

## **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE HILF E HILF-PROCTOR PARA O CONTROLE DE COMPACTAÇÃO DE BARRAGENS DE TERRA: UM ESTUDO DE CASO NA UHE BATALHA**

### **COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN THE HILF AND HILF-PROCTOR METHODS FOR COMPACTION CONTROL OF EARTH DAMS: A CASE STUDY AT UHE BATALHA**

**MARYANA JUVENTINO VIANA**

UEG – Universidade Estadual de Goiás – Anápolis (GO)  
maryanaviana921@gmail.com

**RENATO MARQUES CABRAL**

UEG – Universidade Estadual de Goiás – Anápolis (GO)  
renatocabral591@gmail.com

**MARLON SILVA SCHLIEWE**

IFG – Instituto Federal de Goiás  
marlon.schlieve@ifg.edu.br

**PAULO MÁRCIO FERNANDES VIANA**

UEG – Universidade Estadual de Goiás – Anápolis (GO).  
paulo.viana@ueg.br

**Resumo:** O controle de compactação é um procedimento indispensável para a execução com qualidade de aterros, principalmente quando aplicados a barragens de terra, de modo a garantir as propriedades do maciço requeridas em projeto. Os parâmetros de controle, ou seja, o grau de compactação e o desvio de umidade, podem ser determinados por metodologias como a de Hilf e a de Hilf-Proctor, as duas metodologias mais aplicadas em barragens de terra nos últimos 30 anos. Nesse contexto, o presente artigo propõe realizar uma análise comparativa entre os métodos de Hilf e de Hilf-Proctor. O estudo de caso foi realizado com os dados coletados durante o controle de compactação da UHE Batalha, localizada no rio São Marcos, entre Cristalina (GO) e Paracatu (MG). Esse trabalho traz análises comparativas entre os resultados dos dois ensaios (de Hilf e de Hilf-Proctor) para os dois parâmetros de controle (grau de compactação e desvio de umidade), desde análises iniciais (número de aprovações e reprovações), comparação entre as medidas de estatística descritiva e comportamento de gráficos e a aplicação de um teste de hipótese. Os resultados evidenciam que os dados de grau de compactação apresentaram uma coerência nos resultados, entretanto os resultados de desvio de umidade apresentaram uma diferença estatística significativa.

**Palavras-chave:** Barragem de terra. Compactação. Controle de compactação. Hilf. Hilf-Proctor.

**Abstract:** Compaction control is an essential procedure for ensuring quality in the execution of embankments, particularly in earth dams, to guarantee that the properties of the mass meet project requirements. The control parameters, namely the degree of compaction and moisture deviation, can be determined through methodologies such as Hilf and Hilf-Proctor, the two most widely applied methods in earth dams over the past 30 years. In this context, the present article proposes a comparative analysis of the Hilf and Hilf-Proctor methods. The case study was conducted using data collected during the compaction control of the Batalha Hydroelectric Plant (UHE Batalha), located on the São Marcos River, between Cristalina (GO) and Paracatu (MG). This work provides

comparative analyses of the results from the two tests (Hilf and Hilf-Proctor) for the two control parameters (degree of compaction and moisture deviation), including initial analyses (number of approvals and rejections), comparison of descriptive statistical measures, graphical behavior, and the application of a hypothesis test. The results indicate consistency in the degree of compaction data; however, a statistically significant difference was observed in the moisture deviation results.

**Keywords:** Earth Dam. Compaction. Compaction control. Hilf. Hilf-Proctor.

## **Introdução**

Um dos procedimentos fundamentais para a estabilidade de obras geotécnicas é a compactação dos solos. Compactar um solo consiste em torná-lo mais denso, ou seja, reduzir seu índice de vazios, resultando em um material mais resistente e propício para os propósitos a que se destina. O processo de compactação é feito com equipamentos manuais ou mecânicos, nos quais utilizam de solicitações estáticas, impacto e vibração para transmitir uma energia ao solo e diminuir seu volume (VILLAR, 2023).

O processo de compactação pode ser executado em laboratório e em campo. O ensaio de compactação, também conhecido como ensaio de Proctor e normatizado pela ABNT NBR 7182/2020, consiste em compactar uma amostra, sob uma determinada energia de compactação, com diferentes teores de umidade sob a ação de golpes de soquete. Para cada amostra, determina-se um peso específico aparente seco e a umidade correspondente, para se obter um gráfico conhecido como curva de compactação. Já em campo, a compactação é dividida em etapas, como a escavação, transporte e espalhamento do solo, o acerto da umidade e a compactação com o uso de equipamentos compactadores.

Para avaliar a qualidade da compactação, duas variáveis são levadas em conta: o teor de umidade e o peso específico aparente seco. Logo, é preciso realizar o controle de compactação, que consiste em avaliar a camada compactada em função das diretrizes de projeto. Para a execução do controle são fixados dois parâmetros de verificação: o grau de compactação e o desvio de umidade.

O controle de compactação é um processo essencial para garantir a qualidade da compactação, conseqüentemente as propriedades requeridas do maciço, e evitar recompactações desnecessárias. Esse procedimento é de relevância adicional na construção de barragens de terra, onde são avaliadas de forma indireta propriedades como permeabilidade, deformabilidade e resistência. Diversos métodos foram empregados para essa finalidade ao

longo dos anos, entretanto, dois foram os mais utilizados para o controle de compactação de barragens de terra nos últimos 30 anos: o de Hilf e o de Hilf-Proctor.

O método de Hilf foi introduzido no Brasil em 1957, quando Jack Hilf trouxe seu novo método de controle de compactação para a barragem de Três Marias, localizada no rio São Francisco, a 250 km de Belo Horizonte. Logo, tal metodologia foi adotada para quase todas as barragens brasileiras até 1970, quando foi substituída pelo método de Hilf-Proctor (CRUZ, 1996).

Normatizado pela ABNT NBR 12102/2020, a metodologia Hilf busca determinar o grau de compactação e o teor de umidade da amostra compactada por um procedimento semelhante ao de Proctor, porém, sem o conhecimento prévio da umidade. Já o método do Hilf-Proctor vem como um complemento ao método do Hilf, em que se determina a umidade das amostras ensaiadas e, posteriormente, traçar a curva de compactação de Hilf-Proctor.

O ensaio Hilf-Proctor determina os parâmetros de controle em função da umidade real da amostra, apurada pelo ensaio da estufa, logo traz resultados mais confiáveis. Entretanto, o ensaio da estufa é um procedimento demorado, o que o torna inviável como critério de aprovação de camadas compactadas em função do cronograma da obra. Nesse sentido, o método do Hilf torna-se mais adequado, entretanto, os resultados desse ensaio, dependendo da variabilidade da amostra, pode apresentar falhas.

Nesse contexto, o presente artigo apresenta uma análise estatística comparativa entre os resultados dos ensaios de Hilf e de Hilf-Proctor no controle de compactação da barragem de terra da Usina Hidrelétrica Batalha (UHE Batalha). O objetivo dessa análise é verificar se existe uma diferença significativa entre os resultados de Hilf e os de Hilf-Proctor e avaliar a acurácia dos valores do ensaio do Hilf.

## **Local do estudo**

A análise foi realizada utilizando os dados obtidos no controle de compactação da UHE Batalha. A Usina Hidrelétrica Batalha, construída no período de 2008 a 2014, está localizada no rio São Marcos, entre Cristalina (GO) e Paracatu (MG), e possui capacidade energética de 52,5 MW, podendo abastecer 130 mil habitantes (LINS, 2021).

O solo predominante que compõe o núcleo da barragem de terra é um solo argiloso, extraído da área de empréstimo próxima do local de construção da barragem. Os estudos realizados durante o projeto básico previam a utilização de um solo argilo-silto-arenoso, cuja características obtidas nos ensaios geotécnicos são (FURNAS, 2008):

- Granulometria: solo argilo-silto-arenoso, com fração de argila correspondendo de 15 a 45% e a fração pedregulho entre 0 e 15%;
- Limite de liquidez ( $w_L$ ): entre 40 e 55%;
- Índice de plasticidade (IP): entre 15 e 25%;
- Compactação: peso específico aparente seco máximo entre 15,0 e 18,0 kN/m<sup>3</sup>; e umidade ótima entre 14,0 e 20,0%.

Em julho e agosto de 2009, foram realizados aterros experimentais com os materiais coletados na área de empréstimo que seria utilizada na construção da Barragem de Terra, e entre os materiais utilizados, foi avaliado o solo argiloso aplicado no núcleo da barragem. Foram realizados ensaios geotécnicos de granulometria, limites de consistência, peso específico real dos grãos e compactação (FURNAS, 2009). A seguir é apresentado um resumo dos resultados obtidos.

- Granulometria: solo argilo-siltoso, com fração de argila entre 45 e 55%, fração silte entre 27 e 34% e a fração pedregulho entre 0 e 9%;
- Limite de liquidez ( $w_L$ ): entre 46 e 51%;
- Índice de plasticidade (IP): entre 11 e 16%;
- Compactação: peso específico aparente seco máximo entre 14,84 e 16,43 kN/m<sup>3</sup>; e umidade ótima entre 20,8 e 26,8%;
- Classificação SUCS: ML – silte de baixa compressibilidade, entretanto solos tropicais geralmente apresentam baixa plasticidade, logo pode ser considerado um solo argiloso.

Verifica-se que os materiais utilizados nos aterros experimentais são mais argilosos e homogêneos que os materiais especificados no projeto básico (FURNAS, 2008). Durante o controle de compactação, na média dos 537 resultados de peso específico seco máximo foi de 15,83 kN/m<sup>3</sup> e a umidade ótima de 24,2%, indicando que os materiais foram da mesma área de empréstimo dos estudos realizados em 2009.

A compactação da barragem de terra foi executada com rolo “*tamping*” ou rolo pé-de-carneiro, além da utilização de equipamentos mecânicos manuais para a compactação de áreas inacessíveis.

Para o controle de compactação, foram fiscalizadas as operações de escavação, carregamento, transporte, lançamento, espalhamento, umidificação, homogeneização e compactação. Durante a inspeção visual, foram controlados os seguintes parâmetros: espessura da camada, número de passadas do rolo compactador, velocidade do compactador, entre outros.

Posteriormente, foi executado o controle através dos ensaios, de forma a avaliar a camada compactada em função das tolerâncias especificadas em projeto. No caso da UHE Batalha, as camadas foram aprovadas em função da seguinte especificação:

- Grau de compactação:  $96\% \leq GC \leq 102\%$
- Desvio de umidade:  $-1\% \leq \Delta w \leq +2\%$

O método de controle de compactação adotado na UHE Batalha foi a metodologia desenvolvida por Hilf (NBR 12102/2020), sendo executados pelo menos um ensaio para camadas de até 1500 m<sup>3</sup> e pelo menos dois ensaios para camadas de volume acima, para a conseguinte aprovação/reprovação da camada compactada. Utilizando amostra utilizadas no método Hilf e determinada a umidade em estufa e no dia seguinte tem-se o resultado obtido pelo método de Hilf-Proctor.

Para obtenção dos parâmetros dos métodos de Hilf e de Hilf-Proctor, foram determinados os valores de massa específica úmida *in situ* com a cravação do cilindro biselado (NBR 9813/2016); e de umidade com o método da estufa (NBR 6457/2016).

Foram realizados 657 ensaios no total, tanto para Hilf quanto para Hilf-Proctor, para a determinação dos parâmetros de controle: grau de compactação e desvio de umidade, caracterizando 4 conjuntos de dados. Destes 657 ensaios, 537 foram aprovados de acordo com as tolerâncias especificadas no projeto. Todos os dados foram registrados em uma planilha, disponibilizada pela Eletrobras Furnas.

## **Materiais e método**

As primeiras análises tiveram como propósito comparar os resultados dos dois ensaios sem a aplicação de conceitos estatísticos. Esses estudos vieram como verificação de uma

congruência numérica dos resultados dos ensaios de Hilf e Hilf-Proctor, em relação a critérios como: número de reprovações e número de aprovações. Além desses, foi realizada uma análise exclusiva para os dados de desvio de umidade, com o intuito de comparar os quantitativos no ramo seco e no ramo úmido.

Em seguida, foi iniciada a análise estatística por meio do software Jamovi (<https://www.jamovi.org/>). O software Jamovi foi criado em 2017, em Sidney, na Austrália, tendo como cofundadores Jonathon Love, Damian Dropmann e Ravi Selker. Trata-se de um programa gratuito e acessível, sendo utilizada nesse trabalho a versão 2.3.28 (JAMOVI, 2024).

Segundo Faria (2024), o Jamovi consiste em um programa que possui ferramentas que permitem fazer diversas análises estatísticas de forma automática, desde as mais simples como estatística descritiva até as mais complexas como os testes de hipótese. Além disso, o software traz a personalização de variados tipos de gráficos com visual atraente e didático.

Primeiramente foi executada a análise de estatística descritiva com os dados dos ensaios aprovados. O principal objetivo dessa análise é descrever e caracterizar os conjuntos de dados, facilitando a compreensão de grandes volumes de informações. Para isso, utiliza-se de ferramentas como gráficos e distribuição de frequências, além da determinação das medidas de tendência central e de dispersão, conforme explica Neto (2002):

**Média:** Pode ser definida como o centro de distribuição de frequências e se trata do valor que equilibra os dados;

**Mediana:** Se o número de observações for ímpar, a mediana é o valor do meio; se for par, é a média dos dois valores centrais. Por não sofrer influência de valores extremos, a mediana pode ser um melhor indicador central que a média.

**Moda:** É o valor de maior frequência do conjunto de dados.

**Desvio Padrão:** É o valor que indica o quanto os valores de um conjunto de dados se afastam, em média, da média aritmética desse conjunto.

**25º Percentil:** Representa o ponto em que 25% dos valores do conjunto estão abaixo, e 75% estão acima.

**75º Percentil:** Representa o ponto em que 75% dos valores do conjunto estão abaixo, e 25% estão acima.

Além da determinação das medidas explicadas anteriormente, é válido destacar a análise por intermédio de gráficos, que permitem identificar padrões e tendências e comparar os

**Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 18, n. 1, edição extra, p. 123-136, jun. 2025. ISSN 1981-4089**  
conjuntos de dados de forma visual. Neste estudo, foram aplicados os gráficos de histograma e de violino.

Os dados da estatística descritiva e os gráficos são fundamentais para visualizar as diferenças entre os resultados dos métodos de Hilf e de Hilf-Proctor. Entretanto, para determinar se a diferença é estatisticamente significativa, foi empregado um teste de hipótese.

Segundo Larsson (2015), o objetivo do teste de hipótese é determinar a probabilidade, representada pela letra  $p$ , de se obter um resultado tão extremo quanto ou maior que o observado em função dos dados da amostra, validando a hipótese nula. Nesse estudo, as hipóteses adotadas foram:

- **Hipótese nula (H0):** Não há diferença significativa entre os resultados dos métodos de Hilf e de Hilf-Proctor
- **Hipótese alternativa (H1):** Há diferença significativa entre os resultados dos métodos de Hilf e Hilf-Proctor

O valor  $p$  é comparado com o nível de significância ( $\alpha=0,05$ ), onde os resultados são interpretados da seguinte forma:

- $p \leq \alpha$ : Rejeita-se a hipótese nula (H0), indicando que existe uma diferença significativa entre os dois grupos.
- $p > \alpha$ : Não se pode rejeitar a hipótese nula (H0), indicando que não há evidência suficiente para afirmar que existe uma diferença significativa entre os grupos.

Para a escolha do teste estatístico a ser aplicado, foi feita uma análise seguindo dois critérios: o tipo de amostragem e a distribuição normal de dados. Em relação ao tipo de amostragem, é evidente que se trata de grupos pareados, uma vez que as mesmas amostras foram submetidas aos dois ensaios (o de Hilf e o de Hilf-Proctor), o que implica que existe uma correspondência entre os resultados de cada amostra nos dois grupos para ambos os parâmetros (grau de compactação e desvio de umidade).

Em relação à distribuição de dados, foi aplicado o teste *Kolmogorov-Smirnov*, uma vez que o grupo amostral possui mais de 40 unidades. Segundo Virgillito (2017), esse teste compara a posição ordinal de uma amostra estudada com a frequência relativa acumulada até a posição que a variável ocupa na série ordenada. Por fim, calcula-se o valor máximo das diferenças ( $d$ ) e compara-se com o valor tabelado. Caso o  $d$  calculado seja maior que o  $d$  tabelado, comprova-se que o grupo amostral não possui distribuição normal.

O teste *Kolmogorov-Smirnov* foi aplicado nesse trabalho apenas para determinar a normalidade dos grupos amostrais, comparando-os individualmente com uma distribuição de referência, nesse caso a distribuição normal. Não foi utilizado para comparar os dois ensaios.

Caso o resultado deste teste aponte uma distribuição normal para todos os grupos, será utilizado o Teste *t de Student* para amostras pareadas; caso contrário, o método a ser utilizado será o Teste de Wilcoxon. Esses testes podem se diferenciar da seguinte forma:

- **Teste *t de Student* para amostras pareadas:** O valor  $p$  é determinado em função das diferenças entre as médias dos dois grupos comparados. Logo, as medidas relevantes de estatística descritiva nesse teste são a média e o desvio padrão;
- **Teste de Wilcoxon:** O valor  $p$  é determinado em função das diferenças entre as medianas dos dois grupos comparados. Logo, as medidas relevantes de estatística descritiva nesse teste são a mediana, o 25º e o 75º percentis.

Independentemente do teste realizado, o valor de  $p$  foi calculado de forma automática pelo software Jamovi, em que os dois grupos amostrais a serem comparados, ou seja, os dois de grau de compactação e os dois de desvio de umidade, foram emparelhados para, por fim, o programa determinar a probabilidade  $p$  de se aceitar a hipótese nula.

## Resultados e discussão

A análise iniciou com a verificação da reprovação dos ensaios realizados nas camadas compactadas na Barragem de Terra da UHE Batalha, comparando a reprovação em função do grau de compactação ou desvio de umidade e as duas metodologias utilizadas. Dos 657 ensaios realizados, 120 foram reprovados, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Quantidade de amostras reprovadas em cada método

MÉTODO	GRAU DE COMPACTAÇÃO	DESVIO DE UMIDADE
HILF	11	17
HILF-PROCTOR	17	2
AMBOS	63	19

Fonte: VIANA, M. J. *et al* (2024)

Analisando os dados da Tabela 1, observa-se uma congruência entre os resultados de grau de compactação, já que a maioria das reprovações nesse critério foram em ambos os

métodos. Já em relação ao desvio de umidade, não há uma uniformidade nos resultados, uma vez que existe um número significativo de amostras reprovadas apenas no método Hilf.

As amostras reprovadas apenas no método Hilf-Proctor foram avaliadas em função dos resultados desse ensaio, uma vez que se trata da última operação do dia, trazendo prazo suficiente para a realização do ensaio da estufa.

A segunda análise realiza uma comparação entre os critérios de aprovação, avaliando se as amostras aprovadas pelo método Hilf atenderiam igualmente aos requisitos do método Hilf-Proctor. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Avaliação das camadas aprovadas

MÉTODO	GC%		Δh%	
	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	REPROVADO
HILF	496	41	468	69
HILF/PROCTOR	498	39	488	49

Fonte: VIANA, M. J. *et al* (2024)

Avaliando a Tabela 2, observa-se uma similaridade entre os resultados do grau de compactação, com uma diferença de 2 amostras a mais aprovadas em Hilf-Proctor. Já em relação ao desvio de umidade, 20 amostras tiveram resultados distintos nos dois ensaios, ressaltando uma maior dispersão entre os métodos nesse parâmetro.

Ressalta-se que as reprovações no grau de compactação trata-se de camadas que apresentaram o grau de compactação um pouco acima do limite especificado (102%) e que não foi observada nenhuma camada com grau de compactação inferior a 96%.

Entretanto, alguns dados foram inseridos na planilha dos aprovados estando fora da faixa de compactação, tanto no método de Hilf quanto no método de Hilf-Proctor. A explicação mais provável, para esses casos, foi de que, mesmo diante do laudo de reprovação do laboratório, o construtor não providenciou a remoção e/ou recompactação da camada reprovada. Dessa forma, ela permaneceu constituindo o maciço final e, por essa razão, foi considerada como uma amostra integrante do universo das camadas aprovadas. Tal procedimento não corrige, a rigor, a inconsistência do registro.

Por fim, a terceira análise apresenta os quantitativos de camadas abaixo e acima da umidade ótima para cada método, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Desvios de umidade cada amostra

MÉTODOS	ESTADO	
	RAMO SECO	RAMO ÚMIDO
HILF	157	380
HILF-PROCTOR	172	365

Fonte: VIANA, M. J. *et al* (2024)

Examinando os resultados da Tabela 3, observa-se que o método Hilf apresentou uma variação dos dados em relação aos de Hilf/Proctor, em cerca de 10% no ramo seco e 4% no ramo úmido. Verifica-se também que a maioria das camadas, cerca de 70%, foram compactadas no ramo úmido, atendendo a especificação que definiu maior variação no ramo úmido.

Após essa análise preliminar, e conforme apresentado no item de Materiais e Métodos, foram calculados os dados de estatística descritiva dos quatro grupos amostrais. Os resultados dessas análises são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Medidas de Estatística Descritiva

MEDIDAS	GC H (%)	GC HP (%)	$\Delta H$ H (%)	$\Delta H$ HP (%)
N	537	537	537	537
MÉDIA	99.1	99.0	0.543	0.422
MEDIANA	98.9	98.8	0.800	0.700
MODA	100	98.8	0.00	1.20
DESVIO-PADRÃO	1.77	1.71	1.02	0.911
MÍNIMO	96.0	96.0	-1.80	-1.70
MÁXIMO	106	105	3.10	2.60
25° PERCENTIL	97.8	97.7	-0.400	-0.400
75° PERCENTIL	100	100.0	1.30	1.10

Fonte: VIANA, M. J. *et al* (2024)

A distribuição de dados também é visualizada através das figuras 1 a 4.

Figura 1: Histograma Grau de Compactação

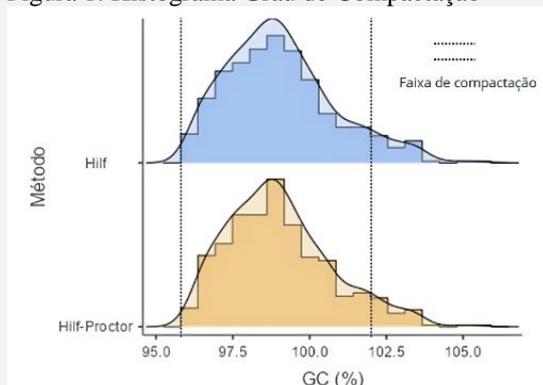
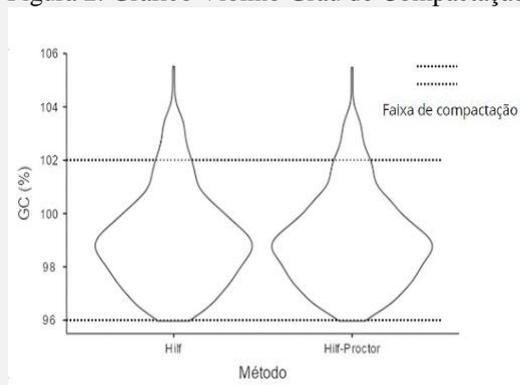


Figura 2: Gráfico Violino Grau de Compactação



Fonte: VIANA, M. J. *et al* (2024)

Figura 3: Histograma Desvio de Umidade

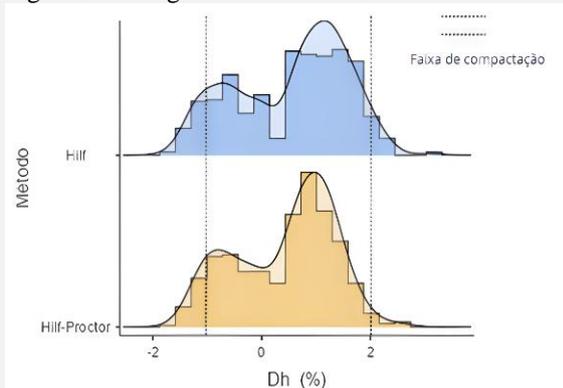
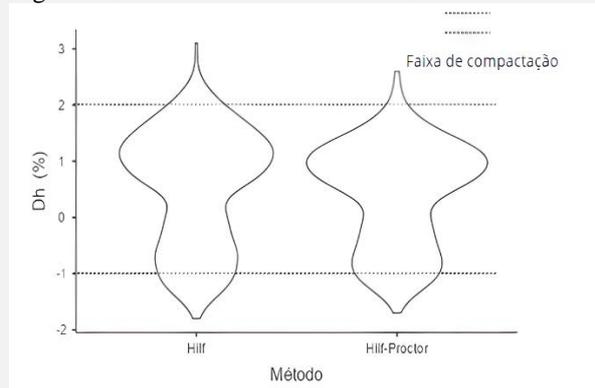


Figura 4: Gráfico Violino Desvio de Umidade



Fonte: VIANA, M. J. et al (2024)

Analisando os valores de estatística descritiva e o comportamento dos gráficos, constata-se uma proximidade na distribuição de dados de grau de compactação, tendo dados praticamente idênticos, como os de mediana, 25° e 75° percentil.

Já em relação ao desvio de umidade constata-se uma diferença evidente. Observa-se uma distinção nos formatos dos gráficos, onde o método do Hilf-Proctor apresenta mais dados dentro da faixa de compactação. Logo, o objetivo das próximas análises é determinar se essa diferença é estatisticamente significativa.

### Teste de Kolmogorov-Smirnov

Para classificar a distribuição de dados, foi calculado o valor máximo das diferenças (D) dos quatro grupos amostrais. O valor D calculado foi comparado com o valor D tabelado, determinado em função do nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ) e do número total de amostras ( $N = 537$ ). Os resultados desse teste constam nas tabelas 5 a 8.

Tabela 5: Teste de Kolmogorov-Smirnov Grau de Compactação Hilf

TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV G.C HILF		
D CALCULADO	ALFA	D TABELADO
0,065	0,05	0,059

Fonte: VIANA, M. J. et al (2024)

Tabela 6: Teste de Kolmogorov-Smirnov Grau de Compactação Hilf-Proctor

TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV G.C HILF-PROCTOR		
D CALCULADO	ALFA	D TABELADO
0,066	0,05	0,059

Fonte: VIANA, M. J. et al (2024)

Tabela 7: Teste de Kolmogorov-Smirnov Desvio de Umidade Hilf

TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV D.U HILF		
D CALCULADO	ALFA	D TABELADO
0,129	0,05	0,059

Fonte: VIANA, M. J. et al (2024)

Tabela 8: Teste de Kolmogorov-Smirnov Desvio de Umidade Hilf-Proctor

TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV D.U HILF-PROCTOR		
D CALCULADO	ALFA	D TABELADO
0,130	0,05	0,059

Fonte: VIANA, M. J. et al (2024)

Em todos os grupos amostrais o valor calculado foi superior foi ao tabelado, logo trata-se de grupos sem distribuição normal. Logo, a análise recomendada para esse tipo de grupo amostral é o Teste de Wilcoxon.

### Teste de Wilcoxon

Os resultados do Teste do Wilcoxon, ou seja, os valores de p, obtidos pelo software Jamovi, e suas respectivas interpretações foram os seguintes:

- **Grau de Compactação:**  $p = 0,105$ , ou seja, não há diferença estatística significativa entre os resultados de Hilf e Hilf-Proctor;
- **Desvio de umidade:**  $p < 0,001$ , ou seja, há diferença estatística significativa entre os resultados de Hilf e Hilf-Proctor;

## Conclusões

Com base nas análises feitas com os dados da UHE Batalha, observa-se que o método do Hilf trouxe resultados precisos para o grau de compactação, uma vez que não existe diferença significativa em relação aos resultados de Hilf-Proctor, constatada pelo teste de Wilcoxon e avaliando a semelhança no comportamento dos dados.

Já para o desvio de umidade, o método Hilf demonstrou diferenças significativas em relação a Hilf-Proctor, uma vez que apresentou resultados distintos em todas as análises e atestando, por fim, pelo teste de Wilcoxon. Tal diferença pode ser explicada pelas metodologias de cada ensaio: enquanto o Hilf trabalha com uma umidade teórica, o Hilf-Proctor opera com a umidade real determinada pela estufa. Além disso, a variabilidade apresentada pelo método de Hilf, para determinação da umidade geralmente é maior.

Também é válido ressaltar que, apesar da dispersão dos resultados de Hilf em relação ao Hilf/Proctor no parâmetro desvio de umidade, a maioria dos dados de Hilf estiveram no ramo úmido, conforme mostram a Tabela 3 e as Figuras 3 e 4. Assim, verifica-se que a variação de Hilf está presente no ramo requerido pelo projeto da barragem, apresentando características como baixa permeabilidade e alta deformabilidade.

Outro ponto a se destacar é que o material da barragem da UHE Batalha é homogêneo, o que pode ter contribuído para os resultados favoráveis na metodologia Hilf. Logo, para conclusões mais assertivas, é necessário aplicar essa análise para outras barragens.

Finalmente, um melhor entendimento na variação da umidade do método de Hilf pode ser necessária para equalizar esta variável de análise.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Determinação Do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

**Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 18, n. 1, edição extra, p. 123-136, jun. 2025. ISSN 1981-4089**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de Solos Que Passam Na Peneira de 4,8mm. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo - Determinação Do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2020.

CRUZ, P. T. da. **100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projetos**. São Paulo: Oficina de Textos, 1996, 648 p.

FARIA, E. **Jamovi: Introdução ao Jamovi**. Balaio Científico, 2024. Disponível em: <<https://balaiocientifico.com/jamovi/introducao-ao-jamovi/>> . Acesso em: 31 de set. de 2024.

FURNAS. A. *In: UHE Batalha Projeto Básico*. Relatório das Especificações Técnicas para as Obras Cíveis. 2008. P. 29-42.

FURNAS. **UHE Batalha – Aterro Experimental: Filito Grafítico. Random Fino e Grosso, Bota Fora 1 e Solo Argiloso**. Ensaio em laboratório de Granulometria com Sedimentação, Limites de Consistência, Peso Específico Real dos Grãos e Compactação. Relatório DCT.C.MS.025.2009-R0. 2009. P. 216.

JAMOVI. J, 2024. Disponível em: <<https://www.jamovi.org/about.html>>. Acesso em: 14 de nov. de 2024.

LARSSON, R. **Estatística Aplicada**. 6.ed. Tradução: José Fernando Pereira Gonçalves. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

LINS, J. **#Segundou e neste primeiro dia útil de 2021 trouxemos algumas curiosidades sobre a Usina Hidrelétrica Batalha [...]**. Rio de Janeiro, 04 de jan.2021. Facebook: Eletrobras Furnas. Disponível em: <<https://www.facebook.com/photo/?fbid=3639891576104758&set=a.441923759234905>>. Acesso em: 29 de fev.2024.

NETO, P. L. O. C. **Estatística**. 2.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2002.

VILLAR, L. F. S. et al. **Compactação dos solos: laboratório e campo**. In: Carvalho, J. C. et al. (Org.). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. 2ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), 2023. p. 257-296.

VIRGILLITO, S.B. **Estatística Aplicada**. 1.ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2017.