

# **APLICAÇÃO DE UM MÉTODO AHP CLASSICO A UM SISTEMA DE COMPRESSÃO PARA DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE OPERAÇÃO EM UM TERMINAL DE PROCESSAMENTO E MOVIMENTAÇÃO DE GÁS NATURAL E SEUS DERIVADOS.**

**Hugo da Silva Guimarães (UFF) [hengenheiro@hotmail.com](mailto:hengenheiro@hotmail.com)**

**Edwin Benito Mitacc Meza (UFF) [emitacc@gmail.com](mailto:emitacc@gmail.com)**

## **Resumo**

Uma turbina a gás é um equipamento complexo e de alto custo e devido sua versatilidade possui ampla utilização na indústria, com destaque para a combinação com compressores que são utilizados na indústria do petróleo para transporte e transferência de gás natural, além de sua utilização nas diversas etapas do processo, para que uma estação de compressão possa operar de maneira eficiente é importante que haja disponibilidade correta de turbinas e que as mesmas possam operar no momento que for necessário para cumprir a programação. Em contratos de fornecimento de gás é importante que as máquinas estejam com suas manutenções em dia sem comprometer as suas disponibilidades, para efetuar este trabalho foi utilizado o método de análise hierárquica (AHP) e através deste método foi possível definir quais máquinas possuem prioridades de operação para o sistema de turbocompressores.

**Palavras-Chaves:** Turbocompressores, AHP, programação

## **1. Introdução**

Uma unidade de processamento de gás natural tem como finalidade o refino do gás natural (GN) e gás natural liquefeito (GNL) basicamente, para realização destas tarefas se faz necessário a compressão do GN na entrada das diversas unidades de processamento e após o refino é preciso que o gás residual (GNAP) seja pressurizado até os gasodutos que o levam aos consumidores. Para que estas tarefas básicas sejam efetuadas são necessários compressores. Compressores são equipamentos cujo objetivo é a elevação da pressão de um determinado componente que se encontra no estado gasoso. Tal pressurização acontece graças ao acionamento por motores elétricos ou por turbinas que podem ser a gás ou a vapor (Perry, 1999).

Para suprir a necessidade de um polo de processamento que recebe 22.000.000m<sup>3</sup> diários de gás, estão disponíveis 10 turbo compressores nomeados de A até J, com capacidade de 5.000.000m<sup>3</sup>/dia nominal, suas funções são basicamente elevar a pressão de entrada das unidades e enviar o gás para os consumidores finais, uma turbina a gás é um complexo equipamento de ampla utilização na indústria, mas ganha destaque como acionador de máquinas na geração de energia e em movimentação de fluidos e estas funções são

amplamente visualizados na área de petróleo. O funcionamento básico destas máquinas deve obedecer às leis da termodinâmica e no caso das turbinas a gás o ciclo Brayton é utilizado na operação basal. Segundo Nhambiu (2014) o ciclo Brayton foi desenvolvido em 1870 por George Brayton para ser usado em um motor alternativo que o mesmo criou e hoje é utilizado apenas em turbinas em que compressão e expansão ocorrem em máquinas rotativas.

Uma turbina a gás deve obedecer a manutenções definidas pelo seu fabricante como qualquer outra máquina térmica, porém a algumas particularidades devem diferenciar de um motor que opera em um ciclo Otto, por exemplo. Segundo Moro (2007) manutenção preventiva é o conjunto de ações antecipadas com objetivo de manter a máquina em funcionamento, de acordo com o fabricante do equipamento analisado, a cada 32.000h de operação desta turbina, deve-se parar seu funcionamento e enviar para uma grande manutenção é chamada de overhaul, tal manutenção somente deve ser feita em uma oficina devidamente equipada e autorizada e geralmente ficam localizadas em outros países, dependendo do modelo da máquina, logo o tempo médio entre a retirada da turbina e a reinstalação após o overhaul é de Seis meses e por isso devemos observar o como deverão ser definidas a ordem retirada para manutenção que cada máquina vai obedecer, ao retornar desta manutenção a máquina terá suas horas de operação zeradas e assim se iniciará uma nova campanha até que a mesma atinja novamente suas horas necessárias para um novo overhaul.

## **2. Referencial teórico**

### **2.1 O método AHP**

Para a realização deste trabalho será utilizado o método *Analitic Hierarquic Process* (AHP) que realiza análises comparando entre alternativas de duas em duas, na construção do método o tomador de decisões realiza as comparações em pares e assim os elementos envolvidos são sobrepostos de acordo as avaliações do decisor, dando um valor referente a cada sobreposição.

Criado em 1980 pelo professor Thomas Saaty (SAATY, 1991), o método AHP tem como resultado final o auxílio em tomada de decisões que possuam inúmeros critérios, e se divide basicamente em três etapas, quais são:

- 1) Decomposição – modelar o problema de decisão em uma organização hierárquica, com o Objetivo central no topo e critérios, subcritérios e alternativas abaixo.
- 2) Comparação de elementos e hierarquia – consiste no estabelecimento de prioridades para cada nível de hierarquia, entre os seus elementos. A seguir a escala de valores de comparação

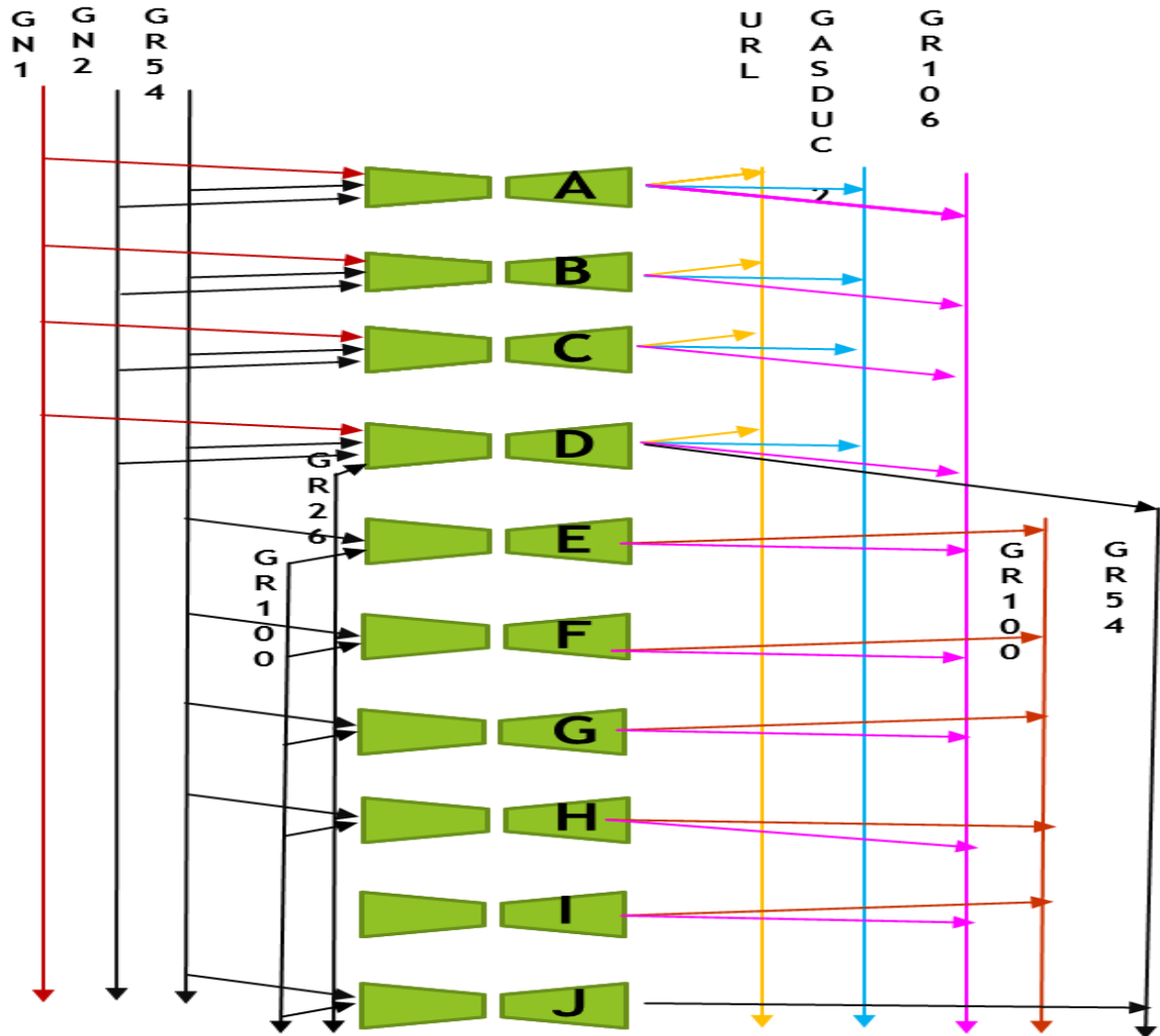
deve ser elaborada, apenas com no máximo nove valores, isto garante a consistência da matriz, em seguida devem ser realizados os cálculos de prioridades relativas, avaliação de consistência e construção de matrizes paritárias, assim chegaremos as prioridades compostas.

3) Análise dos resultados e escolha do melhor – após calculados os pesos de cada alternativa deverá ser escolhido o de maior valor, de acordo com a sistemática do AHP.

## **2.2 O Problema Abordado**

Como foi informado anteriormente há a necessidade de escolher qual turbina irá para o *overhaul* e esta definição não se dá apenas indicando que máquina deverá parar após alcançar 32.000h e sim pela escolha de qual equipamento deverá entrar em operação para assim ganhar horas de operação até atingir o seu tempo máximo, para isto devemos ter algum critério para decidir para definir quem será deverá operar termos alguns critérios e não podemos levar em consideração um cenário fixo, devido à dinâmica de necessidade operacional das plantas para cumprir contratos e metas com os clientes. O arranjo que se encontra na estação de compressão é definido e possui diversos alinhamentos como pode ser visto na figura 1, além dos alinhamentos cada máquina possui sua função, como é o caso das máquinas D e J que podem ser utilizadas no processo como compressor reserva das Unidades de Recuperação de Líquidos (URL), estas são as unidades de processamentos que além de possuírem maior importância no polo ainda são as únicas que precisam de uma pressão mínima de entrada relativamente alta, o que naturalmente podem implicar na utilização de turbo compressores, logo as mesmas não podem entrar em manutenção ao mesmo tempo, assim como as demais máquinas que não devem entrar em manutenção paralelamente, pois o custo de revisão é alto e poder-se-iam perder a capacidade plena de compressão. É importante destacar que os critérios deverão ser analisados de tempos em tempos devendo a mudança contínua do cenário.

Figura 1 - Alinhamentos possíveis dos turbocompressores



Fonte: Autor (2017)

### 3. Características Importantes

Para que tenhamos sempre a disponibilidade operacional preservada dentro do terminal e que haja sempre um mínimo de compressão garantida, tanto para as unidades de processamento quanto para a compressão para gasodutos, deve-se garantir que pelo menos uma turbina que tenha alinhamento para URL esteja em condições operacionais, neste caso as turbinas D e J que possuem os seus alinhamentos construídos para realização de tal finalidade, devido aos contratos de fornecimento de gás para os consumidores é necessário ainda que haja no mínimo uma disponibilidade de compressão da ordem de 12.000.000 Nm<sup>3</sup>/dia nominais, o que seria possível de se realizar com algum conforto com apenas ter turbinas. Como o cenário atual não foi construído em um conjunto único, ou seja, de uma única vez, a montagem de um plano de definição de prioridades de operação das turbinas deve ser planejada a partir de

agora e não será considerado que as máquinas possuem horímetro zero, muito importante também ressaltar que no momento em que uma ou mais máquinas entram em operação o cenário está alterado e o AHP deverá ser aplicado a cada período determinar para definir qual turbina deverá operar, de acordo com a nova situação das horas de operação de cada máquina, neste caso a cada mês ou 720 horas após a definição das turbinas que terão prioridade operacional pode ser realizada uma nova priorização. Para finalizar ressalta-se que em caso de mudança de prioridade operacional da lista de turbinas haja uma mudança em uma máquina que está operando e de acordo com a nova lista a mesma não poderá operar, não se faz necessário a troca da mesma por uma que esteja ingressando na lista ou que tenha sua preferência operacional incrementada, tendo em vista o custos com a troca de máquina a operar e a os possíveis problemas impeditivos decorrentes de manutenção e operação, para tanto deve-se apenas, caso seja possível, desligar esta máquina que saiu da lista em um momento oportuno.

Os critérios definidos para a execução do método levaram em consideração aspectos referentes ao cotidiano da instalação e foram escolhidos mediante análise das operações a qual são destinados, para que não haja excesso de critérios os mesmos foram condensados e subscritos para efeitos de simplificação e foram definidos da seguinte forma:

- a) Horímetro mais baixo: este critério serve para colocar em operação a máquina entre todas que possuir o menor tempo operando, mesmo que a diferença entre elas seja muito pequena.
- b) Distância média entre horímetros: como o tempo médio de *overhaul* é de cerca de seis meses que equivalem a 4.320 horas, a ideia de se manter uma distância mínima entre horas / máquinas deve ser desta ordem, ou seja, quem deverá operar será a que possui horas entre as demais abaixo deste valor.
- c) Não concomitância: para que uma máquina seja colocada para operar é necessário saber se a mesma está com suas horas avançadas a ponto de alcançar o máximo de 32.000 horas operacionais definidos pelo fabricante no momento em que outra ainda não retornou do seu *overhaul*, isso poderia reduzir a capacidade volumétrica de compressão, afetando produção e contratos de fornecimento e ainda poderia gerar problemas de fluxo de caixa, visto que um *overhaul* tem seu custo médio de US\$ 1.500.000,00.
- d) Equivalência: como foi relatado anteriormente o fato de uma máquina possuir uma função equivalente a outra é sim com propósito de poder utilizar ambas ou alternadas em caso

de retirada de alguma delas para sua manutenção, logo não é possível que operem até o máximo as máquinas D e J devido as particularidades nelas contidas, assim como não poderão ser operadas até seus limites as turbinas que estiverem desempenhando funções que outra não poderá realizar por se encontrar em *overhaul*.

### **3.1 Premissas**

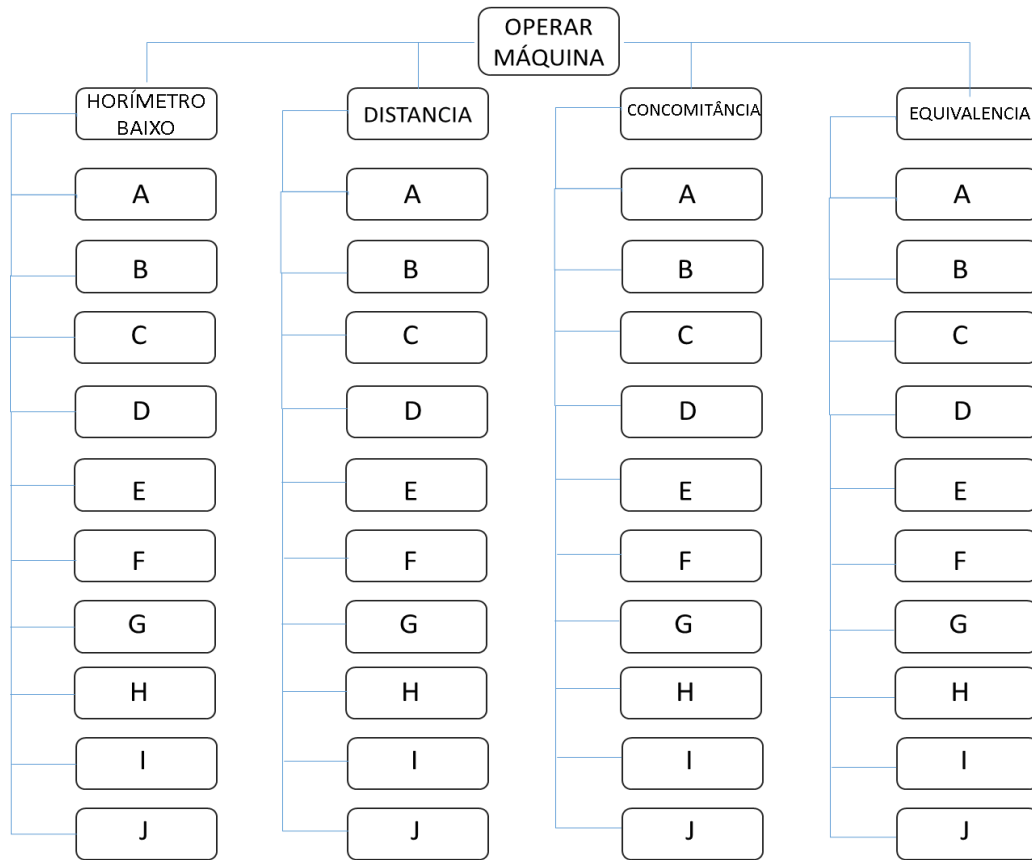
Como as turbinas já operam e possuem valores de horímetro, serão considerados os valores reais encontrados no local e os mesmos serão estabelecidos com a finalidade de encontrar a hierarquia de operação, portanto a turbinas compõem os seguintes valores em horas: A=26.312, B=12.225, C=32.000, D=15.889, E=21.967, F=8.102, G=29054, H=13.099, I=8.816, J=27.466.

### **4. Aplicando o Método AHP**

Para aplicação do método neste trabalho foi importante evidenciar que turbina que estiver em manutenção pode entrar na lista de prioridades, para tanto apenas a mesma não operaria em caso de sua entrada na lista, as capacidades de compressão são muito próximas e não serão feitas diferenciações com relação as suas potencias, logo as definições operacionais desconsideram este quesito. São 10 máquinas que podem se revezar operacionalmente e todas podem operar, para definição critérios todas são iguais, levando-se em consideração apenas os aspectos definidos nos próprios e as características que cada uma possui em acordo com a operacionalidade das mesmas.

A figura 2 apresenta a montagem da estrutura hierárquica para a definição de ordem de operação de máquina que deverá operar.

Figura 2 - Estrutura hierárquica para a definição de prioridade de operação



Fonte: Autor (2017)

Em seguida foram realizadas as matrizes de comparação entre os critérios e entre as opções de máquinas e critérios, levando-se em consideração análise de dados com profissionais especializados na operação dos equipamentos e foi apresentado na tabela 1 e figura 3.

Tabela 1 – Matriz comparação entre critérios

Objetivo	Horímetro	Distancia	Concomitância	Equivalência
Horímetro	1	2	1/3	1/5
Distancia	1/2	1	1/2	1/4
Concomitância	3	2	1	1/2
Equivalência	5	4	2	1
Soma	9,50	9,00	3,83	1,95

Fonte: Autor (2017)

Figura 3 - Matrizes de comparação entre opções de máquinas e critérios

HORÍMETRO										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1	1/4	9	1/4	1/2	1/8	1/2	1/5	1/6	1/2
B	4	1	9	3	3	1/2	5	2	1/2	3
C	1/9	1/9	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9
D	4	1/3	9	1	3	1/2	6	1/2	1/3	3
E	2	1/3	9	1/3	1	1/4	3	1/4	1/4	2
F	8	2	9	2	4	1	8	1/2	2	4
G	2	1/5	9	1/6	1/3	1/8	1	1/5	1/6	1/2
H	5	1/2	9	2	4	2	5	1	3	5
I	6	2	9	3	4	1/2	6	1/3	1	6
J	2	1/3	9	1/3	1/2	1/4	2	1/5	1/6	1

DISTÂNCIA ENTRE HORAS										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1	1	5	1/3	1	1/2	1/3	1/3	1/9	1/2
B	1	1	6	1/3	2	1	1	1/4	1/6	2
C	1/5	1/6	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9
D	3	3	9	1	6	1/2	4	2	2	6
E	1	1/2	9	1/6	1	1/3	2	1/4	1/7	2
F	2	1	9	2	3	1	4	1/2	1/3	3
G	3	1	9	1/4	1/2	1/4	1	1/3	1/5	2
H	3	4	9	1/2	4	2	3	1	1/2	7
I	9	6	9	1/2	7	3	5	2	1	9
J	2	1/2	9	1/6	1/2	1/3	1/2	1/7	1/9	1

CONCOMITÂNCIA										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1	1/2	1/2	1/2	1	1	1	1	1	1
B	2	1	1/2	1/2	1	1	1	1	1	1
C	2	2	1	1/2	1	1	1	1	1	1
D	1	2	2	1	1	1	1	1	1	8
E	1	1	1	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
F	1	1	1	1	2	1	1/2	1/2	1/2	1/2
G	1	1	1	1	2	2	1	1/2	1/2	1/2
H	1	1	1	1	2	2	2	1	1/2	1/2
I	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1/2
J	1	1	1	1/8	2	2	2	2	2	1

EQUIVALÊNCIA										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5
B	1	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5
C	1	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5
D	1	1	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1
E	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1/2
F	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1/2
G	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1/2
H	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1/2
I	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1
J	5	5	5	1	2	2	2	2	1	1

Fonte: Autor (2017)

Após os cálculos verificou-se que a matriz comparação normalizada de critérios de segundo nível demonstrou que dentre as prioridades relativas a equivalência foi a mais importante apresentando 50% da importância dos critérios, devido a necessidade de se manter a operacionalidade do sistema, esta hierarquia pode ser observada na tabela 2.

Tabela 2 - Matriz normalizada dos critérios do segundo nível

Objetivo	Horimetro	Distancia	Concomitância	Equivalência	Prioridade Relativa
Horimetro	0,1053	0,2222	0,0870	0,1026	0,13
Distancia	0,0526	0,1111	0,1304	0,1282	0,11
Concomitância	0,3158	0,2222	0,2609	0,2564	0,26
Equivalência	0,5263	0,4444	0,5217	0,5128	0,50

Fonte: Autor (2017)

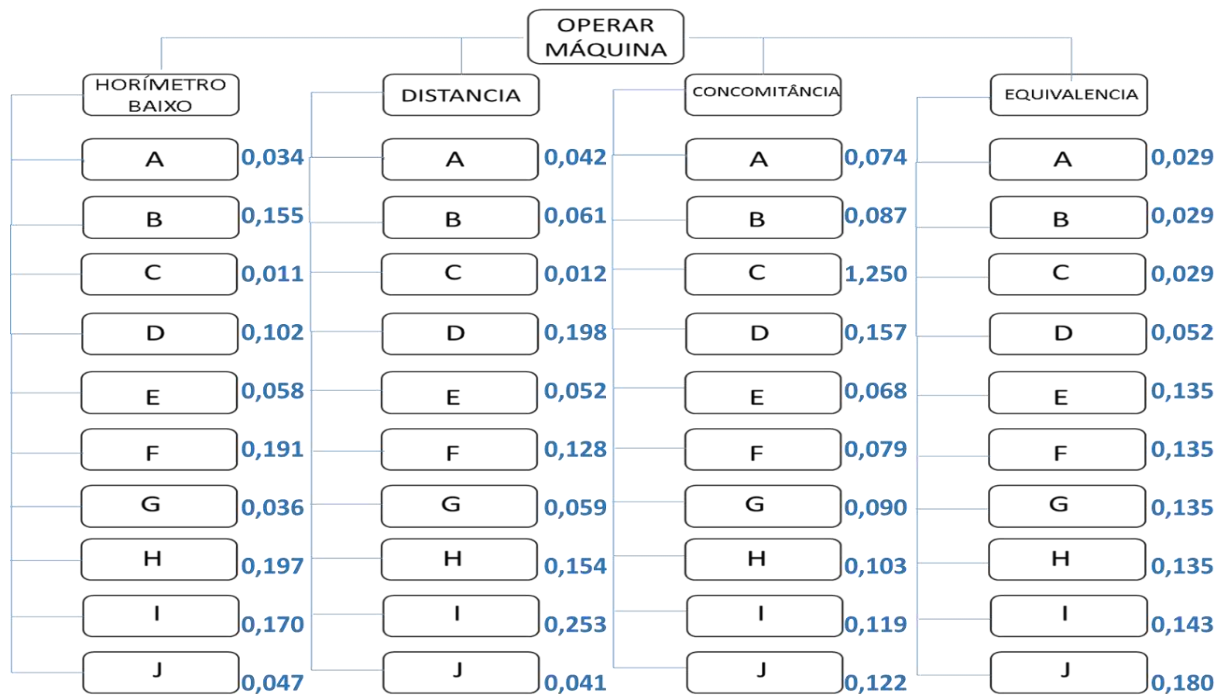
Logo que foram definidos e obtidas todas as prioridades relativas da matriz normalizada dos critérios, prosseguiu-se a obtenção da razão de consistência (RC) para avaliar os quão próximos a realidade os valores de aparência aleatória e subjetivos são consistentes de acordo com a razão do decisor, neste quesito o valor de RC foi de 0,05 demonstrando um acerto



plausível por se manter abaixo de 0,1, valor definido para que sejam aceitas as suposições de pesos atribuídos aos quesitos.

Na etapa seguinte foi realizada a construção da matriz paritária para os critérios com as suas prioridades relativas, os valores estão apresentados na nova estrutura hierárquica como demonstra a figura 4.

Figura 4 - Estrutura hierárquica com suas prioridades relativas



Fonte: Autor (2017)

A partir dos dados anteriormente calculados foi possível se obter a prioridade composta para as alternativas, a figura 5 traz a etapa de definição das prioridades compostas que podem definir a ordem de operação das máquinas.

Figura 5 - Prioridades compostas e definição hierárquica

TURBINA	HORIMETRO	DISTANCIA	CONCOMITANCIA	EQUIVALENCIA		PRIORIDADES COMPOSTAS
A	0,034	0,042	0,074	0,029	$\times$	0,0427
B	0,155	0,061	0,087	0,029		0,0638
C	0,011	0,012	1,250	0,029		0,3468
D	0,102	0,198	0,157	0,052		0,1017
E	0,058	0,052	0,068	0,135		0,0985
F	0,191	0,128	0,079	0,135		0,1264
G	0,036	0,059	0,090	0,135		0,1021
H	0,197	0,154	0,103	0,135		0,1365
I	0,170	0,253	0,119	0,143		0,1519
J	0,047	0,041	0,122	0,180		0,1328

PRIORIDADE RELATIVA CRITERIOS
0,13
0,11
0,26
0,50

Fonte: Autor (2017)

Comparando-se os resultados obtidos verificamos que a operação das máquinas apresentou a seguinte hierarquia: C, I, H, J, F, G, D, E, B e A, a partir deste resultado podemos presumir que a máquina C somente poderá operar em caso de liberação pela equipe de manutenção, devido a mesma ter atingido o limite operacional recomendado pelo fabricante e por isto é mais interessante que a mesma, ainda que esteja figurando na lista seja descartada se a situação assim comportar. No momento em que se possui uma lista de ordem de operação de turbina, se torna mais favorável o planejamento operacional em relação as manutenções a serem realizadas tanto nas máquinas quanto nos sistemas que as envolvem, melhorando a gestão de manutenção e operação e minimizando custos.

## 5. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi a criação de uma hierarquia de operação de turbo máquinas em uma unidade de processamento de gás natural, por ser um complexo terminal e possuir diversos alinhamentos e contratos de fornecimento de subprodutos de gás natural a serem cumpridos, há a necessidade de existência de 10 máquinas se revezando entre operação e manutenção.

A utilização do método AHP se mostrou eficaz na resolução deste problema e por este motivo uma nova configuração de operação pode ser efetivada no terminal, devido algumas particularidades que venham a existir nos próximos intervalos entre manutenções, pode-se aplicar o método com alguns progressos e assim atingir melhores resultados. A aplicação deste método é pertinente para aplicação em diversos outros locais que utilizem sistemas de revezamento de operação e manutenção como bombas, compressores, entre outros.

No caso apresentado, com a aplicação do método AHP foi possível a obtenção de prioridades de turbinas que devem ser ligadas para comprimir gás natural em gasodutos e por isso a unidade de compressão estudada pode melhorar a programação da produção e manutenção conferindo um menor custo para ambos e maior disponibilidade de compressão. É possível verificar que as máquinas escolhidas para operar prioritariamente tem a função provisória de manter um distanciamento entre elas e uma aproximação maior com a sua revisão, no caso da máquina C ter sido definida como a primeira a operar podemos verificar que isso não será possível, pois a mesma está com seu horímetro no limite para realização do seu overhaul, isto significa que a próxima da lista, máquina I, deverá ser escolhida a operar prioritariamente e assim devemos aplicar o mesmo entendimento conforme outra máquina atinja o valor de 32.000h.

#### **REFERÊNCIAS**

COSTA, H. G. **Introdução ao Método de Análise Hierárquica** – LATEC/UFF. 1 ed. Niteroi, 2006.

MORO, N. **Introdução a gestão da manutenção**. Florianópolis, 2007.

NHAMBIU, J.O.P. **Aulas de Motores Térmicos**. Universidade Eduardo Mondlane, 2014.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**, New York: McGraw Hill Companies, Inc., 1999.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**, 2ª ed., Rio de Janeiro, Makrom Books, 1991.