação. 1ª, São Paulo, Pontifícia Universidade Católica 2006.
- POMEROL, S. C. & BARBA-ROMERO, S.** Multicriterion decision in management: principles and practice, v 25. Springer Science & Business Media, 2012.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON R.** Administração da produção. 3ª edição. São Paulo: Atlas, 2009.
- TOMALSQUIM, M. T.; GUERREIRO, A. & GORINI, R.** Matriz energética brasileira: uma perspectiva. Novos estudos-CEBRAP, v.1, 2007, pp. 47–69
- WHITE, C. C. & HOLLOWAY, H. A.** Resolvability for imprecise multiattribute alternative selection. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, v 3, 2008, pp. 162–169.
- WOMACK, J.P. & JONES, T. D.** Lean thinking, banish waste and create wealth in your corporation. Journal of the Operational Research Society, v. 48, 1997, pp. 1148–1148