

INTERFACES EM LABORATÓRIO VIRTUAL DE APRENDIZAGEM EM ENGENHARIAS – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE SOLOS

VIRTUAL LEARNING LABORATORY INTERFACES IN ENGINEERING – SOILS PHYSICAL CHARACTERIZATION

Anelise Schmitz¹, Matheus Lemos Nogueira², Leandro Olivio Nervis³

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v40p497-509.2021

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar as interfaces em Laboratório Virtual de Aprendizagem (LVA) na engenharia para o conhecimento básico de solos, como: índices físicos, granulometria e índices de consistência. O estudo vem ao encontro da educação de qualidade, que visa conhecer, aplicar e disseminar o uso dos LVAs para a educação, com o intuito de apresentar interfaces e entender os ensaios realizados especialmente para a caracterização de solos. Este estudo é norteado por três indagações principais e apresenta resultados da evolução dos laboratórios virtuais na engenharia, especialmente a geotécnica, e como eles podem colaborar como ferramentas de aprendizado. São apresentadas as potencialidades e as limitações dessas ferramentas e por fim é sugerido como os laboratórios virtuais podem ser adotados em uma perspectiva de ensino de investigação geotécnica, especialmente em relação aos ensaios realizados em disciplinas que envolvam a caracterização de solos.

Palavras-chave: Laboratório Virtual de Aprendizagem; Engenharia; Geotecnia; Caracterização Física dos Solos.

ABSTRACT

The objective of this paper is to evaluate the interfaces in the Virtual Learning Laboratory (LVA) in engineering for the basic knowledge of soils, such as: physical indices, granulometry and consistency indices. The study is in line with quality education, which aims to know, apply and disseminate the use of LVAs for education, in order to present interfaces and understand the tests carried out especially for the characterization of soils. This study is guided by three main questions and presents results of the evolution of virtual laboratories in engineering, especially geotechnics, and how they can collaborate as learning tools. The potential and limitations of these tools are presented and it is suggested how virtual laboratories can be adopted in a perspective of teaching geotechnical research, especially in relation to tests carried out in disciplines that involve soil characterization.

Keywords: Virtual Learning Laboratory; Engineering; Geotechnics; Soils Physical Characterization.

¹ Professora da Universidade Federal do Paraná. anelise.schmitz@ufpr.br

² Professor da Universidade de Caxias do Sul. mlnogueira@ucs.br

³ Professor da Universidade de Santa Cruz do Sul. leandron@unisc.br

INTRODUÇÃO

Os laboratórios são espaços onde são realizados ensaios e testes, de forma a ajudar na simulação de cenários reais com o intuito de desenvolver conhecimento, tais como diagnóstico, controle de qualidade, dimensionamento, dosagem, atividade de ensino e aprendizado, dentre outros. Assim, quando no ambiente universitário, estudantes podem experimentar distintas situações benéficas ao seu desenvolvimento e associar o conhecimento teórico ao prático (PAVANI; POZZER; COLUSSO, 2019; GUILHERMO; ENDRES; LIMA, 2013; AMARAL et al., 2011).

Um limitante dos laboratórios físicos é a carência de grandes investimentos em equipamentos, manutenção e atualização. Podem existir restrições adicionais, como o espaço físico em si, que reflete na capacidade de atender satisfatoriamente ao conjunto de alunos, e ainda a presença de docente ou técnico responsável em acompanhar os procedimentos (PAVANI; POZZER; COLUSSO, 2019).

Além disso, as recomendações e as normas técnicas que definem os procedimentos laboratoriais são imprescindíveis para o processo prévio de entender com profundidade o tema estudado e conhecer os equipamentos e os objetos para o uso *in loco*. Mas o conceito da prática ainda se torna mais acessível, quando o estudante pode previamente visualizar e manipular os procedimentos, por meio dos Laboratórios Virtuais de Aprendizagem (LVA). A realização prévia de simulações com auxílio do Ambiente Virtual de Ensino e Aprendizagem (AVEA) permitem acompanhar o experimento e despertar o interesse dos estudantes.

A partir deste contexto, a utilização de *software* educativo está sendo muito explorada no processo de ensino e aprendizagem de engenharia (PASSOS; VENEGA; ROCHA, 2017; GUILHERMO; ENDRES; LIMA, 2013). Os LVAs têm se tornado mais frequentes e essenciais em atividades educacionais. Permitem “aprender fazendo”, que é uma expressão da Teoria Construtivista, por

considerar que o conhecimento deve ser construído pelo estudante, por meio da interação com o objeto e não somente transmitido pelo professor (AMARAL et al., 2011).

Outro ponto que pode ser destacado é a adaptação da educação por meio das plataformas digitais devido à pandemia do Coronavírus, que causa a doença COVID 19. Neste cenário, as políticas de preservação à vida e o distanciamento social trouxeram transformações nas instituições de ensino, que necessitaram readaptar seu modo de ensino e aprendizado, migrando para aulas em plataformas e ferramentas digitais. Destaca-se também a importância do uso de LVA devido à limitação do tempo de exposição ao vírus, em comparação com as tarefas e ensaios presenciais. Os laboratórios digitais permitem o conhecimento prévio dos procedimentos, para realização posterior da prática, evitando a exposição de tempo prolongada em laboratórios físicos (AMARAL et al., 2011).

Nesse sentido, o objetivo do presente estudo é avaliar qualitativamente as interfaces em Laboratório Virtual de Aprendizagem em engenharia civil para o conhecimento básico de solos. O estudo vem ao encontro da educação de qualidade, que visa conhecer, aplicar e disseminar o uso dos LVAs para a educação, com o intuito de apresentar e entendê-los como ferramentas tecnológicas para ensaios realizados especialmente na caracterização de solos, que podem ser utilizados em disciplinas como mecânica dos solos, pavimentação e estradas, fundações, entre outras.

As indagações motivadoras deste estudo foram: a) como os laboratórios virtuais evoluíram na engenharia, especialmente a geotécnica, e podem colaborar como ferramentas na aprendizagem de engenharia?; b) quais as potencialidades e as limitações dessas ferramentas?; e c) como usar laboratórios virtuais em uma perspectiva de ensino por investigação na engenharia, especialmente nos ensaios de disciplinas que envolvam a caracterização de solos?

REVISÃO TEÓRICA

Laboratório Virtual de Aprendizagem (LVA) na engenharia

As atividades práticas com a adoção dos laboratórios de forma real (física) e virtual (simulada) permitem que a trajetória pedagógica de ensino gere melhor desempenho na aprendizagem dos estudantes. Entretanto, caso um curso de engenharia não possa investir na construção de um laboratório real devido aos seus custos altos, um laboratório virtual poderá eventualmente suprir essa lacuna de formação ou pelo menos ser uma primeira aproximação da prática laboratorial ou de experimentação (GUILLERMO; SCHLATTER; TAROUÇO, 2015).

Os LVAs são plataformas digitais oferecidas com a finalidade de dar suporte à realização de experiências, em qualquer local com acesso digital, sem a necessidade da presença do usuário em um determinado espaço físico, tal como ocorre no contexto dos laboratórios reais (AMARAL et al., 2011).

O processo de ensino e aprendizagem não sofre inovação pelo simples fato de se recorrer da utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) (TEIXEIRA et al., 2005). A apropriação do conhecimento científico pelos estudantes depende da criação de situações em que esse conhecimento possa ser aplicado e avaliado na solução de problemas. Essas situações podem ser criadas no contexto de atividades investigativas com o uso de simulações e laboratórios virtuais no ensino (FIGUEIREDO; PAULA, 2017).

O AVEA vem se tornando uma ferramenta tecnológica e inovadora para ser usado não somente em cursos à distância, mas também em cursos presenciais, oferecendo autonomia e exigindo participação dos alunos (SANTOS et al., 2018). Todavia, os objetos de aprendizagem dos LVAs devem conter a documentação clara e completa dos variados conceitos teóricos e práticos associados, bem como das metodologias adotadas, a simulação do sistema real, guia de utilização e a avaliação do conhecimento (TEIXEIRA et al., 2005).

Várias são as potencialidades didáticas dos experimentos virtuais, por exemplo, os benefícios tecnológicos, pedagógicos e de otimização dos recursos. Eles não substituem os experimentos reais, mas são complementos. Os LVAs usam *softwares* para simular essas experiências (SILVA; SILVA, 2017).

Santos e Dickman (2019) afirmam que as abordagens de ensino em laboratórios, tanto real quanto virtual, foram proveitosas em pesquisa realizada com alunos, desde a assimilação do conteúdo (verificada por meio das avaliações) até a verificação no seu interesse e motivação.

Potkonjak et al. (2016) afirmam que os sistemas de laboratório virtual e simuladores são atualmente usados apenas como uma etapa inicial e treinamento em engenharia, seguidos por uma experiência prática mais aprofundada com equipamentos autênticos e reais. Os autores concordam com este ponto de vista (com base no estado da arte atual), mas também reconhecem que o progresso contínuo na computação gráfica, realidade virtual e tecnologias de mundos virtuais podem fornecer a oportunidade de ampliar rapidamente o uso de aplicativos de sistemas baseados em laboratório e, em alguns casos específicos, reduzir a necessidade de laboratórios do mundo real.

Para Viegas et al. (2018), os LVAs passaram a fazer parte do ensino e aprendizagem atual, principalmente na área de engenharia, mas não excluem a prática. Seu potencial para ajudar os alunos além de suas aulas práticas de laboratório tem sido uma questão de discussão na literatura. Professores e pesquisadores estão cientes de que a análise minuciosa dos pontos fortes e fracos dos laboratórios remotos em implementações didáticas podem não apenas levar à melhoria destes recursos, mas também das implicações pedagógicas nas aulas de engenharia.

Um LVA pode ser utilizado ainda em conexão com ambientes não virtuais captando sinais, processando e acionando outros sistemas, como por exemplo: na robótica, que permite cirurgias à distância e no geoprocessamento, que permite o controle de veículo aéreo não tripulado (VANT). No entanto, as interfaces utilizadas em LVAs, precisam ser submetidas às avaliações

específicas de usabilidade que considerem aspectos pedagógicos, importantes para interfaces destinadas ao apoio à educação (MIGUEL; BARRETO, 2011). Matsubara e Rossini (2020) afirmam ainda a necessidade de atualizar, criar e melhorar formas alternativas de ensino.

LVAs e a experiência na engenharia geotécnica

Rezende et al. (2018) desenvolveram um sistema de automatização com a criação de um *software* para auxiliar no ensino de análise dos solos para construção civil. O sistema permite sistematizar, calcular e emitir relatórios técnicos a partir da entrada de dados de ensaios. Os autores ainda afirmam que 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.

Dias et al. (2018) destacam que os alunos de cursos superiores das escolas de Engenharia chegam como uma geração nascida no contexto da conexão e de informações rápidas e fáceis, tornando necessária a adaptação da relação de Ensino e Aprendizado. Após pesquisa na área de conhecimento de engenharia civil, os autores não encontraram programas que realizam a classificação de solos, com a ressalva de dois aplicativos para *smartphone*. Entretanto, enquanto um apenas informava as características dos solos, o outro os classificava, sem dar informações completas e apresentadas didaticamente. Para facilitar a classificação de solos no Brasil, criaram um *software* para esta finalidade.

Nos registros encontrados na pesquisa bibliográfica, uma iniciativa de LVA para estudos na área geotécnica pode ser citado como o projeto proposto por Romanel e Delcourt (1999) a partir da experiência de utilização da internet no ensino da mecânica dos solos. Na época do estudo, os autores relataram que programas computacionais elaborados no Brasil para o ensino da

engenharia civil e, em particular da engenharia geotécnica, eram praticamente inexistentes.

Outra iniciativa de LVA em engenharia geotécnica foi o projeto ENGEO. Nele foram produzidos objetos educacionais constituídos por apresentar o processo de planejamento e a implementação de uma aplicação dinâmica baseada na web, composta de um repositório de objetos educacionais, um sistema de gestão dos recursos armazenados na aplicação e ferramentas para auxiliar a busca de informações nesta aplicação e na web. A função foi oferecer suporte ao estudo do conteúdo referente ao domínio da engenharia geotécnica, em especial da disciplina fundações. O estudo concluiu que a ferramenta agrega valor e serve de apoio ao trabalho dos professores, racionalizando o acesso ao material de pesquisa, a reutilização de mídias, bem como a organização dos trabalhos com cada turma de alunos (FERREIRA FILHO et al., 2005; FERREIRA FILHO et al., 2006).

ESTUDO DE CASO DA ABORDAGEM TEÓRICA E PRÁTICA EXPERIMENTAL VIRTUAL NA ENGENHARIA PARA O CONHECIMENTO BÁSICO DE SOLOS

Caracterização de solos

Tanto em laboratórios físicos quanto em LVAs, a sistemática adotada previamente aos experimentos é o conhecimento do estado da arte do ensaio. Nesta etapa, são traçados os objetivos da aprendizagem, os conceitos aprendidos, a segurança (equipamentos de proteção individual ou coletivos) e o cenário de estudo.

Os LVAs usualmente trazem: * apresentação do tema; * sumário teórico, com as referências das normas técnicas adotadas; * roteiro dos experimentos; * pré-teste de conhecimentos; * o experimento em si, a partir da simulação de um cenário real em modelagem 3D ou até mesmo o próprio cenário real, a partir de vídeo interativo com pausas para tarefas ou escolhas de materiais ou utensílios para dar

continuidade ao experimento; * e pós-teste de avaliação do conhecimento, conforme pode ser observado no exemplo do LVA apresentado na Figura 1.

Figura 1 – LVA para caracterização de solos



Fonte: ALGETEC (2021).

Para a simulação de estudo de caso virtual deste trabalho, foi utilizado como exemplo os LVAs da ALGETEC acessados em 2021 para a simulação dos ensaios com solos. Os equipamentos físicos possuem versões virtualizadas, replicam com fidelidade as operações e medidas dos experimentos. Podem ser acessados em ambiente web, por computador ou mobile. Além disso, trabalham com a realidade aumentada e virtual, promovendo a sensação de realidade para o usuário.

Quanto ao solo, trata-se de um material de importância fundamental em obras de construção. Segundo Pinto (2006), o ramo da Engenharia conhecido por Engenharia Geotécnica ou Engenharia de Solos, empolga os profissionais em virtude da diversidade de atividades, pelas peculiaridades que o material apresenta em cada local e devido à engenhosidade que normalmente requer para a solução de problemas reais.

O conhecimento das suas características tem a finalidade de suportar a tomada de decisões técnicas a respeito de pavimentos, fundações, sistemas de drenagem, entre outros elementos da obra. Sendo assim, um engenheiro deve conhecer o vasto leque de ensaios que podem prever o comportamento do solo após a obra finalizada (ALGETEC, 2021).

O estado do solo e determinação da umidade natural

De acordo com Pinto (2006), a correlação entre as três fases presentes numa massa de solo (sólidos, água e ar) é expressa por meio dos índices físicos, que são: umidade (w); índice de vazios (e); porosidade (η); grau de saturação (S); peso específico natural (γ); peso específico dos sólidos ou dos grãos (γ_s); peso específico da água (γ_w); peso específico aparente seco (γ_d); peso específico aparente saturado (γ_{sat}); peso específico submerso (γ_{sub}). Desses, a umidade (w), o peso específico dos grãos (γ_s) e o peso específico natural (γ) são determinados por meio de ensaios, enquanto o peso específico da água (γ_w) é um valor já conhecido e os demais são obtidos por meio de cálculos e correlações.

Os índices físicos desempenham um importante papel no estudo das propriedades dos solos, uma vez que elas dependem dos seus constituintes e das proporções relativa entre eles, assim como da interação de uma fase sobre as outras.

Para a determinação da umidade em laboratório, pesa-se o solo no seu estado natural, seca-se em estufa a 105°C até constância de peso e pesa-se novamente. Tendo-se o peso das duas fases, a umidade é calculada conforme a Equação 1. O ensaio é normalizado pela NBR 6457 (ABNT, 2016a).

$$w = \frac{P_w}{P_s} \times 100 = \frac{P - P_s}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

onde:

w : umidade (%);

P_w : peso da água presente no solo;

P_s : peso dos sólidos;

P : peso total da amostra.

Na interface de um laboratório físico (Figura 2), os dados para a obtenção dos índices são obtidos a partir da relação das massas dos materiais, obtidos por meio da pesagem real do solo (seco e úmido).

Figura 2 – Ensaio de determinação da umidade natural no laboratório físico (real)



Fonte: ERG ENGENHARIA (2021).

Em contrapartida, em um laboratório virtual (Figura 3), esse mesmo procedimento pode ser realizado em uma dinâmica de simulação, onde há resultados programados para o ensaio. Essa dinâmica engloba todo o passo a passo que deve ser adotado no laboratório real, ou seja, é preciso usar os EPI's, ligar e desligar os equipamentos, fazer a tara da balança, colocar os materiais adequados nos devidos locais e ajustar tempos. Todo o procedimento deve acompanhar o protocolo do ensaio, caso contrário, o sistema detecta a etapa errada e impede o usuário de prosseguir-lo.

Figura 3 – Ensaio de determinação da umidade natural no LVA



Fonte: ALGETEC (2021).

Na Figura 3 se destacam ainda a bancada virtual e os equipamentos para o ensaio de determinação da umidade natural. Na tarefa simulada, a amostra de solo é previamente pesada *in natura* e deve ser colocada na estufa, onde o item abrir/fechar estufa estão destacados para que se possa prosseguir com o experimento. Ao longo de todo o processo

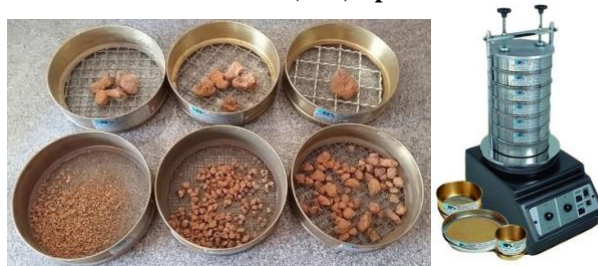
ocorre a simulação interativa com o estudante, permitindo que ele mesmo faça o passo a passo, permitindo erros e acertos, até que o ensaio seja finalizado com sucesso.

Análise granulométrica

Segundo Pinto (2006), o objetivo da classificação dos solos sob o ponto de vista de engenharia é de poder estimar o seu provável comportamento ou, pelo menos, orientar o programa de investigação geotécnica a ser empregado para permitir a adequada análise do problema. Tradicionalmente, o emprego de dois sistemas tem predominado no meio geotécnico a partir da coleta e ensaios em amostras: o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e o Sistema Rodoviário de Classificação conhecido internacionalmente como Sistema de Classificação americana da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

Para o reconhecimento do tamanho dos grãos de um solo, realiza-se a análise granulométrica que consiste, em geral, de duas fases: o peneiramento e a sedimentação, ambos definidos conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016b). O primeiro é realizado a partir da série de peneiras de abertura de malhas conhecidas, sendo determinada a porcentagem em peso da amostra total retida ou passante em cada peneira, que é previamente seca em estufa e após pesada. Na Figura 4 é apresentado um conjunto de peneiras para a determinação da curva granulométrica em um laboratório físico. Pode ser utilizado um agitador automático, como apresentado na Figura, ou proceder manualmente.

Figura 4 – Ensaio classificação dos solos no laboratório físico (real) - peneiramento



Fonte: SILVA (2017).

No LVA, o mesmo procedimento é realizado de forma remota (Figura 5), onde o estudante primeiramente identifica os materiais, faz a pesagem da amostra, conhece a malha de abertura das peneiras e posiciona adequadamente cada uma delas, utiliza o agitador, mede as massas em cada peneira e realiza o peneiramento fino.

Figura 5 – Ensaio classificação de solos no LVA



Fonte: ALGETEC (2021).

O peneiramento grosso é realizado utilizando-se o material retido na peneira # 10 (2 mm). Lava-se o material na # 10, secando a parte retida em estufa. A parte passante vai para o ensaio de sedimentação. O material seco é passado no conjunto de peneiras maiores que a # 10, agitando-se manualmente ou mecanicamente. O solo retido ou passante em cada peneira é pesado.

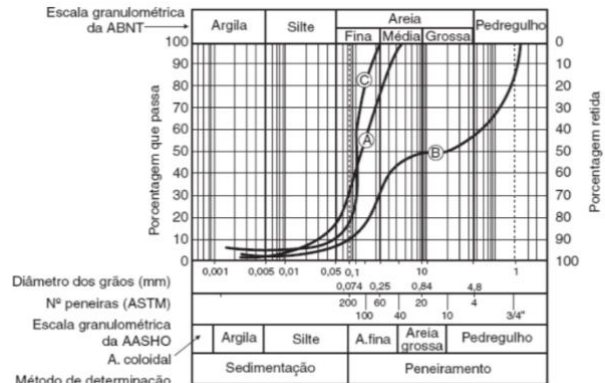
No peneiramento fino, toma-se o material oriundo do ensaio de sedimentação e lava-se na peneira # 200 (0,075 mm), secando-o em estufa. Realiza-se o mesmo processo descrito para o peneiramento grosso, porém para o conjunto de peneiras compreendido entre a # 10 e a # 200.

O processo de sedimentação é baseado na Lei de Stokes, que estabelece uma relação entre o diâmetro da partícula e sua velocidade de sedimentação em um meio líquido de viscosidade e peso específico conhecidos. O método consiste em realizar leituras periódicas de densidade da suspensão previamente preparada, utilizando-se para tal um densímetro (PINTO, 2006).

No processo de sedimentação, coloca-se a amostra em imersão com defloculante (hexametáfosfato de sódio) de 6 a 24 horas. Agita-se a mistura em um dispersor elétrico, que após é transferida para uma proveta

graduada, completando-se com água destilada até atingir 1000 ml, agitando-a novamente. Efetua-se leituras periódicas com o densímetro, de acordo com a normalização e são calculados os diâmetros dos grãos. Ao final do ensaio, obtém-se a proporção percentual das massas obtidas dos materiais e se traça a curva de distribuição granulométrica (Figura 6).

Figura 6 – Exemplos de curvas granulométricas



Fonte: CAPUTO (2015).

A simulação da curva granulométrica é proposta com base no ensaio e atividades sugeridas no LVA. O estudante anota as massas retidas em cada peneira, faz o cálculo dos percentuais e traça a curva granulométrica de caracterização. O processo permite a interação e verificação dos resultados anotados e, por fim, realiza os exercícios propostos na análise, o chamado pós-teste (Figura 7).

Figura 7 – LVA simulação do pós-teste



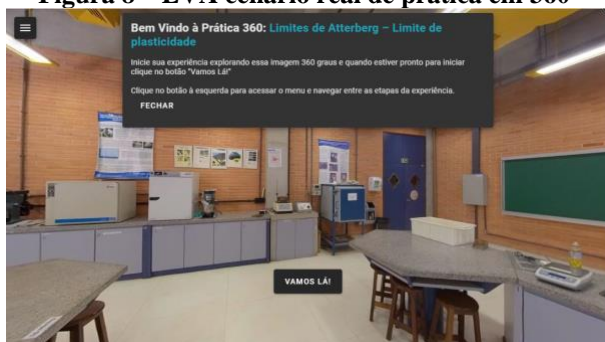
Fonte: ALGETEC (2021).

Índices de Consistência (Limites de Atterberg)

Os Índices de Consistência ou Limites de Atterberg descrevem o estado físico do solo, isto é, o grau de ligação entre as partículas das substâncias. Quando aplicado aos solos finos ou coesivos, a consistência está ligada à quantidade de água existente no solo, ou seja, ao teor de umidade. O Limite de Liquidez (LL) é a umidade a qual o solo perde sua capacidade de fluir, porém pode ser moldado facilmente e conservar sua forma e o Limite de Plasticidade (LP) representa a umidade a partir da qual o solo se desmancha ao ser trabalhado (estado semi-sólido) (PINTO, 2006).

A Figura 8 mostra a interação do estudante a partir de um cenário real de prática em 360°, também considerada como LVA, onde pode-se explorar o laboratório, selecionar os materiais necessários para o ensaio, responder atividades interativas e avaliar os resultados.

Figura 8 – LVA cenário real de prática em 360°



Fonte: ALGETEC (2021).

Na determinação experimental do Limite de Liquidez, conforme a NBR 6459 (ABNT, 2016c), uma quantidade de solo com umidade conhecida é disposta no interior da concha que integra o equipamento denominado Aparelho de Casagrande (Figura 9). Então é feita uma ranhura na amostra com um cinzel padronizado e são aplicados golpes sucessivos produzidos quando o operador gira a manivela que também compõe o aparelho até que se observe o fechamento da ranhura, anotando-se o número de golpes. Repete-se o procedimento com o solo em diferentes umidades. O Limite de Liquidez corresponde à umidade a qual o fechamento da ranhura requer a aplicação de 25

golpes, sendo esse valor obtido por interpolação dos resultados.

Figura 9 – Ensaio real do Limite de Liquidez



Fonte: ROSA (2020).

A determinação experimental do Limite de Plasticidade (Figura 10), conforme a NBR 7180 (ABNT, 2016d), consiste em determinar a umidade na qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento.

A partir dos ensaios, os índices de consistência são calculados, bem como as atividades das argilas, a identificação e classificação dos solos e correlações empíricas como, por exemplo, na estimativa de recalques. Como resultado, o solo pode ser caracterizado por meio dos ensaios realizados nos LVA, que subsidiam uma experiência interativa com o estudante, permitindo que ele simule as tarefas e acompanhe todos os procedimentos relativos aos ensaios de caracterização de solos.

Figura 10 – Ensaio Limite de Plasticidade LVA cenário real de prática em 360°



Fonte: ALGETEC (2021).

DISCUSSÃO

Retomando às indagações introdutórias apresentadas no início deste trabalho, como subsídios às respostas das alíneas, tem-se:

a) como os laboratórios virtuais evoluíram na engenharia, especialmente a geotécnica, e podem colaborar como ferramentas na aprendizagem de engenharia? Os LVAs estão em constante evolução, iniciaram no Brasil com o advento da informática, que permitiu que os computadores armazenassem informações dos ensaios, criando rotinas de procedimentos, análises e interpretação dos dados. Algumas tentativas iniciais usavam a interface de filmagens, fotos e descrição do passo a passo dos ensaios. Aos poucos foram evoluindo para o formato de acesso interativo, que pode ser visto atualmente nas ferramentas digitais como, por exemplo, os laboratórios em 3D, 4D e de acessos remotos.

Destaca-se que os LVAs podem colaborar positivamente como ferramentas na aprendizagem de engenharia. Atuam como instrumentos auxiliares no processo de aprendizagem e podem ser considerados complementos que facilitam a aprendizagem e apresentam uma interface interativa prévia do que o estudante verá no laboratório físico. Contudo, entende-se que os LVAs não substituem e nem devem substituir as tarefas e ensaios presenciais, que são primordiais para o processo de aprendizagem na engenharia.

b) quais as potencialidades e as limitações dessas ferramentas?

Dentre as potencialidades dos LVAs, destacam-se a vivência digital e dinâmica. O aluno acessa quantas vezes for necessário o procedimento do ensaio. Além disso, são reduzidos os custos de implantação, pois necessitam de acesso à internet, computador, celular ou *tablet* e aquisição do *software* interativo, que possuem preços mais acessíveis quando comparados aos equipamentos físicos em laboratórios.

Quanto às limitações, podem ser destacadas a ausência de vivência física e contato com objetos. Consequentemente, não desenvolvem habilidades manuais. Também

nem todas as instituições de ensino possuem os LVAs. Vale destacar também que é necessário um equipamento eletrônico e acesso à internet de qualidade, o que não é uma realidade equitativa no Brasil.

Destaca-se o comparativo realizado entre as características dos LVAs relacionadas com os Laboratórios Físicos (Tabela 1). Para auxiliar na visualização das diferenças de interfaces.

Tabela 1 – Características dos LVAs comparados aos Laboratórios Físicos

Laboratório Físico	LVA
reais e permitem contato com objetos, ou seja, presencial	digitais e dinâmicos, exigem acesso à internet
vivência física	vivência digital
desenvolvem habilidades manuais	práticas de ensino são de caráter conceitual
custo elevado de manutenção e aquisição de materiais e equipamentos de ensaios	desoneram os custos
conduzido por um orientador ou técnico com agenda	permitem reproduzir a tarefa tantas vezes quanto necessário

Fonte: elaborada pelos autores (2021).

c) como usar laboratórios virtuais em uma perspectiva de ensino por investigação na engenharia, especialmente nos ensaios de disciplinas que envolvam a caracterização de solos?

Para que o ensino por investigação ocorra na engenharia de caracterização geotécnica de solos, o uso dos LVAs se apresenta como uma estratégia de complemento ao aprendizado. Na metodologia ativa, o estudante tem o contato prévio, estuda o passo a passo, faz atividades e depois vai à prática com mais conhecimento de “como fazer”. Isso torna o processo no Laboratório Físico mais motivador, uma vez que o estudante tem maior discernimento do que está executando *in loco*. Além disso, o laboratório virtual permite os estudos prévio e posterior ao ensaio realizado no laboratório

físico, provocando nos estudantes o senso investigativo das etapas e procedimentos.

Muitos cursos estudam disciplinas que envolvem a caracterização de solos apresentadas neste estudo como as engenharias civil, de transportes, ambiental, agrícola, agrônômica e de materiais. Embora os laboratórios virtuais já sejam realidades há mais tempo em alguns cursos, ainda há indisponibilidade nos ensaios geotécnicos, falta de aquisição de LVAs e falta de LVAs para outras áreas específicas das engenharias, tais como pavimentação, logística e de transportes.

Além disso, os diferentes ensaios de caracterização no LVA as vezes destoam em termos de padrão de interatividade. Alguns exigem mais ação do estudante que outros e ainda alguns são mais completos em termos de etapas que outros.

CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma breve revisão de LVAs na engenharia, a experiência na engenharia geotécnica e expôs um estudo de caso da abordagem teórica e prática experimental virtual na engenharia para o conhecimento básico de solos, englobando a caracterização, a determinação da umidade natural, a análise granulométrica e os Índices de Consistência (Limites de Atterberg). Na pesquisa foi possível criar diferentes interfaces em laboratório virtual e compará-las aos laboratórios reais de aprendizagem em engenharia para o conhecimento básico dos solos e acompanhar diferentes procedimentos integrando o ensino à prática.

Destaca-se que o uso de LVAs não exclui a prática dos laboratórios reais (físicos), mas sim complementa o estudo e auxilia no entendimento prévio dos experimentos. Eles possibilitam otimizar os ensaios, pois o estudante tem a oportunidade prévia de conhecer as etapas e de tentativa de acertos e erros.

Enfatiza-se que os laboratórios virtuais evoluíram no estudo da engenharia geotécnica e atualmente podem colaborar como ferramentas na aprendizagem de engenharia a partir da criação de interfaces diferenciadas de

simulação, como os LVAs em 3D, compreendendo prática digital, bancada digital, realidade aumentada, prática em 360° e interação de acesso com base em ferramentas digitais.

Dentre as potencialidades no uso de LVAs, destacam-se o aprendizado associado à prática, o acesso de uma plataforma digital que possui um custo menor que um laboratório real (físico). As limitações dessas ferramentas são o acesso a plataformas digitais com internet disponível, muitos dos LVAs não são de livre acesso, tornando assim o uso restrito às universidades que possuem convênio com as empresas que detém desta tecnologia ou disponibilizam de forma gratuita. Como limitações destaca-se também a ausência de vivência física e contato com objetos.

Os laboratórios virtuais em uma perspectiva de ensino em engenharia, especialmente nas disciplinas que envolvem geotecnia, colaboram no aprendizado pelo fato de que os estudantes se interessam cada vez mais pelas questões tecnológicas. Estas estruturam a atividade prática, que os têm levado ao maior engajamento nas ações e operações de aprendizado.

Há espaços onde os LVAs adquiram aprimoramentos cada vez maiores. Essa é a tendência, à medida que a tecnologia avança, as eventuais deficiências são decifradas e a busca por eles é ampliada.

Sugere-se ainda a criação de acesso remoto aos equipamentos físicos, onde algumas bancadas didáticas podem ser acessadas via *streaming* e os experimentos realizados à distância em tempo real, otimizando a utilização dos laboratórios quando ou onde o acesso for limitado, como em tempos de pandemia.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457 – Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** 2016a.

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica**. 2016b.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. 2016c.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. 2016d.
- ALGETEC. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS EM EDUCAÇÃO. **Ensaio de Caracterização dos solos: Determinação da Umidade Natural; Curva Granulométrica; e Limites de Atterberg**. Disponível em: www.algetec.com.br. Acesso em: março de 2021.
- AMARAL, E. M. H.; ÁVILA, B.; ZEDNIK, H.; TAROUCO, L. Laboratório Virtual de Aprendizagem: Uma Proposta Taxonômica. **CINTED-UFRGS - Novas Tecnologias na Educação**, V. 9, Nº 2. 2011.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- DIAS, C. A.; BASTOS, A. V.; OLIVEIRA, C. C.; COUTO, R. A.; DIAS, V. C.; BONALDO, E. Promovendo o ensino em engenharia por meio da interdisciplinaridade: desenvolvimento de um software para o ensino de mecânica dos solos. **Anais... XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia e 1º Simpósio Internacional de Educação em Engenharia - COBENGE**. Salvador, BA. 2018.
- ERG ENGENHARIA. 2021. Disponível em <ergbh.com.br>. Acesso em 13/12/2021.
- GUILLERMO, O. E. P.; ENDRES, L. A. M.; LIMA, J. V. Laboratório Virtual de Aprendizagem: uma experiência em mecânica dos fluidos na Engenharia. **Nuevas Ideas en Informática Educativa. Memorias del Congreso Internacional de Informática Educativa - TISE**. 2013.
- GUILLERMO, O. E. P.; SCHLATTER, G. V.; TAROUCO, L. M. R. Laboratórios Virtuais de Aprendizagem na Engenharia: uma experiência significativa. **Anais... XI salão de ensino da UFRGS**. 2015.
- FERREIRA FILHO, R. C. M.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F.; VICARI, R. M. Gestão de recursos educacionais: um relato de caso. **CINTED-UFRGS - Novas Tecnologias na Educação**, V. 3 Nº 1, maio, 2005.
- FERREIRA FILHO, R. C. M.; TIMM, M. I.; SCHNAID, F.; CONSOLI, N. C. ENGE: gestão de recursos educacionais armazenados em ambiente virtual. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 25, n. 2, p. 17-25. 2006.
- FIGUEIREDO E PAULA, H. Fundamentos Pedagógicos para o Uso de Simulações e Laboratórios Virtuais no Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências – RBPEC**, v.17(1), 75–103, Doi: 10.28976/1984-2686rbpec201717175. 2017.
- MATSUBARA, G. Y.; ROSSINI, T. C. N. Reflexões sobre o ensino de engenharia: desafios no exercício da docência. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 39, p. 412-419. DOI: 10.37702/REE2236-0158.v39p412-419.2020.
- MIGUEL, P. V de O.; BARRETO, G. Modelo semiótico para o desenvolvimento de objetos de Aprendizagem. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 30, n. 1, p. 3-14. 2011.
- PASSOS, D. da S.; VENEGA, V. de S.; ROCHA, M. L. Softwares para suporte no ensino de engenharia civil: um mapeamento sistemático dos seus usos nas instituições brasileiras. **Revista Cereus**, v. 9:2-18, n. es ago/dez. 2017. UnirG, Gurupi, TO, Brasil. DOI: 10.18605/2175-7275/cereus.v9nep2-18.
- PAVANI, S. A.; POZZER, C. T.; COLUSSO, P. R. Bancada virtual para laboratórios de automação pneumática, hidráulica, acionamento de motores e controladores de processo – um caso em evolução. **Revista de Ensino de Engenharia**, artigos premiados COBENGE, v1. 2019.
- POTKONJAK, V.; GARDNER, M.; CALLAGHAN, V.; MATTILA, P.; GUETL, C.; PETROVIC, V. M.; JOVANOVIC, K. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review.

- Computers & Education**, v.95, p.309-327. 2016.
- PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2006.
- REZENDE, J. P.; DUQUE, L. C.; OLIVEIRA, T. M.; PEREIRA, M. A.; PITANGA, H. N. Sistema automatizado para ensino de Análise dos solos para construção civil. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 37, n. 3, p. 126-134, 2018. DOI: 10.5935/2236-0158.20180037.
- ROMANEL, C.; DELCOURT, R. T. Uma Experiência de Utilização da Internet no Ensino da Mecânica dos Solos. **Anais... Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE 99**, Natal – RN. 1999.
- ROSA, L. da **Estabilização de um solo típico de município de Erechim/RS com cal e resíduo agrícola para utilização no subleito de pavimentos**. Universidade de Caxias do Sul (Trabalho de Conclusão de Curso). 2020.
- SILVA, A. C. S. **Caracterização geotécnica por meio das metodologias SUCS e TRB para os principais solos encontrados em Palmas – TO**. Monografia para o Curso de Engenharia Civil, UFT. 2017.
- SANTOS, J. C.; DICKMAN, A. G. Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 41, nº 1. 2019.
- SANTOS, A. C.; SOUSA, B. J.; CANTO, J. Z.; SILVA, J. B. Ensino de Ciências baseado em investigação: uma proposta didática inovadora para o uso de Laboratórios On-line em AVEA. **Revista Univap**, v. 24, n. 44. 2018.
- SILVA, I. P.; SILVA, A. T. M. O tema “experimentos virtuais” nos anais dos eventos brasileiros de ensino de física (2005 – 2014). **Revista de Ensino de Ciências e Matemática - REnCiMa**, v.8, n.1, p.137-154, 2017.
- TEIXEIRA, L.; COSTA, O.; PEREIRA, V.; LEÃO, C. P.; SOARES, F. O.; RESTIVO, M. T.; CHOUZAL, F. Laboratórios virtuais: duas aplicações no ensino de engenharia. **Anais do VII Simpósio Internacional de Informática Educativa – SIEE05**, Leiria, Portugal, 16-18. 2005.
- VIEGAS, C.; AVANI, A.; LIMA, N.; MARQUES, A.; POZZO, I.; DOBBOLETTA, E.; ATENCIA, V.; BARRETO, D.; CALLIARI, F.; FIDALGO, A.; LIMA, D.; TEMPORÃO, G.; ALVES, G. Impact of a remote lab on teaching practices and student learning. **Computers & Education**, v. 126, p.201–216. 2018.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Anelise Schmitz – Mestre em Engenharia Civil, com ênfase em infraestrutura e gerência viária pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ (2007). Atua como professora no magistério superior nos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, no Departamento de Transportes da Universidade Federal do Paraná - UFPR. Tem experiência na área de Engenharia Civil e subárea de transportes, rodovias, infraestrutura e planejamento, com ênfase na análise, gerência, projeto e planejamento do sistema viário urbano e rural e pesquisa na linha de segurança viária e Polos Geradores de Viagens (PGV).



Matheus Lemos Nogueira – Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2011). Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande (2008). Atualmente está cursando o doutorado em Engenharia Civil, também na UFRGS, onde desenvolve uma pesquisa sobre Mobilidade Urbana Sustentável e Acessibilidade. É professor na Universidade de Caxias do Sul desde 2013, onde ministra disciplinas nos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Automotiva, além de orientações em trabalhos de conclusão de curso. Atua na área de transportes, abordando principalmente os seguintes temas: projeto geométrico de rodovias, logística e infraestrutura de transportes, mobilidade urbana, pavimentação, misturas asfálticas, controle tecnológico e de qualidade.



Leandro Olivio Nervis – Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (2016). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (2010). Graduado pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (2003). Atualmente é professor na Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, atuando principalmente nos seguintes temas: pavimentos com revestimento primário, mecânica dos pavimentos, estabilidade e estabilização de encostas, obras de terra e fundações.