



## UM ESTUDO DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DA PLANTA DE PROCESSAMENTO PRIMÁRIO DE UMA PLATAFORMA DE PETRÓLEO COM TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS EM ÁGUA PRODUZIDA E DESCARTADA NO MAR

Laura Barrios de Barros Rigo (UFF) laurabarrios@id.uff.br  
Ana Paula Barbosa Sobral (UFF) ana\_sobral@id.uff.br

### Resumo

Na legislação brasileira, o teor de óleo e graxas (TOG) é o principal parâmetro avaliado para determinar a qualidade da água produzida descartada por plataformas marítimas de produção de petróleo, tendo limites bem estabelecidos. Para sua obtenção é exigida análise gravimétrica da amostra de água, de maneira que existe um descolamento de semanas entre o descarte da água pela plataforma e o resultado da análise. Esse estudo busca compreender a relação entre as variáveis de processo da planta de processamento de petróleo em uma plataforma, que possui dentre seus propósitos o tratamento da água produzida, e o TOG na água produzida que é descartada. O objetivo é identificar quais as principais variáveis do processo são responsáveis pela qualidade da água descartada. Para isso, foi aplicada a metodologia de Análise de Componentes Principais (PCA) em um conjunto de dados de operação da planta coletados a uma taxa diária por um período de quatro meses. Ao todo, foram avaliadas 62 variáveis de processo. A análise dos dados foi realizada no software estatístico R.

**Palavras-Chaves:** Teor de Óleos e Graxas (TOG), Água Produzida, Análise de Componentes Principais (PCA), software R.

### 1. Introdução

No reservatório de um campo produtor, o petróleo encontra-se em uma fase líquida conhecida como fase oleosa, ou simplesmente óleo. No entanto, ao alcançar a superfície, os hidrocarbonetos mais leves aparecem também na fase vapor. Além das fases oleosa e gasosa, um campo de petróleo normalmente produz água após um certo período de exploração. (BRASIL *et al.*, 2012)

Nos sistemas de produção de petróleo marítimos, existe uma planta de processamento primário localizada nas plataformas de produção. O processamento primário representa os meios utilizados nas plataformas para o processamento inicial dos fluidos produzidos pelos poços de petróleo, separando, tratando e especificando o óleo, o gás e a água, de acordo com padrões técnicos e exigências ambientais. (SOUZA, 2010).

No fim do processo, a água produzida normalmente é descartada no mar de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 393/2007, que dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural. Em seu artigo 5º, a CONAMA 393/2007 estabelece que o descarte de água produzida deverá obedecer à concentração média aritmética simples mensal de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L. Além disso, no artigo 6º dessa resolução, tem-se a determinação de que a concentração de óleos e graxas deverá ser determinada pelo método gravimétrico. (BRASIL, 2007)

A questão envolvida no monitoramento do TOG gravimétrico é que esta análise só pode ser realizada em terra, devido a limitações do método, de forma que existe um esforço logístico atrelado ao transporte das amostras para a base de operações da empresa e desta para um laboratório externo. Dessa maneira entre a coleta da água descartada e o resultado de TOG gravimétrico, na prática, há um intervalo de semanas. (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2020).

Para monitoramento tempestivo do TOG a bordo da plataforma estudada são realizadas análises fotométricas, no entanto, conforme será demonstrado pelo estudo dos dados neste trabalho, não há uma forte correlação entre os resultados do TOG fotométrico (realizado a bordo para monitoramento do processo de tratamento da água) e gravimétrico (exigido pela legislação para atestar a qualidade da água descartada).

Sendo assim, este estudo visa a compreensão das relações entre diversas variáveis de operação da planta de processamento primário de uma plataforma de petróleo a fim de correlacionar a operação dessa planta com a qualidade da água descartada no mar.

## 2. Referencial Teórico

O tema deste trabalho pode ser entendido como um problema de controle de qualidade de um processo industrial, em que o produto final é a água descartada. Essa água deve ter o padrão de qualidade definido pela Resolução Conama 393/2007, isto é, não pode ter os limites de TOG gravimétrico ultrapassados. O processo industrial de interesse é a planta de

processamento primário de petróleo a bordo da plataforma estudada, que recebe como “matéria prima” uma corrente misturada de petróleo, gás natural e água produzida e cujo objetivo é separar essa a corrente em frações relativamente puras de óleo, gás e a água. Sendo que a fração aquosa será descartada no mar. Nesse contexto, as variáveis de processo dessa planta de processamento primário, podem ser estudadas para estabelecer as variações que mais impactam na qualidade da água descartada.

Alguns estudos na literatura fazem uso da técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) para explicar a variabilidade de dados de processo. Como exemplo, cita-se o trabalho de Natarajan e Srinivasan (2010), que aplicam PCA para estudar a variabilidade de dados simulados da operação de uma plataforma de petróleo. Já França *et al.* (2021), desenvolveram uma abordagem para monitorar todo o processo de produção de cerveja artesanal através da aplicação de PCA a dados de análise coletados em todas as etapas no processo e geração de um gráfico de controle multivariado.

A técnica do PCA foi originalmente introduzida por Karl Pearson em 1901 e tem como objetivo principal explicar estrutura de variância e a covariância de um vetor aleatório composto por  $p$  variáveis aleatórias através da construção de combinações lineares das variáveis originais. Estas combinações lineares são chamadas de componentes principais (CP) e são não correlacionadas entre si. (Mingoti, 2005).

O PCA identifica direções (ou componentes principais) ao longo das quais a variação dos dados é máxima. A redução das dimensões dos dados pode ser alcançada identificando as direções principais, chamadas de componentes principais, nas quais os dados variam. A PCA assume que as direções com maior variância são as direções mais importantes. Como as componentes principais não são correlacionadas entre si, a PCA permite identificar padrões escondidos nos dados, variáveis originais correlatas e reduzir a dimensão dos dados (Kassambara, 2017). Dessa forma, é possível estudar uma quantidade significativa da variabilidade dos dados com um número de CP consideravelmente menor do que o número de variáveis aleatórias originais.

Dada a grande quantidade de dados obtidos através da metodologia descrita na próxima sessão, a PCA foi escolhida com o objetivo de resumir e correlacionar as informações desses dados multivariados em componentes principais capazes de explicar a variabilidade dos dados. Para realizar a PCA dos dados deste estudo foi utilizado o software estatístico R versão 4.0.4.

### 3. Metodologia

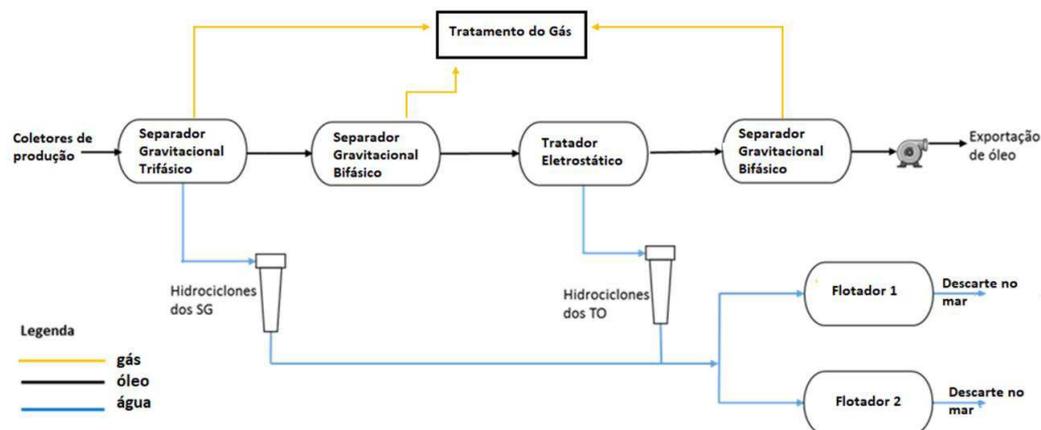
Quanto à abordagem e natureza, este trabalho é classificado como pesquisa quantitativa aplicada, pois pretende gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, enfatizando a objetividade na coleta e análise dos dados numéricos, assim como a utilização da estatística nesta análise. (GIL, 2007)

Quanto aos objetivos, esta é uma pesquisa exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito, envolvendo levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão. (TURRIONI E MELLO, 2012)

#### 3.1. Descrição do processo estudado

Os dados do processo estudado foram coletados em uma plataforma marítima de produção de petróleo localizada na Bacia de Campos, ao norte do Estado do Rio de Janeiro. A Figura 1 apresenta um diagrama simplificado do processo estudado.

Figura 1 - Representação simplificada da planta de processamento primário estudada neste trabalho.



Fonte: Elaboração própria

A planta possui dois trens de produção, A e B, que são idênticos. Na Figura 1 apenas um deles está representado. Um trem de produção é o conjunto sequencial de equipamentos composto por coletor de produção, separadores gravitacionais, tratador eletrostático e hidrociclones. A água tratada pelos dois trens de produção se junta na entrada dos flotadores e é encaminhada para cada um deles de acordo com a capacidade dos equipamentos. O fluido produzido (mistura de gás, óleo e água) chega nos primeiros separadores gravitacionais

através dos coletores de produção. Os coletores de produção são tubulações de grande diâmetro que juntam a produção dos diversos poços associados a determinada plataforma.

O primeiro equipamento dos trens de produção é um separador gravitacional (SG) trifásico, ou separador de 1º estágio. Segundo Souza (2010), a separação trifásica é a separação do gás, do óleo e da água livre devido à diferença de densidades entre os fluidos e ao tempo de retenção no equipamento. Na Figura 1 são representadas as saídas de água, óleo e gás para os equipamentos subsequentes. Em todos os equipamentos da planta existem válvulas controladoras de pressão e de níveis de óleo e interface, que, por meio de equipamentos eletropneumáticos, fazem o controle do fluxo de saída dos fluidos e das variáveis de operação dos equipamentos (pressão, temperatura e níveis). Os sinais desses equipamentos eletropneumáticos que são utilizados para controle de todos os equipamentos da planta de processamento primário serão utilizados para a análise de dados realizada neste trabalho.

Com a água livre separada e o gás encaminhado para o tratamento de gás, o óleo segue para o SG bifásico (ou separador de 2º estágio), que opera a uma pressão nominal menor e, por isso, permite que mais gás dissolvido no óleo se desprenda e seja encaminhado para a planta de tratamento de gás. A água presente no separador bifásico está fortemente emulsionada com o óleo. Por essa razão, a fase oleosa é encaminhada para os tratadores eletrostáticos de óleo (TO). Nesses equipamentos, as gotículas de água são induzidas a coalescência e a aglutinação através da aplicação de uma corrente elétrica. A polaridade das moléculas de água permite esse tratamento. Uma vez aglutinadas, as gotas maiores sofrem decantação nos TO's e mais uma parte da água é removida do óleo. O óleo segue então para um separador bifásico de 3º estágio e posteriormente será exportado para terra.

Tanto a água livre retirada no 1º estágio de separação quanto a água emulsionada retirada nos TO's são encaminhadas a hidrociclones. Como nenhum processo de separação é perfeito, uma pequena parcela do óleo é removida junto com a água. A finalidade dos hidrociclones é remover esse óleo, uma vez que o destino da água é o descarte no mar.

Os hidrociclones utilizam a energia centrífuga para a separação dos fluidos. Devido ao formato cônico do hidrociclone e ao diferencial de pressão existente entre as paredes e o centro, ocorre, na parte central do equipamento, um fluxo axial reverso. A fase pesada (água) sai pela parte inferior do hidrociclones e a fase leve (óleo) sai pelo orifício de rejeito na parte superior do hidrociclones. (Souza, 2010)

Finalmente, a água retirada dos hidrociclones é direcionada para dois flotores. O flotor 1 faz o tratamento final de cerca de 70% do volume de água e o restante é encaminhado para o flotor 2. O processo de flotação pode ser entendido como um polimento final da água produzida antes de seu descarte no mar. O objetivo é retirar o óleo que eventualmente ainda esteja emulsificado na água. A flotação nesses equipamentos ocorre através da inserção de gás em formato de pequenas bolhas na água oleosa. O gás percola o volume de água dentro dos equipamentos e, ao “encontrar” microbolhas de óleo (emulsificadas), as arrasta para a superfície da água. A água tratada, no fundo desses equipamentos, é então descartada no mar. Ao longo de um dia são coletadas amostras da água descartada que serão enviadas para análise de TOG em laboratório independente, para fins de atendimento da legislação CONAMA/393.

### 3.2. Aquisição de dados

Foram levantadas variáveis de processo disponíveis durante um período de quatro meses em uma base diária, já que a medição do TOG gravimétrico ocorre com frequência diária. Variáveis de processo são os valores dos sinais dos instrumentos eletropneumáticos presentes na planta de processamento primário a fim de controlar o processo. Além das variáveis de processo, foram levantados os valores de TOG fotométrico ao longo do processo, considerando que, apesar de não oficial, o valor desta análise é o principal estimador do TOG gravimétrico utilizado a bordo para controle do processo.

Ao todo, foram analisados dados de 62 variáveis do processo. Os dias em que houve paradas operacionais foram desconsiderados, pois, esses incidentes, mesmo por algumas horas, influenciavam consideravelmente os valores médios diários das variáveis observadas. Assim, durante os 4 meses de observações, foram coletados dados de 131 dias

## 4. Resultados e Discussões

Inicialmente foi feita uma matriz de correlação entre as 62 variáveis de processo estudadas e o TOG gravimétrico. Utilizou-se a correlação de Spearman para avaliar a relação linear entre as variáveis. Essa correlação foi escolhida porque avalia a relação monotônica entre duas variáveis contínuas ou ordinais. O maior coeficiente foi verificado entre o TOG gravimétrico e o TOG fotométrico, com  $r = 0,49$ . O p-valor para esta correlação estimada foi de  $3,4 \times 10^{-9}$ , ou seja, a correlação verificada é válida a um nível de significância de 5%. Conforme esperado, das variáveis medidas a bordo, o TOG fotométrico é o que mais se correlaciona com o TOG gravimétrico.

Foi feita uma primeira PCA com os dados de TOG gravimétrico e TOG fotométrico. Como resultado obteve-se que a primeira componente explicava 71,4% da variabilidade dos dados. E possuía coeficiente de correlação linear de Pearson de 0,73 com o TOG fotométrico e 0,93 com o TOG gravimétrico. Considerando a alta correlação entre a CP1 e o TOG gravimétrico, obteve-se por regressão linear, uma reta que correlacione as duas variáveis. A equação da reta possui coeficiente de determinação  $R^2 = 0,86$  e é dada por:

$$\text{TOG gravimétrico} = 0,988 \text{ CP1} - 0,287 \quad \text{Eq. (1)}$$

A componente principal obtida é dada por:

$$\text{CP1} = 0,707 * (\text{TOG fotométrico} + \text{TOG gravimétrico}) \quad \text{Eq. (2)}$$

Dado que o limite da legislação para o TOG gravimétrico é 29 mg/L, e que ele pode ser estimado pela componente principal, é possível obter um valor máximo estimado para a CP1 em (1) e substituir na equação (2) para estimar o TOG gravimétrico baseado no TOG fotométrico.

Apesar da simplicidade, obter uma estimativa do TOG gravimétrico com uma variável medida tempestivamente no processo facilita o controle da planta de processo para obter uma qualidade de água descartada conforme com a legislação. Mesmo assim, como o processo de exploração de petróleo é extremamente dinâmico, as equações obtidas podem ser usadas apenas momentaneamente, com necessidade de atualização dos dados periodicamente.

Considerando a possibilidade de estimar o TOG gravimétrico (analisado em terra) através do TOG fotométrico (analisado a bordo), é preciso compreender as variáveis do processo que mais influenciam o TOG fotométrico. Para ilustrar a necessidade da próxima etapa deste estudo, suponha que, em dado momento, obteve-se um resultado de TOG fotométrico a bordo que fará com que o resultado de TOG gravimétrico seja acima do permitido na legislação, de acordo com as estimativas obtidas pelas equações (1) e (2) discutidas anteriormente. A equipe de operação da planta deve, então, realizar manobras operacionais para manter a qualidade da água descartada dentro da exigida pela legislação. Quais variáveis de processo devem ser manipuladas, e como, para alterar o TOG fotométrico da maneira desejada?

A matriz de correlação de Spearman entre os dados brutos foi consultada novamente. A Tabela 1 apresenta as variáveis escolhidas por apresentarem correlações válidas com o TOG fotométrico a um nível de significância de 5%. A técnica de PCA será aplicada uma segunda vez, a fim de entender como essas variáveis de processo influenciam o TOG fotométrico.

Tabela 1 - Variáveis de processo selecionadas para realizar a 2ª PCA

Variável de Processo	Descrição	Correlação	p-value
V1	abertura da válvula de nível de óleo sep. 1º estágio - trem b	0,367	1,6E-05
V2	vazão saída da câmara de óleo sep. 1º estágio - trem b	0,345	5,4E-05
V3	abertura da válvula de nível de óleo sep. 2º estágio - trem b	0,235	6,8E-03
V4	pressão do separador sep. 2º estágio - trem b	0,217	1,3E-02
V5	nível de óleo no trat. eletrost. trem a	0,192	2,8E-02
V6	temperatura do óleo trat. eletrost. trem a	-0,365	1,8E-05
V7	nível de óleo trat. eletrost. trem b	0,293	6,8E-04
V8	abertura da válvula de nível de óleo trat. eletrost. trem b	0,341	6,9E-05
V9	temperatura óleo trat. eletrost. trem b	-0,306	3,8E-04
V10	total de óleo produzido	0,220	1,1E-02
V11	set point do nível - flotor 1	0,225	9,7E-03
V12	TOG fotométrico na entrada do flotor 1	0,252	3,7E-03
V13	Total de gás utilizado para gás lift	0,183	3,6E-02
V14	Total de gás produzido	-0,275	1,5E-03
V15	Total de água produzida	0,217	1,3E-02
V16	TOG fotométrico na saída do flotor 1	-	-

Fonte: elaboração própria

Como os dados coletados possuíam escalas diferentes, inicialmente foi realizada uma padronização dos dados para que a variabilidade do conjunto de dados não fosse originada na discrepância entre as escalas das variáveis de processo analisadas. Foi realizada uma padronização baseada na média e desvio padrão de cada variável observada, conforme a Equação 3.

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{S_i} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que, para cada uma das 16 (i) variáveis observadas,  $Z_i$  é o dado padronizado,  $X_i$  é a  $i$ -ésima observação original,  $\bar{X}_i$  é a média das observações e  $S_i$  é o desvio padrão do conjunto de dados. Dessa maneira, as componentes principais foram construídas utilizando a matriz de covariâncias das variáveis  $Z_i$  e são combinações lineares dessas variáveis padronizadas.

O grau de variância explicado por cada componente principal é medido pelos autovalores da matriz de covariâncias. A Tabela 2 apresenta os autovalores, o percentual da variância explicada por cada componente principal e o percentual da variância explicada acumulada para os 16 componentes principais obtidos. Os autovalores podem ser utilizados para determinar a quantidade de componentes principais retidos após a realização da PCA. Um autovalor maior que 1 indica que aquela componente retém mais variabilidade dos dados do que uma variável padronizada sozinha. Assim, o critério de Kaiser recomenda reter CP com autovalores maiores que 1. (Mingoti, 2007).

Tabela 2 – Variância dos dados explicada componentes principais

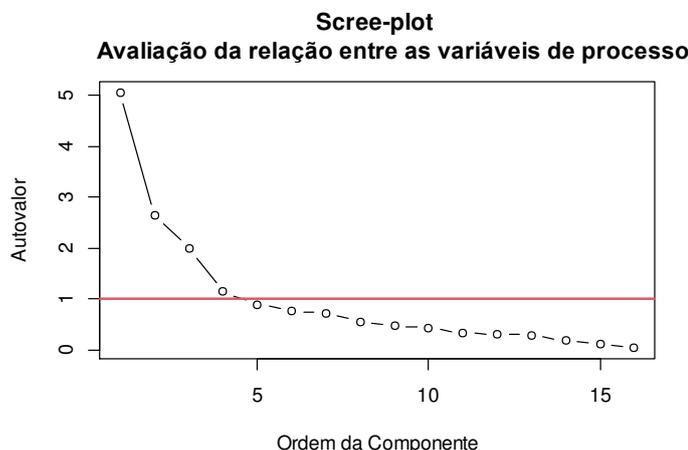
Componente Principal	Autovalor	Variância explicada (%)	Variância explicada acumulada (%)
CP1	5,1	31,7	31,7
CP2	2,6	16,5	48,2
CP3	2,0	12,5	60,7
CP4	1,1	7,1	67,8
CP5	0,9	5,6	73,4
CP6	0,8	4,8	78,3
CP7	0,7	4,5	82,8
CP8	0,6	3,5	86,3
CP9	0,5	3,0	89,3
CP10	0,4	2,8	92,0
CP11	0,3	2,1	94,1
CP12	0,3	2,0	96,1
CP13	0,3	1,9	97,9
CP14	0,2	1,1	99,0
CP15	0,1	0,7	99,7
CP16	0,0	0,3	100,0

Fonte: Elaboração Própria

Um método alternativo para a escolha do número de CP é o gráfico conhecido como *Scree-Plot* que ordena os autovalores em ordem decrescente. O número de componentes é determinado quando há uma mudança na inflexão da curva e/ou quando os autovalores restantes possuem tamanhos pequenos e relativamente próximos entre si. (Kassambara, 2017)

Na Figura 2, a linha vermelha indica autovalores iguais a 1 e abaixo dela os componentes seriam excluídos pelo critério de Kaiser. Observa-se que a partir do quarto componente a inclinação da curva apresenta uma mudança considerável. Dada a convergência dos critérios, serão analisados as primeiras quatro CP obtidas na PCA realizada.

Figura 2 - *Scree-Plot* dos autovalores de cada CP obtido no PCA dos dados estudados.



Fonte: Elaboração própria

Cada CP é capaz de explicar um percentual da variância de cada variável estudada. A Tabela 3 resume essa informação. Observa-se que as quatro CP escolhidas explicam 56% da variância observada no TOG fotométrico na água descartada no mar (saída do flotor 1), sendo CP2 a componente que retém a maior parte da informação dessa variável.

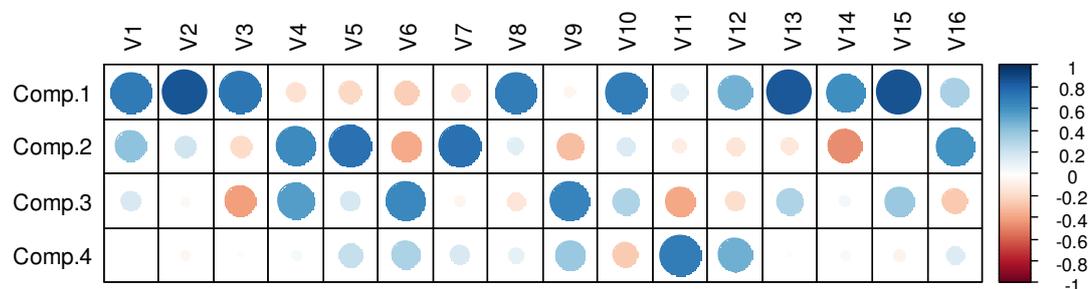
Tabela 3 – Variância de cada variável explicada pelas CP escolhidas

Variável	% de variância explicada				Total
	CP1	CP2	CP3	CP 4	
V1 abertura da válvula de nível de óleo sep. 1º estágio - trem b	49,9	16,0	2,8	0,0	68,7
V2 vazão saída da câmara de óleo sep. 1º estágio - trem b	72,9	3,7	0,1	0,2	76,9
V3 abertura da válvula de nível de óleo sep. 2º estágio - trem b	52,7	3,3	17,0	0,0	73,0
V4 pressão do separador sep. 2º estágio - trem b	2,4	40,7	31,1	0,2	74,4
V5 nível de óleo no trat. eletrost. trem a	4,2	55,9	3,0	5,3	68,4
V6 temperatura do óleo trat. eletrost. trem a	6,1	14,0	41,5	10,0	71,6
V7 nível de óleo trat. eletrost. trem b	1,9	55,6	0,3	2,7	60,6
V8 abertura da válvula de nível de óleo trat. eletrost. trem b	48,6	1,6	1,8	1,2	53,1
V9 temperatura óleo trat. eletrost. trem b	0,3	9,2	44,8	14,2	68,5
V10 total de óleo produzido	48,6	2,3	9,1	6,7	66,7
V11 set point do nível - flotor 1	1,3	0,8	14,8	47,9	64,7
V12 TOG fotométrico na entrada do flotor 1	22,3	1,9	2,9	23,2	50,4
V13 Total de gás utilizado para gás lift	71,6	1,6	9,5	0,0	82,7
V14 Total de gás produzido	37,8	21,4	0,3	0,1	59,6
V15 Total de água produzida	75,5	0,0	13,8	0,4	89,8
V16 TOG fotométrico na saída do flotor 1	10,9	35,9	7,0	2,2	56,0

Fonte: Elaboração própria

Para avaliar a correlação das variáveis com as CP estudadas, foi feito o gráfico de correlação apresentado na Figura 3. A escala de cores é apresentada à direita e o tamanho dos círculos é proporcional a intensidade da correlação.

Figura 3 - Correlação entre as variáveis e as CP estudadas



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 3, verifica-se que a correlação do TOG fotométrico na água descartada (V16) não possui coeficiente de correlação estimada maior que 0,7 com nenhuma das quatro CP. Isso impossibilita utilizar a mesma abordagem realizada para o TOG gravimétrico, isto é, estimar o

valor do TOG fotométrico a partir de regressão linear com uma das componentes principais, pois as equações obtidas possuiriam coeficientes de determinação ( $R^2$ ) menores que 0,5 e não gerariam boas estimativas para essa variável.

Analisando a Tabela 3 em conjunto com a Figura 3, observa-se que a CP1 retém boa parte da informação de V1, V2, V3, V8 que são variáveis relacionadas ao nível de óleo nos equipamentos, além de V10, V13, V14 e V15, que estão associadas aos totais de fluido produzido pela plataforma, através de correlações positivas. Assim, a CP1 pode ser interpretada como um indicador do nível produção da plataforma. A CP1 é positivamente correlacionada com o TOG na entrada e na saída o flotor 1 (V12 e V16), indicando que, quanto maior o nível de produção, pior a qualidade da água na entrada e na saída do último equipamento da planta, pois os valores de TOG serão maiores.

A CP2 é a componente que melhor representa a variância dos dados do TOG fotométrico na água descartada (V16). Ela também representa bem a variância trazida pelas V5 e V7 (nível de óleo nos tratadores eletrostáticos), V4 (pressão no separador de 2º estágio) e V14 (total de gás produzido), sendo a correlação com essa última negativa. Assim, a CP2 é a componente que representa melhor a qualidade da água descartada, quanto maior seu valor, maior o TOG e pior a qualidade da água. Ela também traz a informação de que as principais variáveis de processo a serem manipuladas (reduzidas) para obter a redução do TOG são os níveis de óleo dos tratadores eletrostáticos e a pressão no separador de 2º estágio.

A CP3 se relaciona principalmente e positivamente com as temperaturas do óleo nos tratadores eletrostáticos (V6 e V9), e apresenta correlação negativa com o TOG fotométrico da água descartada (V16). Ou seja, quanto maior a CP3, menor o TOG e melhor a qualidade da água. Essa componente indica que aumentar a temperatura do óleo nos tratadores eletrostáticos contribui com a melhoria da qualidade da água descartada.

Finalmente, a CP4 é a componente que traz as informações sobre a operação do flotor 1. Quanto maior o *setpoint* do nível de óleo nesse equipamento e o TOG da água na entrada dele, maior a CP4 e maior o TOG na saída. Ou seja, quanto maior a CP4 pior a qualidade da água descartada.

Essas interpretações podem ser confirmadas pela análise dos coeficientes das equações das componentes principais apresentadas na Tabela 4. Os coeficientes de cada variável na composição das CP revelam numericamente a magnitude das avaliações qualitativas das variáveis feitas com base na Tabela 3 e na Figura 3.

Tabela 4 - Coeficientes de cada variável na composição das CP.

Variável	Coeficientes			
	CP1	CP2	CP3	CP4
abertura da válvula de nível de óleo sep. 1° estágio - trem b	0,314	0,246	0,118	0,001
vazão saída da câmara de óleo sep. 1° estágio - trem b	0,379	0,119	-0,026	-0,039
abertura da válvula de nível de óleo sep. 2° estágio - trem b	0,322	-0,112	-0,291	0,014
pressão do separador sep. 2° estágio - trem b	-0,069	0,393	0,395	0,042
nível de óleo no trat. eletrost. trem a	-0,091	0,460	0,122	0,216
temperatura do óleo trat. eletrost. trem a	-0,110	-0,230	0,456	0,296
nível de óleo trat. eletrost. trem b	-0,062	0,459	-0,041	0,154
abertura da válvula de nível de óleo trat. eletrost. trem b	0,310	0,077	-0,095	0,102
temperatura óleo trat. eletrost. trem b	-0,025	-0,186	0,473	0,353
total de óleo produzido	0,310	0,093	0,214	-0,242
set point do nível - flotor 1	0,050	-0,055	-0,272	0,647
TOG fotométrico na entrada do flotor 1	0,210	-0,085	-0,121	0,450
Total de gás utilizado para gás lift	0,376	-0,077	0,218	-0,014
Total de gás produzido	0,273	-0,285	0,039	0,033
Total de água produzida	0,386	0,005	0,263	-0,062
TOG fotométrico na saída do flotor 1	0,146	0,369	-0,187	0,138

Fonte: Elaboração própria

## 5. Considerações Finais

Esse trabalho revelou o potencial de estimar o TOG gravimétrico, cujo resultado da análise é obtido semanas depois da coleta da amostra, através do TOG fotométrico, obtido a bordo da plataforma. A abordagem proposta, apesar de simples, possui um grande potencial de adequar o controle de qualidade do processo as exigências de qualidade da água da legislação.

As relações entre as variáveis de processo e o TOG fotométrico na água descartada reveladas pela 2ª análise de PCA são de extrema importância para direcionar as intervenções no processo que devem ser feitas pela equipe de operação da plataforma a fim de melhorar a qualidade da água descartada quando da verificação de resultados ruins do TOG fotométrico.

Dado que o processo de produção e processamento de petróleo é muito dinâmico e customizado, os resultados obtidos neste trabalho não podem ser aplicados a todo e qualquer processo. Apenas a metodologia tem potencial de ser reproduzida, sendo necessários dados atualizados periodicamente para se obter estimativas de qualidade da água coerentes com o estado atual de cada processo.

Estudos futuros podem investigar a periodicidade de atualização dos dados de processo necessária para manter uma boa estimativa do TOG gravimétrico.



## 6. Referências Bibliográficas

ARAÚJO FILHO, Celso Fernandes *et al.* Monitoramento de teor de óleos e graxas em água descartada no mar usando ciência de dados. **Proceedings Of The Rio Oil & Gas Expo And Conference**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

BRASIL, Nilo Indio do *et al* (org.). **Processamento de Petróleo e Gás: petróleo e seus derivados, processamento primário, processos de refino, petroquímica, meio ambiente.** Rio de Janeiro: LTC, 2012. 266 p.

BRASIL, **Resolução CONAMA N° 393**, de 8 de agosto de 2007. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

FRANÇA, Leandro *et al.* A single model to monitor multistep craft beer manufacturing using near infrared spectroscopy and chemometrics. **Food And Bioproducts Processing**, [S.L.], v. 126, p. 95-103, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2020.12.011>.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

KASSAMBARA, ALBOUKADEL. **Practical Guide to Principal Component Methods in R.** 1 ed. USA: STHDA, 2017. 205p.

MINGOTI, Sueli Aparecida. **Análise de dados através de estatística multivariada: uma abordagem aplicada.** Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297 p.

NATARAJAN, Sathish; SRINIVASAN, Rajagopalan. Multi-model based process condition monitoring of offshore oil and gas production process. **Chemical Engineering Research And Design**, [S.L.], v. 88, n. 5-6, p. 572-591, maio 2010. Elsevier BV.

R Core Team (2021). **R: A language and environment for statistical computing.** RFoundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>

SOUZA, Leôncio de Almeida, Apostila Programa Alta Competência - **Noções de Processamento Primário de Petróleo.** Rio de Janeiro: Petrobras, PUC-RJ, 2010.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção.** Universidade Federal de Itajubá. Minas Gerais, 2012.