

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de P&D em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

REPRESENTAÇÃO ESTATÍSTICA DE DADOS DE SOLO SEGUNDO A NORMA DNV RP-C207: A RESISTÊNCIA NÃO-DRENADA COMO PARÂMETRO DEPENDENTE DO SOLO

AUTORES:

Pedro Henrique Matias Silva¹, João Paulo Lima Santos²

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Alagoas¹, Universidade Federal de Alagoas²

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

REPRESENTAÇÃO ESTATÍSTICA DE DADOS DE SOLO SEGUNDO A NORMA DNV RP-C207: A RESISTÊNCIA NÃO DRENADA COMO PARÂMETRO DEPENDENTE DO SOLO

Abstract

The structural behavior of the conductor casing in oil wells in the various project phases (installation, tests and operation) defines the conditions to which the loads and deformations are applied to the soil. The conductor is the first casing in the well, fixed in a small depth with the objective to give structural stiffness to the wellhead system, supporting the loads transferred during its construction, by the riser and BOP (Blowout Preventer). The geotechnical characterization of the soil becomes essential to the study of its load capacity for the conductor casing, in a way that it supports the loads without causing damage and compromising the wellbore operation. The non-drained resistance is one of the key parameters in the project phase of this structure as well the soil behavior analysis. The recommended practice DNV-RP-C207 deals with the statistical representation of soil data, in a way to suggest a methodology to the use of characteristic values of the soil properties. The present work suggests a study about the non-drained resistance as dependent variable of the soil following the recommendation practice proposal.

Introdução

Durante a operação de poços de petróleo é necessário que o solo seja apto a receber solicitações permanentes e temporárias que são transmitidas pelo revestimento condutor do poço. Desse modo, é de extrema importância o estudo acerca da capacidade de carga do solo para o revestimento condutor, de modo que este suporte os esforços submetidos sem causar algum dano e comprometa a operação no poço.

Atualmente a técnica mais utilizada pela indústria para representar o solo consiste no emprego de molas com comportamento não-linear que contemplam as diferentes propriedades físicas e mecânicas de cada camada do solo. Logo, para a etapa de dimensionamento do projeto do poço entende-se a caracterização geotécnica como de grande importância para uma análise adequada e mais representativa do real comportamento do solo na área de interesse.

A caracterização geotécnica, por sua vez, está sujeita a incerteza, tanto em termos de variabilidade natural quanto em termos de quantidades limitadas de dados, de modo que seja realizado um tratamento para tais dados por métodos estatísticos permitindo principalmente a obtenção de valores característicos de seleção para uso em design.

A seleção dos valores característicos das propriedades do solo para uso em design geotécnico é muitas vezes baseada no julgamento subjetivo e na experiência acumulada, e as incertezas que estão envolvidas com as propriedades do solo são, de forma limitada, trazidas para a imagem quando os valores característicos são escolhidos.

A norma DNV-RP-C207 fornece princípios, orientações e recomendações para o uso de métodos estatísticos para análise e representação de dados do solo. É um de seus principais objetivos demonstrar como os valores característicos das propriedades do solo podem ser extraídos dos dados disponíveis de forma racional por meio de métodos estatísticos. Os métodos estatísticos permitem a quantificação das incertezas envolvidas e tornam possível explicar essas incertezas de forma racional.

Metodologia

Na caracterização geotécnica de uma dada região, alguns furos são realizados a fim de recrutar informações em valores do solo para a etapa de dimensionamento do poço. Um dos parâmetros obtidos é a resistência não drenada do solo, que para as atuais formulações desenvolvidas, é parâmetro chave para análise de capacidade de carga do solo.

Para a metodologia proposta na norma, sendo a Y uma variável do solo, cuja variação com a profundidade Z pode ser razoavelmente bem modelada como uma função linear, ela é tida então como uma variável chamada dependente, onde Z é independente. Assim, para n pares de observações (z_i, y_i) , $i = 1, \dots, n$, disponíveis a partir de uma campanha de investigação do solo, a variação de Y pela profundidade pode ser expressa conforme a Equação 1.

$$Y = a_0 + a_1 \cdot z + \epsilon \quad (1)$$

onde o termo $a_0 + a_1 \cdot z$ representa a variação linear média ao longo da profundidade e o termo ϵ representa a variabilidade natural de Y sobre a média, e onde Z denota a profundidade abaixo da superfície do solo. Os coeficientes a_0 e a_1 representam a interceptação de superfície e o gradiente de profundidade, respectivamente, da média de Y . O termo ϵ representa a variabilidade do desvio padrão denotado por σ ao longo da profundidade.

Para o caso em que o desvio padrão é diretamente proporcional da profundidade Z , $\sigma = k \cdot z$, a variabilidade natural é dependente do solo e não constante ao longo da profundidade, os coeficientes a_1 e a_0 , podem ser estimados para os n pares de observações conforme as Equações 2 e 3, respectivamente:

$$\hat{a}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i \cdot \sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i}}{\sum_{i=1}^n w_i z_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n w_i z_i)^2}{\sum_{i=1}^n w_i}} \quad (2)$$

$$\hat{a}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i - \hat{a}_1 \sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

Onde w_i corresponde ao inverso quadrado de z_i , cujo denota a profundidade da i ésima observação y_i de Y .

A constante de proporcionalidade k na expressão do termo de variabilidade natural é estimada conforme a Equação 4.

$$\hat{k} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n w_i (y_i - (\hat{a}_0 + \hat{a}_1 z_i))^2} \quad (4)$$

Incertezas nos cálculos dos parâmetros a_0 , a_1 e k são consideradas devido à limitação no número de dados usados na estimativa. As incertezas nas estimativas podem ser representadas pelo respectivo desvio padrão, denotando erros padrões. Se necessários, esses erros podem ser dados por:

$$se(\hat{a}_0) = \hat{k} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i^2}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \sum_{i=1}^n w_i z_i^2 - (\sum_{i=1}^n w_i z_i)^2}} \quad (5)$$

$$se(\hat{a}_1) = \hat{k} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \sum_{i=1}^n w_i z_i^2 - (\sum_{i=1}^n w_i z_i)^2}} \quad (6)$$

$$se(\hat{k}^2) = \hat{k}^2 \sqrt{\frac{2}{n-2}} \quad (7)$$

Sendo a Condição 1 de análise levando-se em conta os dados brutos obtidos, aborda-se ainda uma análise de confiabilidade dos resultados. Para isso, faz-se uso das Tabelas 2.3 e 2.4 descritas em DNV^[1] no item “2.5.2 – *Parameter estimation with confidence, dependent variables*” para uma análise de confiabilidade propondo reajustes nos valores dos coeficientes lineares da reta obtidos. Neste quesito, considerou-se duas situações:

- I. Condição 2: Considere a situação de que o valor característico de Y deve ser tomado como o valor médio da resistência não drenada (S_u) estimado com 95% de confiança.
- II. Condição 3: Considere a situação em que o valor característico de Y deve ser tomado como o quantil de 5% de S_u estimado com 95% de confiança.

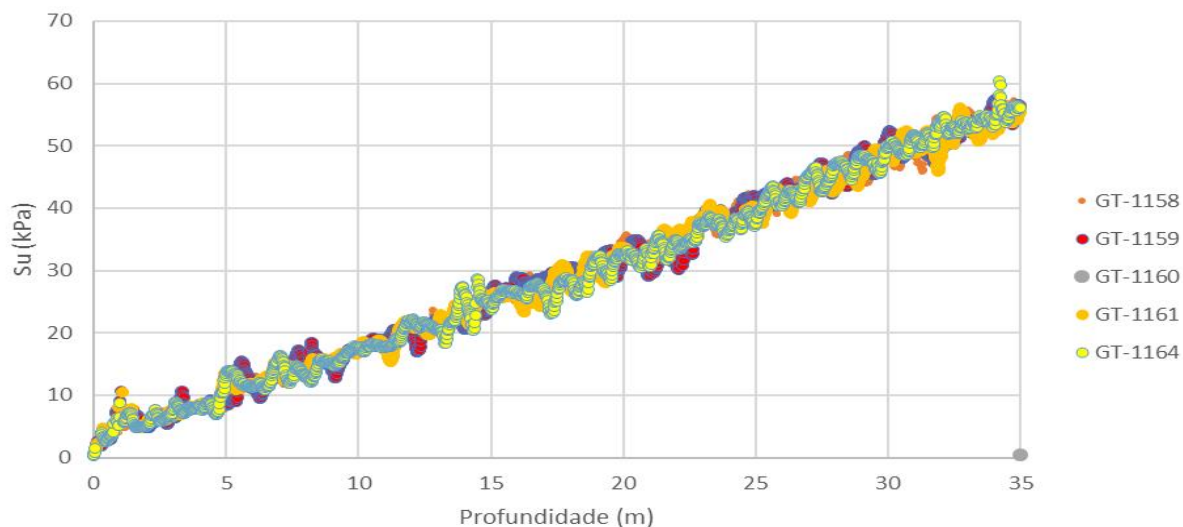
Avaliou-se ainda o modelo de distribuição normal para a variável ao longo da profundidade tratada em DNV^[1] no item “2.3.3. – *The normal distribution*” considerando as Condições 1 e 2.

Para cinco amostras de resistência não drenada (S_u) obtidas a partir de furo geotécnico em um solo considerado homogêneo, verifica-se a aplicação da metodologia proposta em norma, a qual estima os melhores coeficientes lineares que propiciam a melhor estimativa para a representação da variável ao longo da profundidade, bem como a avaliação da distribuição normal por profundidade considerando a proximidade dos furos. Os furos estão nomeados como GT-1158, GT-1159, GT-1160, GT-1161 e GT-1164 e suas análises são realizadas até a profundidade de 35 m devido ao truncamento de um dos pontos de furo nessa profundidade.

Resultados e Discussão

No Gráfico 1, verifica-se os valores de $S_u \times profundidade$ para as cinco amostras avaliadas. Neste, é possível visualmente verificar a relação de linearidade da variável S_u ao longo da profundidade, bem como a similaridade quantitativa e qualitativa em seu comportamento para o intervalo avaliado retratando a homogeneidade do solo em questão.

Gráfico 1: Reta obtida sem tratamento dos dados



Fonte: Autor

Para estes dados fez-se uso das formulações propostas em norma tratando a variável como dependente do solo obtendo retas para os dados de furo com e sem tratamento, conforme proposta descrita na metodologia. Os coeficientes angulares e variabilidade natural obtidos para os cinco furos estão descritos na Tabela 1, enquanto que os coeficientes angulares de acordo com as considerações de cálculo propostas em metodologia estão dispostos na Tabela 2. Os comportamentos gráficos foram semelhantes devido a homogeneidade e similaridade quantitativa e qualitativa dos dados conforme visualizado no Gráfico 1, de modo que o Gráfico 2 retrata as retas obtidas em função dos dados de S_u para o furo GT-1158 e que foram similares aos vistos para os demais furos.

Tabela 1: Coeficientes lineares e variabilidades naturais obtidos.

Parâmetro	Furo				
	GT-1158	GT-1159	GT-1160	GT-1161	GT-1164
$a1$	1,714	1,805	1,733	1,715	1,747
k	0,896	1,001	0,801	0,831	0,790

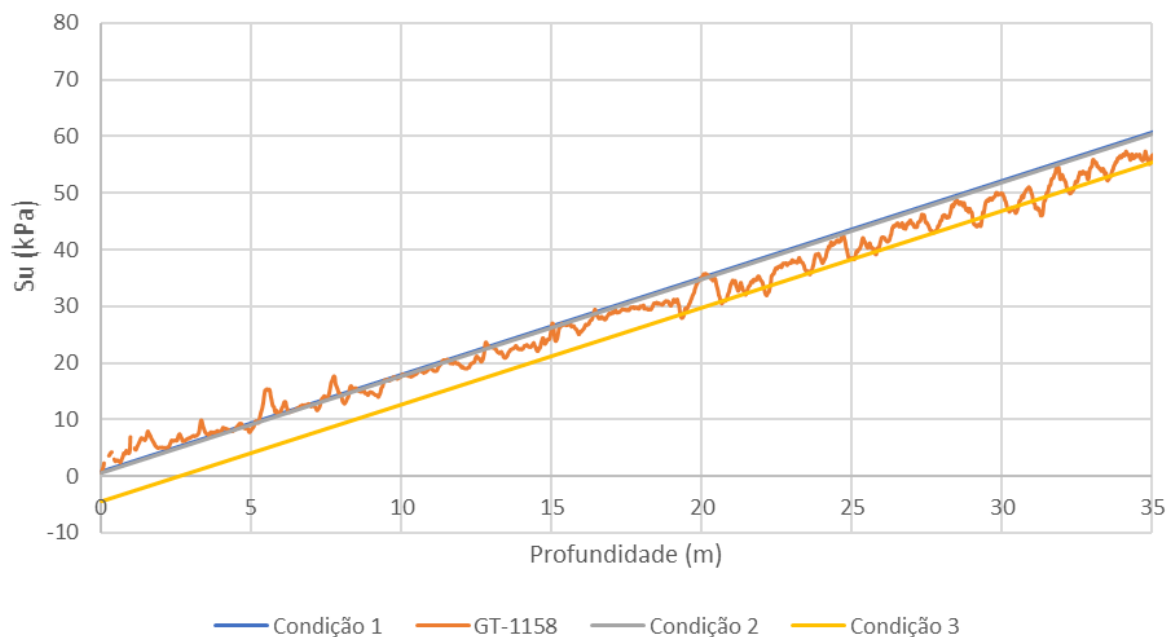
Fonte: Autor

Tabela 2: Coeficientes lineares obtidos

Parâmetro	Cálculo	Furo				
		GT-1158	GT-1159	GT-1160	GT-1161	GT-1164
$a0$	Condição 1	0,795	0,516	0,498	0,422	0,324
	Condição 2	0,555	0,142	0,242	0,152	0,028
	Condição 3	-4,546	-7,117	-5,213	-5,576	-6,280

Fonte: Autor.

Gráfico 2: Retas obtidas para o furo GT-1158



Fonte: Autor.

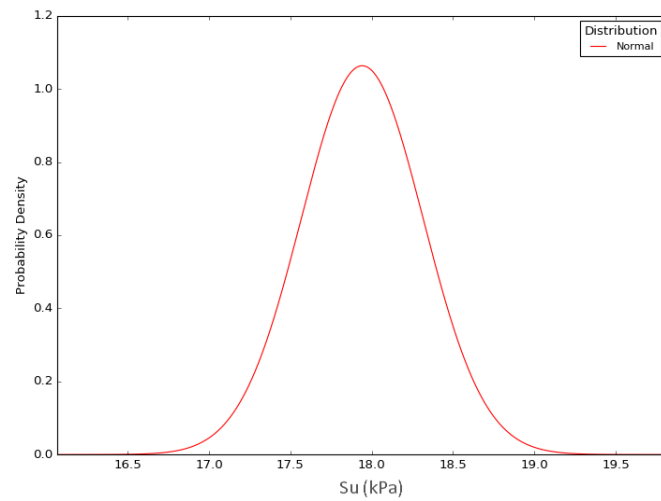
Ressalta-se que os valores negativos obtidos devido às considerações da metodologia tornam-se não representativos para a análise até a profundidade de 2,5 m e devem-se às considerações realizadas na metodologia da Condição 3 da Análise de Confiabilidade dos dados.

Verifica-se um comportamento semelhante quantitativamente entre as considerações de cálculo da Condição 1 (dados brutos) e Condição 2, com um leve *lower bound* para profundidades rasas (até 5 m), porém um *upper bound* que fica evidente para maiores profundidades, de modo a trazer um maior risco na etapa de dimensionamento, já a capacidade de carga do solo para este local estaria sendo super estimada.

Por outro lado, a reta obtida devido a Condição 3 encontra-se em leve *lower bound* dos dados de S_u ao longo de toda a profundidade oferecendo uma significativa diferença em relação às duas outras considerações de cálculo (cerca de 5 kPa). Esta condição, adotando essa subestimativa da resistência não drenada propicia uma maior margem de segurança na etapa de dimensionamento do projeto de poço, já que a capacidade de carga do solo estaria abaixo do real.

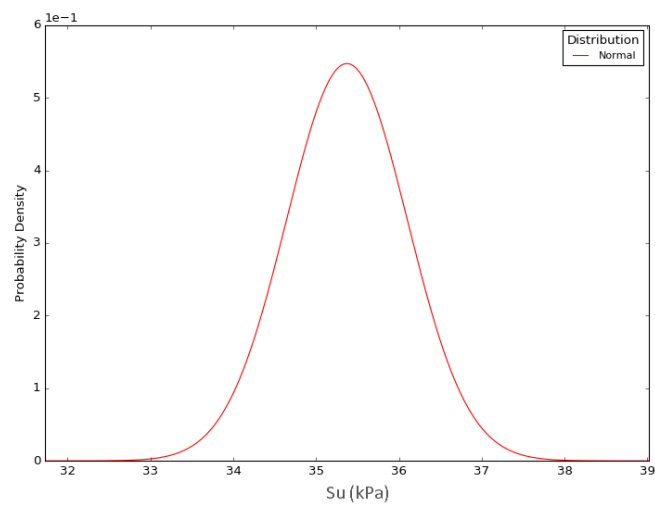
Seguiu-se o estudo avaliando a distribuição da variável S_u por profundidade para os 5 furos considerando as retas obtidas para as Condições 1 e 2 de cálculo, que tiveram resultado bastante semelhante. Para isso, considerou-se um modelo de distribuição normal para diferentes profundidades (10, 20 e 30 m). Os resultados obtidos encontram-se dispostos nos Gráficos 3, 4 e 5.

Gráfico 3: Distribuição normal de probabilidade de S_u na profundidade de 10 m



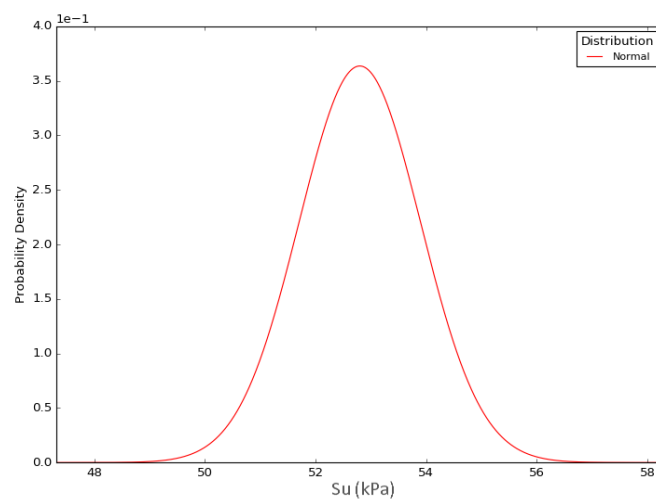
Fonte: Autor.

Gráfico 4: Distribuição normal de probabilidade de S_u na profundidade de 20 m



Fonte: Autor.

Gráfico 3: Distribuição normal de probabilidade de S_u na profundidade de 30 m



Fonte: Autor.

Verifica-se uma boa representatividade acerca da função de distribuição normal de probabilidade por profundidade evidenciando ainda essa relação e possibilidade de modelagem geoestatística, que pode servir para uma análise de variância avançando os estudos acerca da possibilidade de avaliação geoespacial da área ao redor dos furos e de sua propriedade de resistência do solo com confiabilidade.

Assim sendo, tem-se a norma DNV RP-C-207 como portadora de uma metodologia que possibilite trabalhar a partir da geoestatística dados geotécnicos, de modo a possibilitar ferramentas de análises de incertezas destes dados obtidos que tornam-se essenciais no desenvolvimento de poços de petróleo.

Conclusões

O presente trabalho possibilitou um estudo de caso por meio da análise de dados de resistência não drenada de solo em uma amostra homogênea de solo por geoestatística seguindo metodologia proposta na norma DNV RP-C207 obtendo a melhor estimativa da variável na forma de uma reta para a consideração de dependência do solo.

Pode-se avaliar a influência das incertezas advindas dos dados de S_u e suas implicações nos valores característicos obtidos a partir da metodologia adotada verificando sua influência na etapa de análise de capacidade de carga de solos, de modo que uma subestimativa da resistência promove um aumento da segurança na etapa de dimensionamento.

Outra frente de estudo, permitiu verificar a distribuição normal da S_u por profundidade entendendo esta distribuição como representativa para as cinco amostras consideradas. Isto serve como primeiro passo num grande estudo da variável em análise geoespacial da região como um todo a partir da análise de dados de furos geotécnicos.

Agradecimentos

À Deus, minha família, amigos pelo apoio e a orientação de João Paulo Lima Santos.

Referências Bibliográficas

DNV-RP-C207, Statistical Representation of Soil Data, Det Norske Veritas, January 2012.