

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ENSINO DE ANÁLISE DOS SOLOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

AUTOMATED SYSTEM FOR EDUCATION SOIL ANALYSIS FOR CIVIL CONSTRUCTION

Juliana de Paula Rezende,¹ Luiza Carneiro Duque,² Tales Moreira de Oliveira,³ Marconi de Arruda Pereira,⁴ Heraldo Nunes Pitanga⁵

RESUMO

Este trabalho se desenvolveu devido à falta de sistemas de gerenciamento de ensaios necessários em obras geotécnicas e de infraestrutura. Nesse contexto, foi desenvolvido um *software* para auxiliar o ensino de análise dos solos para construção civil. Este tem como objetivo sistematizar, calcular e emitir relatórios a partir da entrada de dados de ensaios, realizados no laboratório ou em campo, facilitando o processo de aprendizagem acerca dos vários ensaios importantes na Engenharia Civil. Essa ferramenta garante ao estudante de engenharia, uma melhoria na qualidade, segurança e agilidade nos cálculos realizados no processo de análise do solo. A metodologia aplicada neste estudo consistiu na automatização e integração dos cálculos envolvidos para obtenção dos resultados de ensaios, e, para isso, foi utilizada a linguagem de programação *Visual Basic for Applications (VBA)*, permitindo automatizar a elaboração de tarefas rotineiras ao *Microsoft Office*. Os resultados obtidos atenderam aos objetivos propostos, mostrando, assim, sua viabilidade, eficiência e possibilidade de enriquecimento do processo de aprendizagem. Dessa forma, verificou-se que o mesmo constitui uma ferramenta importante para o estudante de Engenharia Civil, proporcionando uma maior qualidade, eficiência e praticidade na elaboração de projetos.

Palavras-chave: Planilha automatizada; gerenciamento de ensaios; ensaios geotécnicos e de infraestrutura; ensino de engenharia.

ABSTRACT

This work developed due to the lack of necessary test management systems in geotechnical and infrastructure works. In this context, software was developed to assist the teaching of soil analysis for civil construction. The aim is to systematize, calculate and issue reports from the input of test data, performed in the laboratory or in the field, facilitating the learning process around the various important tests in civil engineering. This tool guarantees the engineering student an improvement in quality, safety and agility in the calculations made in the soil analysis process. The methodology applied in this study consisted in the automation and integration of the calculations involved to obtain the results of tests, using the programming language *Visual Basic for Applications (VBA)*, allowing to automate the elaboration of routine tasks to *Microsoft Office*. The results obtained met the proposed objectives, thus showing its viability, efficiency and the possibility of enriching the learning process. In this way, it was verified that it is an important tool for the student of civil engineering, providing a greater quality, efficiency and practicality in the elaboration of projects.

Keywords: Automated worksheet; test management; geotechnical and terrestrial infrastructure testing; engineering education.

1 Engenheira Civil, Mestranda do Departamento de Engenharia Civil UFV, Universidade Federal de Viçosa; jupaulaprod@gmail.com

2 Engenheira Civil, Universidade Federal de São João Del-Rei; lucduque@yahoo.com.br

3 Professor Mestre, Universidade Federal de São João Del-Rei; talesciv@gmail.com

4 Professor Doutor, Universidade Federal de São João Del-Rei; marconi@ufsj.edu.br

5 Professor Doutor, Universidade Federal de Viçosa, heraldo.pitanga@ufv.br

INTRODUÇÃO

A facilidade de acesso à informação, bem como o uso de computadores proporcionaram uma revolução que, além de estimular o mercado científico e tecnológico, impactou positivamente o processo de ensino-aprendizagem nas inúmeras áreas do conhecimento (ALBUQUERQUE, 2018).

É indispensável que o ensino de engenharia e recursos computacionais facilitem o aprendizado de conceitos complexos, proporcionando a formação de profissionais cada vez mais capacitados. Nesse contexto, o computador pode potencializar o ensino focado no aprendiz, adequando atendimento individualizado e adaptativo, e admitindo o aprendizado através da prática (ALBUQUERQUE, 2018).

Com a globalização, houve melhoria na comunicação, no desenvolvimento de sistemas computacionais atrelados à produção de processadores mais velozes e no aumento da capacidade de armazenamento de dados nos computadores (KIMURA, 2007). Diante desses acontecimentos supracitados, o mercado de trabalho tornou-se mais competitivo, visto que, nesse contexto, cada vez mais são exigidos maiores rapidez, confiabilidade e qualidade nos serviços prestados.

A revolução tecnológica ofereceu grandes facilidades nas resoluções dos cálculos de engenharia civil, visto que cálculos complicados, por muitos anos, foram resolvidos por engenheiros de forma analítica e trabalhosa (MATOS, 2009).

Atualmente, no mercado da engenharia, existem vários *softwares* que facilitam a elaboração dos projetos, com ferramentas inovadoras e de fácil manuseio, melhorando a produtividade e reduzindo consideravelmente os erros mais frequentes e comuns. Um exemplo real dessa citação é o AutoCAD, *software* criado pela Autodesk, destinado à elaboração de desenhos técnicos.

A utilização de *softwares* como ferramentas de suporte ao desenvolvimento de atividades relacionadas à Engenharia Civil tornou-se obrigatória, mediante os crescentes desafios de geração de projetos cada vez mais robustos, cujos custos e riscos têm que ser cada vez me-

nores (LU *et al.*, 2012). Por outro lado, nota-se uma importante carência de ferramentas que integrem todos os aspectos do problema que se deseja resolver (CAMPOS; SILVA, 2002; MATOS, 2009; SUBBOTIN; SKIBIN, 2016). Nesse cenário, destaca-se a área de Geotecnia, a qual visa a estudar os diferentes tipos de materiais geológicos (solos e rochas) e seus comportamentos de engenharia.

Todas as construções de engenharia civil são apoiadas sobre o terreno e, impreterivelmente, necessitam que o comportamento do material geológico seja devidamente considerado. Esse comportamento afeta diretamente o comportamento dessas obras, podendo exercer influência direta na atividade que se pretende realizar, inclusive influenciando no seu custo (BEDNARCZYK, 2013; LI *et al.*, 2016; MEZHER *et al.*, 2016).

Particularmente para os solos, suas inúmeras desigualdades de comportamento conduziram ao seu natural agrupamento em diferentes conjuntos, aos quais podem ser atribuídas algumas propriedades. Os sistemas de classificação dos solos têm como objetivo a definição de grupos que possuem comportamentos semelhantes sob os aspectos de interesse da Engenharia Civil (PINTO, 2006).

Existem algumas metodologias para apoio na análise e classificação dos solos, podendo ser aplicadas a diversas modalidades de obras, como, por exemplo, a construção de túneis (AKGÜN, 2014), a escavação de minas (WARREN *et al.*, 2015), a pavimentação de rodovias (ARINZE, 2014) e a construção de ferrovias (MEZHER *et al.*, 2016). Entretanto, ainda não se tem relato de *softwares* desenvolvidos para auxiliar e desenvolver a classificação dos solos, analisando os ensaios geotécnicos base para esse fim.

A disponibilidade crescente de recursos computacionais cada vez mais difundidos abre espaço para emprego de ferramentas de análise mais poderosas, antes desprezadas devido à dificuldade de sua aplicação. Sob esse ponto de vista, pode-se citar, por exemplo, alguns *softwares* desenvolvidos para auxiliar professores e alunos de Engenharia Civil em suas diversas áreas, visando à melhoria da qualidade e à eficiência das análises de solos, atendendo, dessa maneira, à competitividade, aos padrões de

qualidade exigidos, à segurança e à questão ambiental, entre outros requisitos que exigem dos engenheiros formados um elevado poder de análise e síntese nos projetos em que atuarem (MENDONÇA, 2005).

A indústria oferece soluções comerciais, tais como o Geo5, o GeoStudio e o Rocscience, que são *softwares* compostos por pacotes de ferramentas destinadas à solução de problemas geotécnicos isolados, como análise de estabilidade de taludes, fluxo tridimensional, análise de tensões e deformações, entre outros, mas sempre exigindo que o usuário alimente-os com parâmetros geotécnicos advindos de ensaios de campo e laboratório realizados anteriormente; enquanto os *softwares* DataGeosis, TopoGraph e TopoEVN, por exemplo, estão relacionados à topografia, entre outras possibilidades de *softwares* oferecidos a outros campos de atuação da Engenharia Civil.

Nesse contexto, este artigo apresenta como contribuição a geração de um *software* de suporte aos diferentes ensaios geotécnicos, a fim de automatizá-los e integrá-los, permitindo aos alunos de Engenharia Civil realizarem uma automatização dos cálculos envolvidos para obtenção dos resultados desses ensaios, inclusive auxiliando o usuário com informação da qualidade dos ensaios realizados. Esse *software* foi denominado de Lab Delta, e representa uma facilitação nas análises de solos no âmbito da Engenharia Civil, trazendo para a comunidade acadêmica soluções tecnológicas para a realização de ensaios geotécnicos e de infraestrutura.

MATERIAIS E MÉTODOS

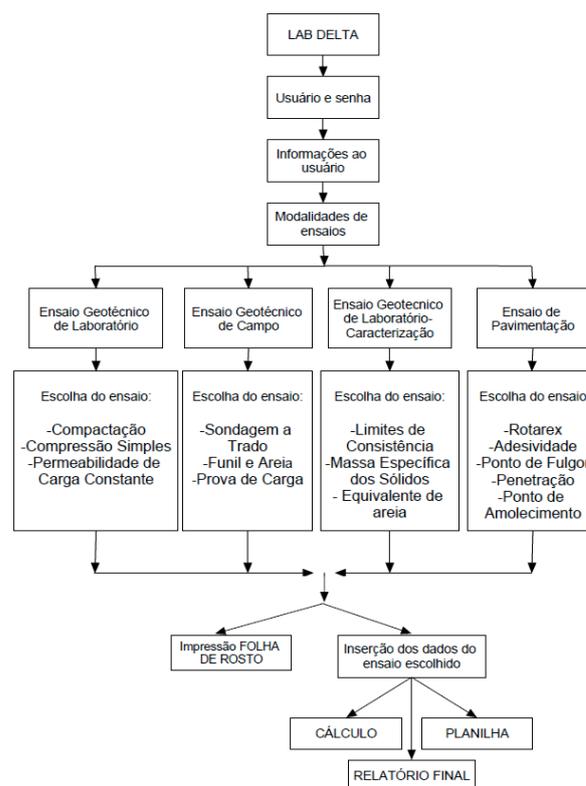
Primeiramente, foi desenvolvido um estudo com pesquisa em normas técnicas, livros, artigos e trabalhos científicos sobre ensaios de infraestrutura e obras de Geotecnia, com a finalidade de se obter maior esclarecimento e convivência das ideias para desenvolver o *software*.

A partir desse estudo, iniciou-se, no Excel, a elaboração das planilhas dos ensaios com seus respectivos cálculos. A próxima fase consistiu em definir a linguagem de programação mais adequada para elaborar o *software* e a sua posterior programação, com base na literatura consultada. Em seguida, definiu-se como lin-

guagem a ferramenta *Visual Basic for Applications* (VBA), do Excel, para a construção do *software*. A última etapa consistiu em comparar os resultados emitidos pelo *software* com os cálculos realizados manualmente.

O Lab Delta foi desenvolvido a fim de integrar diferentes ensaios geotécnicos e de infraestrutura. A Figura 1 apresenta um fluxograma que detalha cada um dos testes que podem ser realizados através do sistema automatizado destinado à comunidade acadêmica.

Figura 1 – Fluxograma do *software* “Lab Delta”.



Fonte: elaborado pelos autores.

Existem quatro modalidades de ensaios que foram sistematizadas no sistema, a saber: ensaio geotécnico de laboratório, ensaio geotécnico de campo, ensaio geotécnico de laboratório voltado para a caracterização do solo e ensaio de pavimentação. Cada modalidade possui opções de ensaios que o usuário poderá selecionar, dando prosseguimento à ação do programa.

A maioria desses ensaios ainda é realizada sem sistemas de instrumentação e aquisição de dados, sendo uma preferência, nesse caso, a anotação dos dados brutos de forma manuscrita. Esses valores podem ser preenchidos por meio de formulários padrões facilmente impressos pelo Lab Delta. A digitação desses dados bru-

tos de campo ou laboratório, no *software*, se faz após a escolha do ensaio em estudo. O sistema processa todas as informações, de acordo com a metodologia de cada ensaio implementado, e gera um relatório final. O *software* auxilia o

usuário, informando possíveis erros e verificando a validade do ensaio com base nos resultados calculados. Os ensaios que foram sistematizados estão apresentados no Quadro 1 e, devidamente sumarizados.

Quadro 1 – Sumarização dos ensaios implementados pelo Lab Delta

Categoria de Ensaio	Tipo de Ensaio	Referências
Geotécnico de laboratório	Compactação	ABNT NBR 7182/1986, (SCHNAID, 2000)
	Compressão simples	DNER-IE 004/94, (CAPUTO, 1988)
	Permeabilidade carga constante	(DAS, 2011), ABNT NBR 13292/1995
Geotécnico de campo	Sondagem de simples reconhecimento	ABNT NBR 9603/1986
	Prova de carga em placa	(DAS, 2011), ABNT NBR 12131/2006
	Funil e areia	ABNT NBR 7185/1986
Geotécnico de laboratório (voltado para a caracterização do solo)	Limites de consistência	(DAS, 2011), ABNT: NBR 6459/ 1984, NBR 7180/1984
	Massa específica dos sólidos	ABNT NBR 6508/1984
	Ensaio equivalente de areia	(CAPUTO, 1988), ABNT NBR 12052/1992
Geotécnico de pavimentação	Extração de betume (Rotarex)	DNER-ME 053/94
	Adesividade	(CERATTI e REIS, 2011), DNER-ME 078/1994
	Ponto de fulgor	(CERATTI e REIS 2011), ABNT NBR11341/2008
	Penetração	(CERATTI e REIS 2011), ABNT NBR6576/2007
	Ponto de amolecimento	(CERATTI e REIS, 2011), ABNT NBR 6560/2008

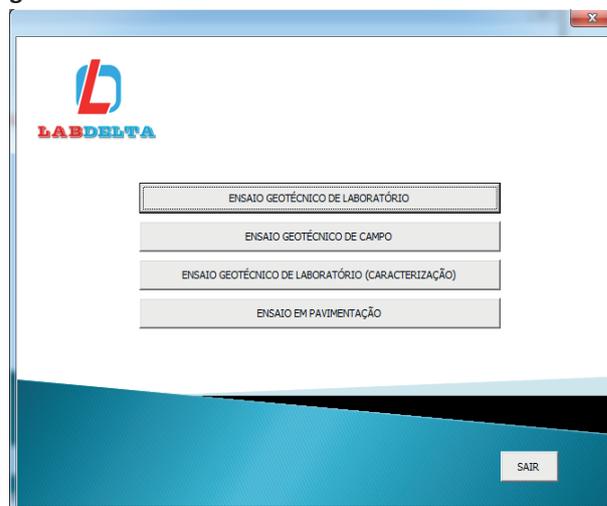
Fonte: Elaboração dos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme previamente mencionado, o *software* elaborado foi denominado de “Lab Delta”. Este apresenta uma interface gráfica com ênfase aos requisitos de rapidez, eficiência e confiabilidade nos resultados de análises de solos. A interação entre o usuário e o programa permite a fácil obtenção dos relatórios a partir da entrada dos dados dos ensaios.

A Figura 2 mostra a tela em que se exibem as modalidades de ensaios geotécnicos contemplados pelo programa.

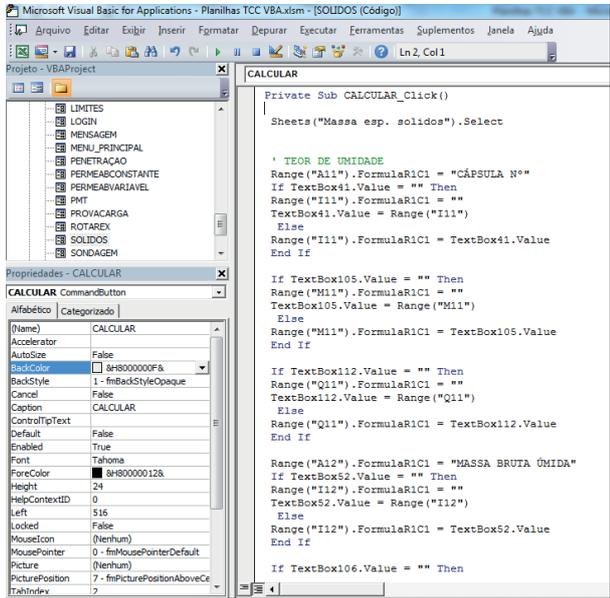
Figura 2 – Tela de seleção da modalidade de ensaio geotécnico.



Fonte: *print* de tela do Lab Delta disponibilizado pelos autores.

Para fins de exemplificação, a Figura 3 mostra, em parte, os procedimentos empregados na automatização do ensaio de massa específica dos sólidos.

Figura 3 – Tela de automatização do ensaio de massa específica dos sólidos.



Fonte: *print* de tela do Lab Delta disponibilizado pelos autores.

A título de demonstração, na Figura 4, encontram-se os ensaios específicos de caracterização do solo.

Figura 4 – Tela para escolha do ensaio de caracterização do solo.



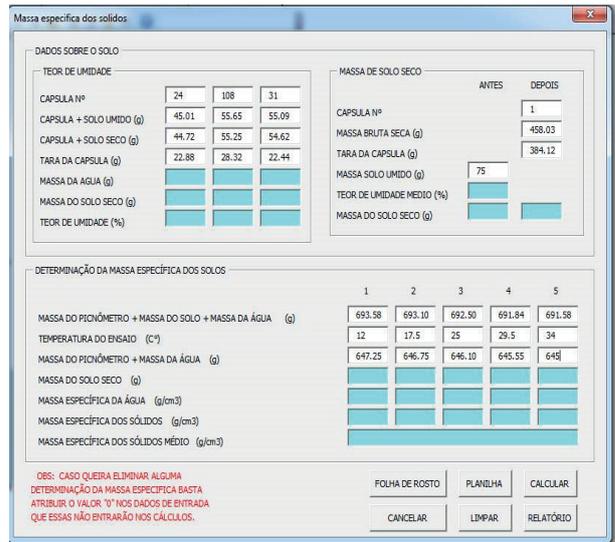
Fonte: *print* de tela do Lab Delta disponibilizado pelos autores.

O *software* possui um botão denominado “FOLHA DE ROSTO”, que tem como objetivo imprimir um formulário padrão, em branco, que poderá ser preenchido manualmente com os dados obtidos no laboratório ou em campo,

durante a execução dos ensaios, já que esta é uma prática comum e generalizada na Geotecnia, para posteriormente lançá-los no programa e gerar os resultados.

A Figura 5 exhibe os parâmetros solicitados, que devem ser preenchidos nos retângulos de coloração branca, para o ensaio de massa específica dos sólidos.

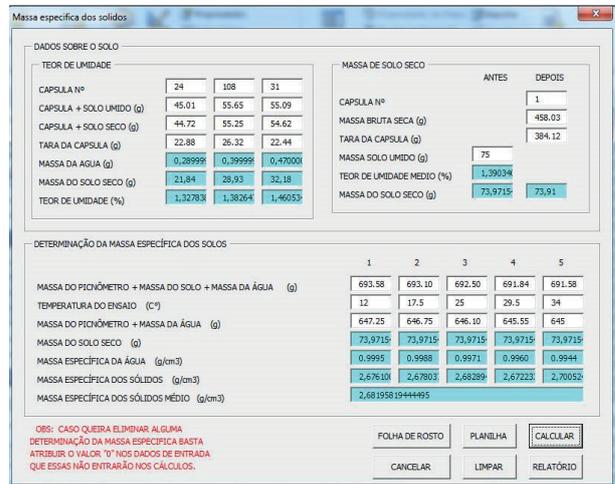
Figura 5 – Tela com dados do ensaio de massa específica dos sólidos.



Fonte: *print* de tela do Lab Delta disponibilizado pelos autores.

O programa possui a opção “CALCULAR” que, ao ser selecionada, gera os resultados nos retângulos de coloração verde, conforme representado na Figura 6. Já no botão “PLANILHA”, tem-se acesso à planilha no Excel na qual se pode fazer qualquer alteração que seja necessária.

Figura 6 – Tela do resultado do ensaio de massa específica dos sólidos.



Fonte: *print* de tela do Lab Delta disponibilizado pelos autores.

Caso os dados alimentados estejam divergentes entre si, o programa, ao processar os dados de entrada, avalia esses resultados e informa caso os mesmos não estejam em conformidade com a qualidade requerida pelas normas que controlam cada um dos ensaios. Por exemplo, no ensaio de Limite de Liquidez, os dados são analisados por meio de gráficos. Ao fornecer os dados, o *software* gera um primeiro gráfico, no qual o usuário deverá analisar a sua qualidade, permitindo, então, conforme as normas, a retirada de um número mínimo de dados brutos, para a conclusão e obtenção do parâmetro geotécnico em análise. O mesmo é provido de uma “inteligência artificial” capaz de informar ao usuário, antes da finalização e operacionalização dos cálculos, de possíveis desvios que prejudicariam a qualidade final do ensaio caso isso ocorra; ou seja, antes de processar os dados de entrada, o Lab Delta é capaz de validá-los.

Através do botão “RELATÓRIO”, obtém-se o relatório final do ensaio no formato pdf, que será salvo imediatamente na área de trabalho. A Figura 7 mostra o relatório do ensaio de massa específica dos sólidos, enquanto a Figura 8 mostra os cálculos realizados manualmente para o mesmo ensaio.

Figura 7 – Emissão do relatório final do ensaio de massa específica dos sólidos.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI CAMPUS ALTO PARAÍPEBA CURSO DE ENGENHARIA CIVIL LABORATÓRIO DE GEOTECNIA E ESTRADAS		UFSJ		ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS	
PROCEDÊNCIA	UFSJ - CAMPUS ALTO PARAÍPEBA				
CLASSIFICAÇÃO	ÁREA MÉDIA				
SONDAGEM Nº	2	PROFUNDIDADE	1 m	AMOSTRA	2
PICNÔMETRO Nº	1	OPERADOR	Anderson	DATA	17/06/2016
DADOS SOBRE O SOLO					
TEOR DE UMIDADE			MASSA DE SOLO SECO		
CÁPSULA Nº	24	108	31		
MASSA BRUTA ÚMIDA	g	45,01	55,65	55,09	RECIPIENTE Nº
MASSA BRUTA SECA	g	44,72	55,25	54,62	MASSA BRUTA SECA
TARA DA CÁPSULA	g	22,88	26,32	22,44	TARA DO RECIPIENTE
MASSA DA ÁGUA	g	0,29	0,40	0,47	MASSA DO SOLO ÚMIDO
MASSA DO SOLO SECO	g	21,84	28,93	32,18	TEOR DE UMIDADE MÉDIO
TEOR DE UMIDADE	%	1,33	1,38	1,46	MASSA DO SOLO SECO
DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS SOLOS					
DETERMINAÇÃO Nº		1	2	3	4
MASSA DO PICNÔMETRO + MASSA DO SOLO + MASSA DA ÁGUA	g	632,58	693,10	692,50	691,84
TEMPERATURA DO ENSAIO	°C	12	17,5	25	29,5
MASSA DO PICNÔMETRO + MASSA DA ÁGUA	g	647,25	646,75	646,10	645,55
MASSA DO SOLO SECO	g	73,97	73,97	73,97	73,97
MASSA ESPECÍFICA DA ÁGUA	g/cm ³	0,9995	0,9988	0,9971	0,9960
MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS	g/cm ³	2,68	2,68	2,68	2,67
MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS MÉDIA		2,68 g/cm ³			

Fonte: *print* de tela do Lab Delta disponibilizado pelos autores.

Figura 8 – Relatório do ensaio de massa específica dos sólidos feito manualmente.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI CAMPUS ALTO PARAÍPEBA CURSO DE ENGENHARIA CIVIL LABORATÓRIO DE GEOTECNIA E ESTRADAS		UFSJ		ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS	
PROCEDÊNCIA	UFSJ - Campus Alto Paraipiba				
CLASSIFICAÇÃO	Área Média				
SONDAGEM Nº	2	PROFUNDIDADE	1 m	AMOSTRA	2
PICNÔMETRO Nº	1	OPERADOR	Anderson	DATA	17/06/16
DADOS SOBRE O SOLO					
TEOR DE UMIDADE			MASSA DE SOLO SECO		
CÁPSULA Nº	24	108	31		
MASSA BRUTA ÚMIDA	g	45,01	55,65	55,09	RECIPIENTE Nº
MASSA BRUTA SECA	g	44,72	55,25	54,62	MASSA BRUTA SECA
TARA DA CÁPSULA	g	22,88	26,32	22,44	TARA DO RECIPIENTE
MASSA DA ÁGUA	g	0,29	0,40	0,47	MASSA DO SOLO ÚMIDO
MASSA DO SOLO SECO	g	21,84	28,93	32,18	TEOR DE UMIDADE MÉDIO
TEOR DE UMIDADE	%	1,33	1,38	1,46	MASSA DO SOLO SECO
DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS SOLOS					
DETERMINAÇÃO Nº		1	2	3	4
MASSA DO PICNÔMETRO + MASSA DO SOLO + MASSA DA ÁGUA	g	632,58	693,10	692,50	691,84
TEMPERATURA DO ENSAIO	°C	12	17,5	25	29,5
MASSA DO PICNÔMETRO + MASSA DA ÁGUA	g	647,25	646,75	646,10	645,55
MASSA DO SOLO SECO	g	73,97	73,97	73,97	73,97
MASSA ESPECÍFICA DA ÁGUA	g/cm ³	0,9995	0,9988	0,9971	0,9960
MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS	g/cm ³	2,68	2,68	2,68	2,67
MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS MÉDIA		2,68 g/cm ³			

Fonte: elaborado pelos autores.

Ao ser feita a comparação do resultado do ensaio de massa específica dos sólidos emitido pelo *software* com o obtido no cálculo manual, forma ainda mais usual, percebeu-se que ambos foram iguais, entretanto, o programa apresentou uma maior velocidade e eficiência em relação aos cálculos manuais, oferecendo ainda ao usuário uma análise da qualidade dos parâmetros de entrada, antes do seu processamento final. Trata-se de uma ferramenta inovadora para a Engenharia Civil e de fácil manuseio, diminuindo o tempo, aumentando a produtividade e reduzindo consideravelmente os erros mais frequentes e comuns.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ensaio geotécnicos são fundamentais tanto para a execução de uma obra quanto para a garantia de sua estabilidade ao longo do tempo. Por outro lado, ainda é pequeno o número de ferramentas computacionais que ofereçam o devido suporte para o profissional da área. Em vista disso, tem-se a necessidade de elaboração de sistemas computacionais que enriqueçam o processo de aprendizagem no ensino de análises de solos para a construção civil.

A principal proposta do Lab Delta, ferramenta desenvolvida para a implementação dos principais ensaios geotécnicos, é proporcionar para a comunidade acadêmica não só um suporte para o ensino de cada ensaio de forma isolada, mas também a análise crítica, através de validações lógicas entre os ensaios. Portan-

to, muito além de ser um simples sistema que informatiza procedimentos e normas técnicas, o Lab Delta atua como uma ferramenta de análise crítica dos dados e seus resultados, colocando-se como um ator relevante nas tomadas de decisão do profissional de geotecnia que atua na interface produtora dos parâmetros geotécnicos utilizados para o dimensionamento das diversas obras da Engenharia Geotécnica.

Este *software* trouxe soluções tecnológicas para o desenvolvimento de aplicações que auxiliem as pesquisas e o ensino na área de análises de solos. A implementação apresentada contribui por ser de fácil utilização, pronto para atender às crescentes necessidades da pesquisa e do ensino no âmbito da Engenharia Civil.

AGRADECIMENTOS

DTECH/UFSJ, Grupo de Pesquisa em Infraestrutura de Transportes e Obras Geotécnicas – INFRAGEO e FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

- AKGÜN, H.; MURATLI, S.; KOÇKAR, M. K. Geotechnical investigations and preliminary support design for the Geçilmez tunnel: A case study along the Black Sea coastal highway, Giresun, northern Turkey. **Tunnelling and Underground Space Technology**, n. 40, p. 277-299, 2014.
- ALBUQUERQUE, R. N. M.; PITANGUEIRA, R. L. S. Sistema gráfico interativo para ensino de análise estrutural através do método dos elementos finitos. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 37, n. 1, p. 76-87, 2018. ISSN 22 36-0158.
- ARINZE, E.E., OBIORA, F. I. Geotechnical assessment of pavement failure along Umuahia -Okigwe highway in South-eastern Nigeria. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, n. 19 (R), p. 4129-4132, 2014.
- BEDNARCZYK, Z. **The analysis of geotechnical properties for civil engineering and technological project of natural underground gas storage near Sanok** (SE Poland), 2013.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Fundamentos. Vol. 1, 6. ed. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos, 1988.
- CAMPOS, L. E. P.; SILVA, A. S. **LabGeo um programa de gerenciamento, cálculo e emissão de relatório para laboratórios de mecânica dos solos**. XVI CONGRESO ARGENTINO DE MECÂNICA DE SUELOS E INGENIERÍA GEOTÉCNICA (XVI CAMSIG), Patagônia, Argentina, 2002.
- CERATTI, J. A. P, REIS, R. M. M. **Manual de dosagem de concreto asfáltico**. São Paulo: Instituto Pavimentar, Oficina de Textos, 2011.
- DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução da 7ª edição norte-americana. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2011.
- DNER-IE 004/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Solos coesivos – Determinação da compressão simples de amostra – Instrução de ensaio**. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- DNER-ME 053/94. **Misturas betuminosas – Percentagem de betume – Método de ensaio**. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- DNER-ME 078/94. **Agregado graúdo – Adesividade a ligante betuminoso – Método de ensaio**. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- KIMURA, A. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. São Paulo: Editora Pini, 2007.
- LI, P.; VANAPALLI, S.; LI, T. Review of collapse triggering mechanism of collapsible soils due to wetting, **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**, v. 8, n. 2, p. 256-274, Apr. 2016, ISSN 1674-7755, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.12.002>>. Acesso em 3 mar. 2019.
- LU, P.; CHEN, S.; ZHENG, Y. Artificial Intelligence in Civil Engineering. Hindawi Publishing Corporation, **Mathematical Problems in Engineering**, Article ID 145974, 2012.
- MATOS, L. R. **Softwares para Engenharia Civil**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, 2009.
- MENDONÇA, H. M. X. **Sobre a modelagem de problemas da Engenharia Geotécnica pelo método dos elementos finitos**. Dissertação (mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- MEZHER, S. B. *et al.* Railway critical velocity – Analytical prediction and analysis, **Transportation Geotechnics**, v. 6, p. 84-96, ISSN 2214-3912, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2015.09.002>. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.12.002>>. Acesso em 3 mar. 2019.
- NBR 13292. **Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade dos solos granulares à carga constante**, Rio de Janeiro, 1995.

NBR 9603. **Sondagem atrado**, Rio de Janeiro, 1986.

NBR 12131. **Estacas – Prova de carga estática** – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2006.

NBR 7185. **Determinação da massa específica aparente “in situ”**, com emprego do frasco e areia. Rio de Janeiro, 1986.

NBR 6459. **Solo – Determinação do limite de liquidez** – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1984.

NBR 7180. **Solo – Determinação do limite de plasticidade**, Rio de Janeiro, 1984.

NBR 6508. **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm** – Determinação da massa específica, Rio de Janeiro, 1984.

NBR 12052. **Solo ou agregado miúdo** – Determinação do equivalente de areia – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1992.

NBR 11341. **Derivados de petróleo** – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland, Rio de Janeiro, 2008.

NBR 6576. **Materiais Asfálticos** – Determinação da penetração, Rio de Janeiro, 2007.

NBR 6560. **Materiais betuminosos** – Determinação do ponto de amolecimento – Método do anel e bola, Rio de Janeiro, 2008.

NBR 7182. **Ensaio normal de compactação de solos**, Rio de Janeiro, 1986.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2006.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia fundações**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2000.

SUBBOTIN, A. I., SKIBIN, M. G. **Automated system for experimental study of foundation bases performance**, International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016.

WARREN, S.N., KALLU, R. R., BARNARD, C. K. **Correlation of the Rock Mass Rating System (RMR) to the Unified Soil Classification System (USCS) for geotechnical characterization of very weak rock masses**. 49th US ROCK MECHANICS/GEOMECHANICS SYMPOSIUM 2015, 4, p. 2612-2620, 2015.

DADOS DOS AUTORES



Juliana de Paula Rezende – Engenheira Civil pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ/2016). Mestranda em Geotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Membro da equipe em contribuição geotécnica ao estudo de estacas tipo RAP de pequeno diâmetro no setor INFRAGEO (2015-2016). Participou, de forma voluntária, da iniciação científica com pesquisas realizadas em Ensaio de Tratabilidade de Água (2014-2015). Especializações: Geotecnia, Infraestrutura de vias Terrestres, Mecânica dos Pavimentos, Projetos civis: estrutural, arquitetônico, hidráulico, esgoto, elétrico e incêndio. Construção civil em geral.



Luiza Carneiro Duque – Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ/2016). Ex-bolsista PET (programa de ensino tutorial) e ex-voluntária iniciação científica da UFSJ. Possui curso técnico em Edificações pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Ouro Preto-MG (CEFET-OP), concluído em 2009. Estudou inglês no exterior em 2016. Em 2017, cursou disciplinas como aluna não vinculada ao programa de pós-graduação em Engenharia Civil, na área Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).



Tales Moreira de Oliveira – Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor Assistente na UFSJ – *Campus* do Alto Paraopeba e doutorando em Geotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Ocupou o Cargo de Coordenador regional na Planex S/A, prestando os serviços de consultoria e planejamento de execuções, na área de pavimentação rodoviária. E na Bahia Specialty Cellulose / Copener, como Coordenador de Infraestrutura e Estradas, realizou a gestão de contratos e pessoas nas áreas de estradas florestais e construção civil, bem como o desenvolvimento dos projetos e a sua execução. Como professor de ensino superior, passou pelas faculdades de engenharia civil: Doctum, Esuv, Univiçosa. Como consultor autônomo, está capacitado para elaboração de projetos, planejamento e execução, em obras dos mais variados segmentos, com ênfase em geotecnia, infraestrutura e construção civil. Especializações: geotecnia, pavimentação, estradas florestais, projetos civis: estrutural, arquitetônico, hidráulico, esgoto, elétrico. Construção civil em geral.



Marconi de Arruda Pereira – Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Viçosa (2002), mestrado em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2004) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2012). Atualmente é Professor Adjunto III da Universidade Federal de São João Del-Rei, Revisor de periódico da Expert Systems with Applications e Revisor de periódico da Expert Systems (Online). Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Metodologia e Técnicas da Computação. Atuando principalmente nos seguintes temas: algoritmos evolucionários, mineração de dados, otimização multiobjetivo, banco de dados geográficos.



Heraldo Nunes Pitanga – Possui graduação em Engenharia Civil (UFV, 2000), Mestrado em Geotecnia (UFV, 2002). É Doutor em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (2008) e Ph.D. em Geociências pela Universidade Joseph Fourier – Grenoble, França (2008). É Pós-Doutor pela Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (2008) e pela Universidade Federal de Viçosa (2014). Atualmente, é Professor Adjunto IV do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV-MG), estando vinculado a programas de pós-graduação da UFV (PPGEC) e da UFSJ (PPGTDS). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia Ambiental, Geossintéticos e Infraestrutura de Transportes, atuando principalmente nos seguintes temas: geotecnia ambiental, meio ambiente, geossintéticos, aterros sanitários, mecânica dos solos, mecânica dos pavimentos.