



ANÁLISE DE SOLO APÓS DESASTRES AMBIENTAIS

BARDI, Luis Henrique; FERRO, Nicolas Heleno Bragion¹
MORETTO, Renata Lima²
Universidade São Francisco

luis.henrique940@gmail.com; nicolashelenobragion@gmail.com

¹Luis Henrique Bardi, Nicolas Heleno Bragion Ferro, Alunos do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

²Professor Orientador, Renata Lima Moretto, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo. A análise do solo em áreas afetadas por desastres ambientais desempenha um papel fundamental na engenharia civil, especialmente em regiões vulneráveis, como no caso do Rio Grande do Sul, onde no final de abril de 2024 eventos climáticos extremos e inesperados causaram danos severos. Este estudo investigou o comportamento de diferentes tipos de solo por meio de uma simulação experimental em escala reduzida, replicando condições de saturação severa em um talude. Foram utilizados solos semelhantes aos encontrados nas regiões afetadas, como basalto, areia, silte e argila, que foram submetidos a uma precipitação simulada. Os resultados evidenciaram a vulnerabilidade de solos menos coesivos, como areia e silte, à erosão e ao carreamento, enquanto o basalto demonstrou maior resistência e estabilidade. A saturação excessiva gerou instabilidades, afetando a integridade do solo e da estrutura ali presente. O estudo destacou a relevância de estratégias preventivas e corretivas, como sistemas de drenagem, contenção, estabilização química e revegetação para mitigar os impactos em áreas de risco. Conclui-se que a integração de análises geotécnicas detalhadas com o planejamento urbano sustentável e o uso de tecnologias avançadas é essencial para garantir a segurança estrutural em áreas afetadas por desastres ambientais.

Palavras-chave: desastres ambientais, engenharia civil, solo, deslizamentos, estabilidade.

Introdução

A análise de solos após desastres ambientais é fundamental na engenharia civil, especialmente no Brasil, que enfrenta eventos climáticos extremos, como chuvas intensas, deslizamentos e inundações. Esses desastres causam danos à infraestrutura e afetam a segurança das comunidades, tornando essencial a caracterização detalhada das alterações no solo. A composição química, física e os parâmetros mecânicos do solo podem ser comprometidos, impactando a construção civil e exigindo estratégias para garantir a estabilidade e segurança de novas edificações.

A integração entre geotecnia, engenharia civil e gestão ambiental é crucial para enfrentar desastres ambientais e recuperar áreas atingidas. Conforme Tominaga (2007, p.02), “A estratégia de redução de desastres precisa ser acompanhada do desenvolvimento social e econômico e de um cuidadoso gerenciamento ambiental.” Chuvas intensas e deslizamentos alteram propriedades físicas e mecânicas dos solos, demandando ensaios para avaliar condutividade hidráulica, resistência ao cisalhamento e estabilidade, fundamentando mapas de suscetibilidade e intervenções em áreas vulneráveis.

Além disso, a vegetação influencia diretamente a estabilidade do solo. Estudos indicam que a densidade da vegetação e o estresse hídrico afetam a ocorrência de escorregamentos.



Índices de vegetação, como NDVI e Simple Ratio, aliados ao sensoriamento remoto, permitem identificar áreas vulneráveis, favorecendo uma gestão ambiental mais eficaz.

A urbanização desordenada e a ocupação inadequada de áreas de risco intensificam desastres ambientais, como inundações e deslizamentos, pela impermeabilização do solo e falta de infraestrutura. Políticas públicas e práticas de engenharia são essenciais para prevenir tais eventos.

Este estudo de caso em laboratório envolveu a criação de um talude em pequena escala, com camadas de terra semelhantes às do Rio Grande do Sul, incluindo uma construção. Submetido a uma chuva artificial, o experimento simulou um deslizamento, com o objetivo de analisar riscos e propor soluções para mitigar impactos.

Conforme Scatolini e Bandeira (2020, p.739), “A análise de solo após desastres ambientais é crucial para entender a extensão dos danos e planejar a reconstrução”. Essa abordagem é indispensável na engenharia civil, fornecendo dados para prevenção, mitigação e recuperação de áreas afetadas, além de apoiar métodos eficazes e práticas sustentáveis no gerenciamento de riscos, promovendo segurança e eficiência para a comunidade.

Desastres ambientais e suas implicações no solo

Tipos de desastres ambientais que afetam o solo no Brasil: Os desastres ambientais no Brasil, como deslizamentos e enchentes, são recorrentes e causam grandes prejuízos. Deslizamentos ocorrem em áreas de relevo acidentado, agravados pelo avanço urbano desordenado e desmatamento. Chuvas intensas encharcam o solo, provocando desmoronamentos que destroem casas, estradas e vidas. Já as enchentes resultam do solo impermeabilizado em áreas urbanas, impedindo a absorção da água e causando inundações que afetam milhares de pessoas. Esses eventos destacam a necessidade de planejamento urbano sustentável e medidas preventivas, como sistemas de alerta e estruturas de contenção, para minimizar seus impactos. A adoção dessas ações é essencial para salvar vidas, proteger o patrimônio e reduzir os prejuízos que esses fenômenos causam às comunidades brasileiras.

Consequências diretas e indiretas sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo: Os desastres ambientais, como deslizamentos e enchentes, afetam características físicas, químicas e biológicas do solo, especialmente em áreas de construção. Fisicamente, a erosão e a compactação comprometem a sustentação e aumentam a instabilidade. Quimicamente, há perda de nutrientes e contaminação por poluentes, enquanto, biologicamente, ocorre redução de matéria orgânica e da diversidade microbiana, prejudicando a qualidade e recuperação do solo. Esses impactos dificultam a recuperação das áreas afetadas, exigindo intervenções de engenharia e práticas sustentáveis de manejo para restaurar a funcionalidade do solo e garantir a segurança das construções.

Efeitos no solo que impactam a construção civil: Desastres ambientais, como deslizamentos e enchentes, causam graves impactos no solo e apresentam desafios significativos. Segundo Magnago (2015, p.157), “A construção civil deve considerar a vulnerabilidade do solo para minimizar os riscos de desastres naturais.” A erosão remove a camada superficial do solo, comprometendo a estabilidade das fundações e tornando os terrenos inseguros para construções. A compactação do solo, por máquinas e tráfego intenso, reduz a infiltração de água, aumentando riscos de inundações e dificultando o crescimento da vegetação, que ajuda a estabilizar a terra. Além disso, a contaminação por poluentes prejudica a qualidade do solo, ameaçando a saúde humana e a integridade de edificações. Esses fatores reforçam a necessidade de medidas de engenharia e manejo sustentável para proteger o meio ambiente, garantir a segurança das construções e otimizar a qualidade de vida urbana.



Caracterização e propriedade do solo

Conceitos básicos de análise de solo: Após eventos catastróficos na natureza, é crucial para a engenharia civil realizar uma análise abrangente das características físicas, químicas e biológicas do solo, segundo Nascimento (2016, p.45) “A recuperação de áreas afetadas por desastres naturais requer uma avaliação detalhada do solo para planejar intervenções eficazes na construção civil.” para assim garantir a segurança e possibilidade de reconstruções bem-sucedidas, como a construção de bases sólidas e a prevenção de danos como erosão e inundações.

As características físicas do solo, tais como densidade, textura, estrutura e permeabilidade, influenciam diretamente a estabilidade e drenagem, sendo essenciais para fundações seguras e prevenção de erosão e inundações. As características químicas, como pH, salinidade, nutrientes e contaminantes, afetam a saúde do solo bem como sua capacidade de sustentar vegetação e construções. A análise do solo, incluindo a avaliação de microrganismos e matéria orgânica, é fundamental para garantir a segurança das estruturas e permitir intervenções de remediação, promovendo uma abordagem mais segura e sustentável na reconstrução e uso das áreas afetadas.

Propriedades físicas

Densidade e Compactação: A capacidade do solo de suportar cargas depende de sua densidade, influenciada pela compactação natural ou por máquinas. Solos excessivamente compactados, comuns em áreas urbanas densas ou sob efeito de enchentes, perdem porosidade, dificultando a drenagem e o crescimento de raízes. Em regiões atingidas por calamidades, o estudo da compactação é essencial para avaliar a durabilidade e a solidez do solo, garantindo a sustentação de fundações e prevenindo afundamentos e deformações estruturais.

Textura: A composição do solo, definida pela proporção de areia, silte e argila, influencia a estabilidade e o comportamento hídrico. Solos argilosos têm menor escoamento, aumentando a saturação e o risco de deslizamentos em áreas íngremes, enquanto solos arenosos permitem maior infiltração, mas apresentam baixa coesão em terrenos inclinados. Compreender a textura do solo é crucial para prever a absorção de água e a resistência às cargas de fundação.

Composição: A estrutura do solo, determinada pela disposição das partículas e aglomerados, afeta porosidade, resistência e coesão, essenciais para o planejamento de reforços e contenções. Em áreas com deslizamentos, a perda dessas propriedades compromete construções, aumenta a vulnerabilidade à erosão e dificulta a preparação para novas edificações, ressaltando a importância de analisar a estrutura física do solo.

Porosidade e permeabilidade: A porosidade do solo determina a permeabilidade, ou seja, a capacidade para absorção de água. Solos com alta porosidade favorecem o escoamento, prevenindo inundações. Após eventos extremos, solos compactados ou erodidos podem exigir medidas de drenagem e intervenções para recuperar sua capacidade de infiltração, especialmente em áreas suscetíveis a novas inundações.

Propriedades químicas

pH do solo: O pH é crucial para a presença de nutrientes e a função de microrganismos no solo, fatores essenciais para a saúde das plantas e a firmeza estrutural. Solos com pH fora da faixa ideal podem prejudicar a regeneração da vegetação e afetar a estabilidade das fundações.

Salinidade: A presença de substâncias salinas no solo impacta na sua habilidade de reter água e na sua fertilidade. Solos com altos níveis de salinidade podem ter efeitos nocivos sobre



as plantas, diminuindo sua capacidade de reter água, afetando a estabilidade de encostas e margens e causando danos à infraestrutura próxima.

Níveis de nutrientes: Elementos fundamentais, como nitrogênio, fósforo e potássio, são essenciais para a recuperação da vegetação, o que ajuda a manter a solidez do solo e prevenir a erosão. É essencial repor esses nutrientes para que o solo possa sustentar a restauração ambiental.

Contaminantes: A avaliação de substâncias poluentes, como metais pesados e compostos químicos, é essencial para a proteção da saúde e segurança da população. Essas características podem danificar o solo e as estruturas ao longo do tempo, também causando perigos para a saúde das pessoas e para o meio ambiente.

Propriedades biológicas

Matéria Orgânica: Ela é essencial para o solo, melhorando a retenção de água e de nutrientes. Segundo Portela (2014, p.17), “A inter-relação da vegetação com as características do relevo mantém a estabilidade do terreno, aumenta a capacidade de infiltração e reduz o potencial erosivo.” Em áreas afetadas por calamidades, isso favorece a regeneração da vegetação e a recuperação da fertilidade, promovendo um ambiente adequado ao desenvolvimento e crescimento das plantas.

Microbiota do Solo: É composta por bactérias, fungos e outros microrganismos, desempenha um papel crucial na reserva da matéria orgânica e no ciclo de nutrientes. Estes organismos desempenham um papel significativo na fertilidade e estabilidade do solo, promovendo um ecossistema equilibrado que facilita a recuperação após um desastre.

Impactos de desastres ambientais no solo

Chuvas intensas: As intensas precipitações nas áreas urbanas do Brasil, aliadas à impermeabilização, ocupação irregular e ausência de infraestrutura, agravam problemas geotécnicos como erosão, deslizamentos e assoreamento. Esses fatores prejudicam o escoamento da água, aumentando a frequência e gravidade das inundações.

A demora na regeneração da vegetação predispõe a área à instalação de processos erosivos, que podem ser agravados com o aumento das precipitações (chuva) resultando em maior infiltração de água no solo devido aos vazios deixados pelas raízes das plantas, que por fim tornam a vertente mais suscetível a escorregamentos rasos. (PORTELA, 2014, p. 27)

Na engenharia civil, avaliar o solo após catástrofes naturais é essencial para identificar causas e propor soluções eficazes. A saturação por chuvas intensas reduz a coesão do solo, aumentando o risco de deslizamentos. Segundo Lima (2002, p.67) “O acréscimo do teor de umidade causa redução na coesão enquanto o ângulo de atrito é pouco influenciado, o que pode comprometer a estabilidade de encostas após chuvas intensas.” Além disso, a erosão remove a camada superior, diminuindo resistência e capacidade de sustentação.

Aumentar a coesão e a resistência do solo, através de revegetação e estabilização de encostas, é fundamental para reduzir problemas como deslizamentos. Sistemas de drenagem adequados e espaços permeáveis ajudam a diminuir a saturação e prevenir o escoamento superficial, mitigando os efeitos de chuvas intensas. A combinação de métodos fortalece as características físicas do solo, auxiliando no manejo hídrico e na redução de desastres naturais.



Deslizamento de terra: Deslizamentos de terra são eventos geológicos que causam danos significativos à infraestrutura e à vida humana. No Brasil, fatores naturais, como chuvas intensas e características geológicas, combinados com ocupação desordenada de declives e falta de planejamento urbano, aumentam sua frequência e gravidade. Esses incidentes exigem uma abordagem abrangente para prevenção e redução de riscos, integrando planejamento urbano e medidas de mitigação.

As intervenções antrópicas nestes terrenos, tais como, cortes, aterros, desmatamentos, alterações nas drenagens e lançamento de lixo, efetuadas, na maioria delas, sem a implantação de infraestrutura adequada, aumentam as condições de instabilidade dos mesmos. (TOMINAGA, 2007, p. 1)

A engenharia civil é fundamental na prevenção e mitigação de deslizamentos. A análise das propriedades do solo e a identificação de áreas suscetíveis são essenciais para prever o comportamento do solo em condições adversas. Métodos de geotecnia, como estudos de estabilidade de encostas, ajudam a implementar soluções como muros de contenção e sistemas de drenagem eficientes, reduzindo a sobrecarga hídrica.

A elaboração de mapas de risco é indispensável para indicar regiões vulneráveis e orientar o planejamento urbano. Esses mapas devem ser constantemente atualizados com dados geológicos recentes para assegurar sua precisão e eficácia. Um planejamento urbano adequado deve considerar as características do solo, evitar ocupações em áreas de risco e promover infraestruturas mais resilientes. Assim, é possível minimizar os impactos de deslizamentos e proteger tanto a população quanto a infraestrutura.

Enchentes: As grandes inundações no Brasil são frequentes e devastadoras, principalmente devido às ações humanas e ao manejo inadequado dos solos nas cidades. O crescimento urbano desordenado altera a composição do solo, intensificando a erosão e favorecendo o acúmulo de sedimentos em rios e canais. A falta de vegetação e o solo desprotegido agravam a erosão, obstruindo os canais de drenagem, reduzindo sua capacidade de escoamento e aumentando o risco de inundações.

Excessiva canalização de córregos e o enorme assoreamento de todo o sistema de drenagem por sedimentos oriundos de processos erosivos e por toda ordem de entulhos de construção civil e lixo urbano compõem fatores adicionais que contribuem para lançar as cidades a níveis críticos de dramaticidade no que se refere aos danos humanos e materiais associados aos fenômenos de enchentes. (SANTOS, 2024, p. 13);

O excesso de impermeabilização nas regiões urbanas impede a absorção da água da chuva, aumentando o volume de escoamento superficial. O acúmulo de água, somado ao assoreamento, eleva a umidade nas áreas adjacentes, afetando a estabilidade das encostas e tornando-as mais suscetíveis a deslizamentos. A elevação da umidade do solo aumenta a instabilidade nas áreas urbanas, resultando em prejuízos econômicos e colocando vidas em risco.

Para reduzir esses problemas, é essencial adotar medidas de prevenção e controle. Propostas incluem o manejo de proteção do solo, a criação de áreas permeáveis, a preservação da vegetação e o estímulo à instalação de dispositivos para acumular e infiltrar água da chuva. Esses esforços, aliados a políticas públicas eficazes, são fundamentais para enfrentar o desafio



das inundações urbanas no Brasil, garantindo a segurança das populações e minimizando os impactos ambientais.

Normas e regulamentações na construção civil

Padrões e legislações para a análise de solos em áreas de risco: A legislação brasileira, por meio da Lei 12.608/2012, estabelece regras para a avaliação de solos em áreas de risco, visando prevenir desastres naturais e garantir a segurança das edificações. A Lei criou a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), que exige a identificação de áreas de risco e a elaboração de mapas geotécnicos. Segundo Scatolini e Bandeira (2020, p.740), “A construção civil no Brasil deve considerar os resultados da análise de solo para garantir a segurança e a sustentabilidade das novas edificações.” A análise geotécnica inclui ensaios granulométricos, resistência ao cisalhamento e umidade, essenciais para a estabilidade do solo. O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é recomendada para mapear regiões vulneráveis, criando uma base sólida para o planejamento urbano.

Normas técnicas Brasileiras e internacionais relacionadas a análise e estabilização de solos em áreas impactadas por desastres: Leis brasileiras e internacionais regulam a análise e estabilização de solos em áreas afetadas por desastres, visando garantir a segurança em obras civis e prevenir futuros incidentes. No Brasil, a ABNT, por meio da Norma NBR 6484, orienta a execução de sondagens, fundamentais para analisar o solo antes da construção em regiões de risco. Globalmente, a Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM) oferece diretrizes para avaliar a estabilidade de encostas e monitorar condições do solo, especialmente em áreas saturadas ou degradadas. Segundo a CEPED/RS-UFRGS (2016, p.189), “A análise geotécnica do solo é essencial para o planejamento urbano e a construção de infraestruturas resilientes a desastres naturais.” Métodos de estabilização, como tração e materiais corretivos, são essenciais para otimizar a resistência do solo. Essas diretrizes asseguram a implementação de técnicas adequadas de estabilização, reduzindo riscos e prolongando a durabilidade das construções.

Protocolos de segurança e prevenção: Após desastres ambientais, os protocolos de segurança e regulamentos de construção civil são fundamentais para mitigar danos e evitar incidentes subsequentes. No Brasil, a construção civil segue regras rigorosas para avaliar o solo e aumentar a resistência das edificações em áreas vulneráveis. A Lei Federal nº 12.608/12, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), define diretrizes para identificar zonas de risco e adotar medidas preventivas, destacando a gestão integrada de desastres. Após desastres, é crucial analisar o solo para identificar alterações que afetam a estabilidade das fundações. Sistemas de drenagem e o reforço de encostas são essenciais para garantir a resistência da infraestrutura urbana. Para Scatolini e Bandeira (2020, p.743), “A implementação de políticas de gerenciamento de resíduos de construção e demolição deve ser baseada em estudos de solo pós-desastre.” Além disso, normas da ABNT e do CONAMA promovem a reciclagem e o uso sustentável na construção civil.

Técnicas de análise de solo pós-desastre

Métodos laboratoriais e análise física e química: A avaliação do solo por meio da análise física e química é essencial para entender as consequências de desastres ambientais e planejar medidas de recuperação. Métodos como a análise granulométrica e os Limites de Atterberg ajudam a identificar a estrutura do solo, avaliar sua retenção, resistência e determinar sua textura, afetando a estabilidade de áreas sujeitas à deslizamentos.

Análises químicas, como o teste de pH e a avaliação de nutrientes e metais pesados, fornecem informações sobre a condição do solo e possíveis poluentes. Durante emergências,



como enchentes, esses poluentes podem modificar a estrutura do solo, aumentando os riscos para construções futuras. Esses dados auxiliam a engenharia civil a orientar projetos e medidas para garantir a estabilidade das estruturas.

Análises laboratoriais estudam a coesão e compactação do solo, antecipando seu desempenho sob pressões. Esse conhecimento é crucial para construir infraestruturas em zonas de alto risco, como barreiras e sistemas de drenagem. Com esses dados, engenheiros criam mapas de risco e planos para reduzir a suscetibilidade a catástrofes futuras.

Ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento: O uso de tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento é essencial para estudar solos, especialmente após desastres ambientais, permitindo a obtenção de informações precisas e a elaboração de mapas geotécnicos. Satélites e drones equipados com sensores avançados capturam imagens e dados topográficos que, quando incorporados a Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), oferecem uma visão detalhada das regiões afetadas.

Após catástrofes, esses instrumentos permitem analisar mudanças no solo, como erosão e deslizamentos, e identificar zonas perigosas. Utilizando modelos digitais de elevação e imagens de alta resolução, engenheiros civis mapeiam áreas instáveis e planejam intervenções seguras. Além disso, registros anteriores de sensoriamento remoto ajudam a detectar padrões de deterioração do solo, essenciais para o planejamento urbano e a prevenção de futuras catástrofes.

A fusão de imagens de sensoriamento remoto com geoprocessamento simplifica o planejamento ambiental, auxiliando nas decisões sobre uso e ocupação da terra. Em locais sujeitos a deslizamentos, essa combinação é crucial para delimitar áreas seguras e planejar estruturas de retenção, além de avaliar a distribuição de umidade e a estrutura geológica, essenciais para a estabilidade das encostas.

Estudos Geotécnicos e sondagens in loco: As análises geotécnicas e a investigação no local são essenciais para a avaliação de solos, especialmente em regiões afetadas por catástrofes naturais. Essas investigações fornecem informações cruciais sobre a resistência do solo, necessárias para decisões em projetos de engenharia. Após deslizamentos e inundações, utiliza-se o Teste de Penetração Padrão (SPT) para avaliar a resistência do solo à penetração, sendo fundamental para analisar a estabilidade dos terrenos inclinados e identificar áreas de risco para futuras construções.

Antes de procurar determinar os parâmetros necessários para nossas equações de análise de estabilidade de talude, precisamos entender o que está acontecendo na Natureza, quais as forças que estão agindo para instabilizar o talude e a partir daí, entendendo as causas, elaborar as propostas de intervenção para controlá-las e reestabelecer o equilíbrio. (SANTOS, 2023, p. 4);

A coleta de dados no local é realizada em áreas específicas, como a parte inferior e superior de declives, com o objetivo de obter amostras e avaliar fatores essenciais que influenciam as características do solo. Amostras deformadas e não deformadas são coletadas para garantir a precisão dos testes de laboratório, que determinam a granulometria, a compactação e o teor de umidade do solo. Essas pesquisas são fundamentais na recuperação de terrenos danificados, auxiliando no planejamento das bases e na construção de estruturas de contenção para prevenir futuras penetrações.

É urgente realizar o acompanhamento constante do solo com inclinômetros e medidores de nível de água para evitar instabilidades. As informações coletadas orientam a criação de projetos seguros, como construções de contenção e fortalecimento de encostas, promovendo a segurança da infraestrutura e da comunidade local.



Modelo de simulação e previsão de comportamento de solo: O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e a Razão Simples são ferramentas cruciais para avaliar solos, especialmente após desastres ambientais. O NDVI calcula a densidade de vegetação através de imagens de satélite, com altos índices indicando vegetação abundante e baixos índices apontando solos sem cobertura ou com vegetação escassa. A Razão Simples, alternativa ao NDVI, utiliza a proporção entre as bandas espectrais vermelha e infravermelha, também detectando a vegetação. Ambos são essenciais para monitorar áreas afetadas por desastres naturais e acompanhar a eficácia das medidas adotadas. Na engenharia civil, são utilizados no planejamento de obras de contenção e recuperação de encostas, avaliando o solo e ajudando na prevenção da erosão. Para Magnago (2015, p.170), "Tecnologias de monitoramento e planejamento urbano são fundamentais para reduzir os danos causados por desastres naturais", sendo essenciais na criação de mapas de risco e na ocupação segura do terreno.

Impactos da qualidade do solo na construção civil

Como as alterações das propriedades do solo influenciam fundações e estruturas: Mudanças no solo, especialmente após eventos climáticos, afetam diretamente a estabilidade de construções e fundações. Alterações na compactação, teor de umidade ou composição podem comprometer a segurança e funcionalidade das fundações. A engenharia civil deve adaptar os projetos estruturais para considerar essas mudanças, garantindo a capacidade das estruturas de suportar as cargas eficientemente. Segundo o texto, mesmo pequenas alterações em solos moles podem causar danos significativos.

Após eventos catastróficos, como inundações, a compactação e a capacidade de suporte do solo podem diminuir, especialmente em solos afetados. Segundo Mendonça (2012, p.34), "O efeito de recalques diferenciais, amplamente observado em terrenos heterogêneos ou após eventos extremos, destaca a necessidade de considerar a interação solo-estrutura para reduzir impactos adversos na integridade de edificações.." Avaliar a capacidade de deformação do solo é essencial para prevenir assentamentos desiguais, rachaduras em fundações e na estrutura, especialmente em solos argilosos, que podem aumentar o risco ao afundamento e liquefação.

A relação entre o solo e a estrutura considera as características do solo e seu impacto nas fundações, visando prevenir patologias estruturais e reduzir a necessidade de manutenção. Recomenda-se o uso de métodos de pesquisa geotécnica para garantir que as mudanças sejam realizadas conforme as novas condições do solo, minimizando os danos causados por desastres à infraestrutura.

Problemas associados à instabilidade do solo em projetos de construção: Após eventos ambientais como enchentes e deslizamentos, é fundamental realizar uma análise das características do solo na engenharia civil para avaliar a segurança e estabilidade das edificações. Saturação, erosão e perda de coesão podem piorar a instabilidade, comprometendo a capacidade de suporte e causando recalques nas fundações. De acordo com o texto, é essencial que a análise estrutural seja o mais fiel possível ao modelo físico para prevenir fissuras e danos nas construções.

Quando a qualidade do solo é comprometida, pode impactar significativamente a estrutura de uma construção. Solos moles ou instáveis aumentam o risco de subsidência e colapsos, necessitando de investigação geotécnica para projetar fundações específicas. A análise das características geotécnicas, como permeabilidade e resistência, possibilita ações preventivas, como drenagens e estruturas de contenção, para estabilizar o terreno e evitar danos em regiões edificadas.

Após eventos catastróficos, substâncias nocivas ou mudanças químicas podem melhorar a resistência dos materiais de construção e o desenvolvimento do cultivo, prevenindo danos futuros ao solo. Examinar cuidadosamente as condições de um solo após um desastre orienta



medidas seguras, reforçando a resistência e promovendo um crescimento urbano sustentável e seguro.

Estratégias para mitigar os efeitos do solo degradado na construção civil: A deterioração do solo é um desafio importante para o setor de construção, exigindo ações para garantir a estabilidade e durabilidade das construções. Segundo Scatolini (2020, p.742) “A recuperação de áreas afetadas por desastres ambientais exige uma abordagem integrada que inclua a análise detalhada do solo”. Técnicas como retaludamento, drenagem e aplicação de materiais corretivos são essenciais. O retaludamento visa modificar a inclinação das encostas e reduzir o risco de deslizamentos, enquanto a drenagem regula o escoamento da água, prevenindo a saturação e a instabilidade do solo. Métodos de drenagem incluem tubos, interceptores e canais.

O uso de plantas e estruturas artificiais é eficaz na prevenção da erosão do solo. A florescência contribui para a estabilidade através das raízes, que reforçam e estruturam o solo naturalmente. Revestimentos de grama, concreto ou argila podem ser aplicados em áreas com erosão acentuada para aumentar a resistência e estabilidade do solo. A análise do solo após desastres ambientais é crucial para avaliar a degradação e adotar medidas corretivas. Após enchentes, o aumento da umidade e os sedimentos podem comprometer a capacidade do solo, exigindo a aplicação de cal ou outros estabilizadores, além de drenagem para garantir resistência adequada.

Prevenção para não ocorrência de desastres

A redução dos impactos de desastres naturais nas áreas urbanas do Brasil exige uma abordagem que combine estratégias estruturais e não estruturais. A avaliação do solo após eventos ambientais identifica regiões vulneráveis e orienta as intervenções necessárias para evitar novas calamidades. As intervenções físicas incluem barragens, paredes de suporte e sistemas de escoamento para proteger contra inundações e deslizamentos de terra. Além disso, a delimitação de áreas perigosas ajuda na decisão sobre a ocupação do solo e a proibição de construções.

A qualidade do solo é essencial para a segurança e longevidade das construções na engenharia civil. Após eventos catastróficos, como enchentes, é crucial analisar o solo para verificar suas características mecânicas e capacidade de suportar construções. Segundo Mendonça (2012, p.34), "a ausência de integração entre a análise estrutural e geotécnica, particularmente em zonas sujeitas a instabilidade do solo, pode levar a sérios riscos estruturais, incluindo o colapso parcial ou total das edificações". Solos sobrecarregados ou afetados por sedimentos podem perder sua coesão, aumentando o risco de falhas estruturais. A análise do solo orienta a adoção de técnicas de estabilização, drenagem e materiais corretivos, restaurando sua qualidade e segurança para futuras construções.

É fundamental incorporar estratégias preventivas no planejamento urbano e na construção civil para reduzir os impactos dos desastres naturais e aumentar a resistência das comunidades. O Brasil tem avançado na implementação de políticas e métodos eficazes, embora exigindo mais recursos.

Materiais e Métodos

Foi elaborado um experimento no qual foi realizada a simulação de uma edificação em um terreno com características semelhantes às de áreas com alto risco de desastres ambientais. Todos os dados utilizados foram baseados em eventos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul, após abril de 2024 no qual houve centenas de mortes e milhões de pessoas afetadas, onde a média diária de chuva era de 470 mm/dia.

Para a realização do experimento foram utilizados os seguintes materiais: caixa acrílica (89 x 30 x 31 cm); manta para drenagem tipo Bidim; pá de aço; pistilo de porcelana, fita métrica; caneta permanente; 8 kg de basalto misto com cascalho (em proporção 1:1); 14,57 kg de areia; 12,86 kg de silte; 11,92 kg argila; regador com capacidade de (10L); 21L de água potável.

Os solos utilizados são semelhantes ao de um ensaio de SPT realizado em Porto Alegre/RS presente no Anexo 01, diferindo apenas o nível de água, que pela falta de um escoamento adequado, foi necessário realizar a saturação artificial completa do talude, tornando assim o experimento mais próximo ao que seria encontrado naturalmente na região.

Metodologia

Antes da montagem do talude foi realizada a coleta de amostra de cada solo a ser utilizado para a realização do teor de umidade relativa dos solos, sendo basalto + cascalho uma amostra de solo úmido de 53,87g, areia média compactada com valor de 46,44g, areia pouco compactada com 52,22g, silte com 44,87g e por fim argila com valor de solo úmido de 40,37g.

Após a coleta das amostras foi dado início a realização do experimento começando pela fixação da manta para drenagem no fundo da caixa de acrílico, para composição do talude a primeira camada foi de basalto + cascalho com adensamento de 25 golpes manuais utilizando o pistilo cerâmico finalizando com uma camada de compactação igual a 2,5cm, a segunda camada a ser compactada com 25 golpes manuais foi a de areia que resultou em uma camada de 9,5cm, a terceira camada foi a de silte que também foi compactada com 25 golpes manuais e teve uma altura de 7cm, a quarta e última camada do talude foi a de argila que também teve sua compactação com 25 golpes e finalizando com uma camada compactada de 7cm.



Figura 01 – Compactação da Primeira Camada - Basalto + Cascalho. (Fonte: Próprio Autor)



Figura 02 – Compactação da Segunda Camada - Areia. (Fonte: Próprio Autor)



Figura 03 – Compactação da Última Camada - Argila. (Fonte: Próprio Autor)

Como a proposta de tornar o experimento mais fiel a realidade e proporcionar uma simulação mais completa, foi inserido no solo uma estrutura feita em concreto armado, com fundação do tipo estaca moldadas, vigas e pilares, simulando uma típica construção em área de risco.



Figura 04 – Talude e Estrutura Finalizados. (Fonte: Próprio Autor)

Condições iniciais do solo

Para realizar o teste, temos que levar em consideração as propriedades básicas de cada solo utilizado no momento da montagem. A partir das dimensões da caixa acrílica em comparação com a espessura de cada camada, conseguimos encontrar o volume, com o peso utilizado e o volume que cada um ocupa, encontramos a densidade e com o auxílio da estufa de secagem e utilizando amostras coletadas, por meio de uma fórmula, encontramos o teor de umidade relativa de cada solo.

Com os dados submetidos nas fórmulas abaixo, encontramos as informações básicas dos solos que foram utilizados:

Volume:	Densidade:	Teor de umidade relativa:
$V = b \times L \times h = (\text{cm}^3)$	$\gamma = \frac{M}{V} = \left(\frac{\text{kN}}{\text{cm}^3}\right)$	$h = \left(\frac{\text{PU}-\text{P}}{\text{PS}}\right) \times 100 = (\%)$
Onde: b= base(cm) L= largura (cm) h= altura (cm)	M= massa(g) V= volume(cm ³)	PU= peso úmido (g) PS = peso seco (g)

Basalto + cascalho: Volume = 2.262cm³(em partes iguais), densidade = 3,048 g/cm³, teor de umidade = 1,70%;

Areia: Volume = 9.975cm³, densidade = 1,461 g/cm³, teor de umidade = 0,69%;

Silte: Volume = 7.350cm³, densidade = 1,750 g/cm³, teor de umidade = 21,66%;

Argila: Volume = 7.350cm³, densidade= 1,622 g/cm³, teor de umidade = 31,97%.

Simulação da chuva: Para tal, utilizamos um regador de jardim, com capacidade de 10L, onde simulamos uma precipitação em toda região do experimento, realizando pausas e controlando o fluxo de água, como forma de abranger toda a área uniformemente.

Considerando que a média de chuva na região do Rio Grande do Sul foi de 470mm/dia, temos que realizar uma proporção, para obtermos a relação de água necessária pela escala do experimento:

$$\text{Precipitação} = 470\text{mm/dia/m}^2 = 19,58 \text{ mm/h/m}^2$$

$$\text{Área do experimento} = 1.050\text{cm}^2 = 0,105 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume necessário para o experimento} = 19,58 \times 0,105 \pm 2\text{cm de chuva por m}^2$$

$$2\text{cm} \times (A=1.050\text{cm}^3) = 2.100\text{cm}^3 = 21\text{L/h}$$

Realização e monitoramento do processo: O teste foi realizado em dois tempos de 30min com vazão de 10,5L cada, realizando pausas e variações na vazão de água.

No final do primeiro tempo, foi possível notar o início de duas erosões no talude, parte da sedimentação da camada superficial do solo que foi escoada e o acúmulo de água na parte inferior.

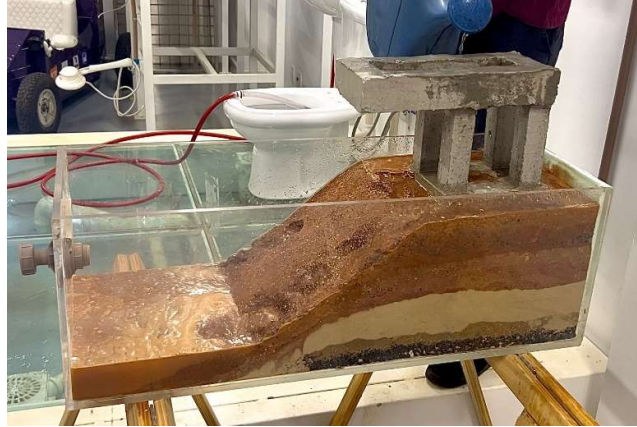


Figura 05 – Realização do Primeiro Tempo. (Fonte: Próprio Autor)

No final do segundo tempo já foi possível notar uma erosão generalizada no talude, onde parte da fundação já está exposta, observa-se também um avanço considerável de sedimentos no fundo do talude, além do nível d'água elevado



Figura 06 – Realização do Segundo Tempo. (Fonte: Próprio Autor)

Resultados e Discussões

Após a realização do teste, obtivemos a partir da simulação de uma chuva de 20L/h sobre o talude construído em uma caixa de acrílico, proporcionou uma análise detalhada sobre o comportamento dos diferentes tipos de solos (argila, silte, areia e basalto + cascalho) comparados com os dados de resistência à penetração (SPT) identificados em um estudo realizado em Porto Alegre – RS (anexo 1). Esta comparação foi essencial para compreender como as características de resistência dos solos modificam o comportamento do talude sob chuvas intensas.

Comportamento do solo e comparação com SPT



Argila: durante o experimento observou-se a alta coesão e resistência inicial da argila, mas devido à alta saturação do solo, ocorreram várias fissuras, pontos de erosão e carreamento do solo. Comparando com o SPT, observamos que a camada inicial (0 a 0,8m) foi identificada como argila arenosa, com valores baixos de resistência, junto da sua baixa capacidade de suporte e maior potencial de falha em situações de umidade elevada. Isso destaca a tendência a instabilidade em solos argilosos saturados.

Silte: apresentou erosão moderada e uma significativa movimentação no talude, sendo uma camada intermediária entre a argila e os solos de maior resistência. No ensaio de SPT (anexo 1) uma camada de solo similar (entre 0,8 e 5,15m), é uma argila arenosa mole que apresenta baixa resistência, isso explica o comportamento apresentado, no qual o silte se mostrou mais vulnerável à movimentação e saturação, embora nem tão propenso à erosão quanto a areia.

Areia: durante o teste a areia teve grande taxa de erosão e transporte de partículas devido à sua baixa coesão. No ensaio de SPT, as camadas de areia média fofa e areia média pouco compactada (5,15 a 15,10m) possuem maior resistência que as camadas superiores, mas ainda sujeitas a deslocamentos durante chuvas intensas. O mesmo se assemelha no teste realizado, no qual a areia apresenta-se menos estável, com erosão acentuada e alta mobilidade de partículas.

Basalto + cascalho: durante o experimento a camada mista de basalto e cascalho apresentou uma ótima resistência e drenagem suportando o peso e pressão causados pelas camadas superiores sem causar desmoronamento. No ensaio de SPT, não há registro de uma camada rochosa de basalto ou cascalho, mas elevados valores de resistência nas camadas mais profundas apresentam solos mais densos e resistentes, semelhante ao comportamento observado do basalto no experimento, onde a camada apresentou uma base estável para as camadas superiores.

A saturação dos solos mais superficiais gerou instabilidades que afetaram tanto o talude quanto a estrutura, provocando um deslizamento visível. As camadas com menores resistências no SPT foram as que mais apresentaram falhas e movimentos, isso tudo reforça que relação entre a baixa resistência e a penetração é maior a chance de deslocamento em situações de saturação.

Mudanças na estrutura dos solos pós ensaio

Após a simulação da chuva foram coletados e quantificados o volume de sedimentos deslocados de cada tipo de solo presente no talude, os sedimentos coletados apresentam uma mistura das diferentes camadas do solo, ocasionado por conta da erosão e escoamento, no entanto, a análise do volume total permite algumas análises sobre o comportamento geral do talude e as características de resistência dos materiais usados.

Solos com menor coesão como a argila e a areia, são mais prováveis de serem carreados durante a passagem de água, a presença destes tipos de solos, principalmente nas camadas mais superficiais, favorece significativamente o volume total de sedimentos deslocados após a exposição do talude a grandes proporções de saturação.

A posição de cada solo nas camadas é outro fator potencial, quando esses solos com menor coesão são expostos ao impacto direto da água, boa parte deles são carregados, gerando uma movimentação maior, quando comparado a solos mais coesos e resistentes.

Outro fator notório do efeito da saturação extrema, principalmente quando analisamos solos menos permeáveis é a pressão gerada pelo excesso de água, que contribui para processos erosivos e consequentemente aumentando o volume total de solo deslocado.

Comportamento da edificação

Durante o processo a partir da segunda etapa de simulação da chuva, já foi possível notar a exposição total do baldrame e de parte das estacas da fundação, causada pela forte erosão e deslocamento do solo próximo do topo do talude.

Após a drenagem da água e estabilização do solo, podemos notar todos os impactos que atingiram a edificação. Devido a erosão irregular, compactação e mudanças na estrutura das camadas, partes do solo sofreram adensamentos maiores do que outros, fazendo com que a estrutura sofra um recalque diferencial, o que gera diversos problemas na estrutura, como fissuras, deslocamentos e até colapsos parciais ou totais da estrutura.



Figura 07 – Resultado da Simulação. (Fonte: Próprio Autor)

Suscetibilidade à erosão

Notou-se que os solos com menor coesão como silte e areia são os mais suscetíveis a ocorrência de erosão, a camada de silte, em particular, sofreu um dos deslocamentos mais significativos, com alto volume de partículas transportadas para o fundo do talude, Isso está relacionado ao fato da baixa coesão em sua estrutura, o que facilita a percolação de água entre ela. Já a argila apesar de ser um solo mais coesivo e menos permeável, demonstrou também alguns pontos de fissura após uma prolongada saturação, o que mostra que com o tempo a erosão também afetaria esse solo.

Influência da granulometria e coesão

Esses fatores influenciaram diretamente a erosão e transporte de sedimentos, a argila por ter uma estrutura de grãos finos e de alta coesão, indicou resistência inicial à erosão, mas acumulou água rapidamente devido a sua baixa permeabilidade. Já os solos com granulometria mais elevada como basalto e cascalho, exibiram maior resistência ao transporte de sedimentos e atuaram como barreiras naturais para o fluxo d'água. Sendo assim o silte e areia por possuírem uma granulometria fina, combinadas com a baixa coesão, contribuíram para o deslocamento significativo dos sedimentos durante o ensaio.

Volume de sedimentos deslocados

De forma geral os solos que tiveram maior deslocamento foram a argila e o silte, apesar da boa coesão da argila, sua baixa permeabilidade não foi suficiente para drenar o grande volume de água um período curto, com isso a pressão gerada pela força da água foi responsável



pelo carreamento do solo, já o silte, naturalmente tem uma coesão inferior, o que facilitou sua erosão.

Devido a esses fatores ocorreu uma sedimentação de solos possuindo um volume aproximado de 3.400cm^3 , cerca de 12,45% do volume total de solo, sendo esse a maior parte de argila e silte (solos presentes nas camadas mais superficiais).

Efeitos da chuva extrema

Uma chuva de proporções como as apresentadas neste ensaio evidencia os impactos severos causados no solo, como a infiltração, onde solos mais coesos absorvem menos água, causando maior pressão e tendência a deslizamentos, a saturação excessiva também aumenta a pressão interna nos poros, reduzindo sua coesão e contribuindo para o cisalhamento. A erosão superficial causada pelo excesso de água, faz com que solos inferiores fiquem expostos, o que pode gerar enfraquecimento das estruturas e desencadear novos colapsos.

As grandes chuvas que ocorreram no Rio Grande do Sul durante o período de 27 de abril até o dia 31 de maio de 2024, apresentaram altos volumes em diversas cidades, especialmente o centro do estado, cidade como Santa Maria o acúmulo de precipitação neste período foi de 782,3mm de precipitação, ainda na região central na cidade de Tupanciretã obteve neste mesmo período uma precipitação de 592,0mm. Já na serra gaúcha em Caxias do Sul foi acumulado um total de 1.023,00mm, em Bento Gonçalves foi registrado 961,0mm de chuva. Em Porto Alegre o volume registrado foi de 729,2mm.

Com base nos dados apresentados, é possível concluir que eventos de precipitação extrema, como os simulados neste experimento e observados no Rio Grande do Sul, têm potencial para causar impactos significativos na estabilidade de taludes e estruturas associadas. A infiltração desigual em solos de diferentes coesões, a saturação excessiva e a erosão superficial são fatores que comprometem a integridade do solo, contribuindo para deslizamentos e colapsos.

Soluções de Engenharia e Recuperação de Solo

Bioengenharia e Revegetação: O plantio de vegetação nativa contribui amplamente para recuperação de solos degradados, essa técnica é essencial para a diminuição da erosão e estabilização de encostas. Essa diminuição ocorre devido as raízes das plantas, que por sua vez aumentam a coesão do solo e facilitam a permeabilidade da água. De forma complementar técnicas de monitoramento ambiental permitem a identificação de áreas estratégicas para ações de revegetação e promovendo a restauração do equilíbrio ecológico e estrutural.

Remediação de Solo Contaminado: Esta técnica consiste na neutralização de contaminantes transportados pela água, como resíduos urbanos e materiais tóxicos que por sua vez comprometem as estruturas químicas e biológicas do solo. Algumas técnicas incluem estabilização química, que por sua vez utiliza da adição de corretivos para neutralizar substâncias tóxicas e otimizar a qualidade do solo, drenagem para remoção de partículas desintegradas e biorremediação, que utiliza microrganismos para recuperar a saúde biológica do solo. Nos casos de contaminação severa, camadas contaminadas podem ser removidas ou contidas por barreiras físicas. Algumas destas ações restauram as propriedades originais do solo, prevenindo impactos em lençóis freáticos e garantindo suas previsões para usos futuros, como construção ou agricultura.

Terraplanagem e Nivelamento: O nivelamento do terreno, frequentemente associado a práticas de terraplanagem, é indispensável em áreas degradadas ou impactadas por deslizamentos. Essa técnica procura corrigir irregularidades, possibilitando a redistribuição



uniforme do solo e preparando o terreno para receber novas estruturas, além disso, reduzindo o risco de futuras movimentações de solo.

Métodos de estabilização do solo para futuras construções

Drenagem subsuperficial: A drenagem subsuperficial é essencial para o tratamento adequado da água em terrenos saturados, diminuindo pressões nos poros do solo e prevenindo falhas estruturais. A instalação de sistemas de drenagem auxilia no controle da infiltração e no direcionamento adequado do escoamento, promovendo maior estabilidade em locais mais vulneráveis.

Uso de geossintéticos: Geossintéticos têm se destacado como materiais de alta eficiência no reforço e estabilização do solo. Esses materiais permitem a separação entre camadas, melhorando a resistência ao cisalhamento e reduzindo os efeitos da erosão. Sua aplicação é especialmente relevante em encostas e taludes sujeitos a altos níveis de saturação e movimentação.

Estabilização química: A estabilização química envolve a aplicação de substâncias, como cal e cimento, para otimizar as propriedades mecânicas do solo. Esses agentes reduzem a plasticidade, aumentam a resistência e tornam o solo mais resistente quando submetido a esforços estruturais. Essa técnica é amplamente utilizada em solos argilosos e de baixa permeabilidade, tornando-o mais resistente e menos suscetíveis a erosões e deslizamentos.

Técnica de reforço mecânico: A compactação mecânica é uma prática fundamental para elevar a densidade e diminuir a porosidade do solo. Este método otimiza a capacidade de suporte e a resistência ao cisalhamento, sendo geralmente aplicado durante a preparação de taludes e fundações em áreas de risco. Algumas técnicas que podem ser utilizadas são a criação de taludes em degraus, que reduzem a inclinação de encostas e melhoram a estabilidade, muros de arrimo e gabiões, que ajudam a sustentar as encostas instáveis e ancoragens e grampos, que através da fixação no solo aumentam sua estabilidade estrutural.

Técnicas para mitigar ou amenizar futuros desastres

Mapeamento de áreas de risco: O uso de tecnologias avançadas, como sensoriamento remoto e geoprocessamento, possibilita a identificação de áreas suscetíveis a desastres naturais. A elaboração de mapas de risco orienta ações preventivas e o planejamento urbano, reduzindo significativamente os danos potenciais.

Planejamento urbano: Práticas urbanísticas fundamentadas em estudos técnicos desempenham papel crucial no mapeamento de áreas de risco e controle de uso do solo, conforme estabelecido na lei 12.608/2012. A representação territorial, aliado ao controle do uso do solo, evita construções em áreas vulneráveis e assegura a implementação de infraestruturas capazes de resistir a eventos extremos.

Sistema de drenagem: A implantação de sistemas de drenagem eficazes desempenha papel fundamental na redução da saturação do solo, evitando deslizamentos e estabilizando o solo. Soluções como drenagens superficiais e subsuperficiais colaboram para o planejamento seguro do escoamento, preservando a integridade das encostas e dos terrenos adjacentes.

Estabilização de encostas: Esta prática envolve um conjunto de soluções estruturais e vegetativas para melhorar a resistência dos taludes e reduzir riscos de deslizamentos. As intervenções incluem a construção de muros de contenção, a modelagem do terreno e o reforço por revegetação, garantindo assim maior durabilidade e resistência de encostas.

Uso de materiais resilientes: A utilização de materiais com alta resistência mecânica e estabilidade química, como geossintéticos e solos tratados, colaboram para a durabilidade a



longo prazo de obras executadas em áreas de risco ou de recuperação. Esses materiais são altamente eficientes nessas situações de saturação intensa e pressão hidrostática elevada.

Limitações do Experimento

Apesar do comprometimento na execução do experimento, algumas limitações precisam ser consideradas, uma vez que podem ter impactado nos resultados obtidos. As principais especificações deste estudo são:

Escala do Experimento: O uso da caixa de acrílico com dimensões limitadas para representar um talude com diferentes tipos de solos não é completamente representativa das condições reais, assim como a estrutura que também apresentava escala divergente com a do talude.

Homogeneidade dos Solos: Embora tenha sido controlado o tipo de solo em cada camada, a homogeneidade das amostras de solo pode ter sido afetada por pequenas variações nas condições de disposição e compactação dos materiais. Além disso, a distribuição da umidade no solo pode ter sido desigual, influenciando a resposta ao escoamento da água.

Simulação da Chuva: A simulação da chuva de 21 L/hora foi realizada de forma controlada, utilizando um regador de jardim. No entanto, é difícil reproduzir com precisão a distribuição espacial e temporal da ocorrência observada em condições naturais. A chuva real pode ter variações em termos de intensidade, duração e distribuição, que não foram completamente semelhantes ao do experimento.

A interação entre a água da chuva e os diferentes tipos de solo pode ter sido influenciada por variáveis como a velocidade da infiltração, a saturação e a formação de carreamento superficial. Como o experimento não contempla essas interações de forma dinâmica, ou seja, ao longo de todo o período da chuva, pode haver uma subestimação ou superestimação de certos efeitos, como a erosão ou a lavagem dos sedimentos.

Monitoramento da Umidade: A umidade dos solos foi monitorada, mas a medição foi limitada a pontos específicos dentro da caixa. Esse monitoramento pontual não permite variações de captura no perfil de umidade ao longo de toda a extensão do talude, o que pode afetar a interpretação do comportamento da umidade e sua relação com a geração de sedimentos.

Sedimentos Coletados: Uma análise dos sedimentos foi realizada com base no volume total coletado, sem separação específica entre os sedimentos originados de cada tipo de solo. Esse fator pode levar a uma perda de detalhes específicos sobre o comportamento de cada solo sob as condições da chuva simulada.

Conclusões

Após a análise experimental em taludes, ficou evidente que os diferentes tipos de solo respondem distintamente às condições de saturação extrema. Solos com baixa permeabilidade, como a argila, acumularam água, levando a fissuras e deslocamentos. O silte apresentou vulnerabilidade à erosão devido à baixa coesão, enquanto a areia, com maior drenagem, foi mais propensa à movimentação de partículas. Em contraste, a camada de basalto e cascalho que proporcionaram maior resistência e estabilidade.

Os dados experimentais reforçam a relevância da análise detalhada do solo para fundamentar decisões na engenharia civil, particularmente em áreas sujeitas a desastres ambientais. As estratégias de mitigação devem priorizar métodos como drenagem eficiente, contenções, estabilização química e técnicas de bioengenharia, garantindo a segurança estrutural e a sustentabilidade.



Além disso, é essencial integrar políticas públicas voltadas para o mapeamento de áreas de risco e o planejamento urbano. O uso de tecnologias, como sensoriamento remoto e geossintéticos, aliado a estudos geotécnicos detalhados, é fundamental para reduzir impactos futuros. Por fim, o estudo reforça a necessidade de um planejamento integrado para minimizar os riscos e promover a recuperação de áreas vulneráveis, contribuindo para a segurança da infraestrutura e a qualidade de vida das comunidades.

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus por nos conceder força e sabedoria ao longo desta jornada. Às nossas famílias, pelo apoio incondicional, carinho e paciência em todos os momentos. E à nossa orientadora, Renata Lima Moretto, pela dedicação, orientação e contribuições, essenciais para a conclusão deste trabalho.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Método de execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. NBR 6484. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 17p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos da construção civil e resíduos volumosos. Áreas de Transbordo e Triagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação**. NBR 15112. Rio de Janeiro, 2004. 11p.

BOLDO, P. **Análise Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado de Edificações no Âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Publicação E.DM-001A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 312p.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil**. Diário Oficial da União, 2012. 17p.

CEPED/RS-UFRGS. **Capacitação em Gestão de Riscos**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 270 p4. ISBN 978-85-66094-15-26. 271p.

FINGER, D. F.; LEMOS, D. F. **Relatório de Investigação Geotécnica: Ponte sobre o Arroio Mauá**. Porto Alegre: Finger & Sommer Engenharia e Consultoria, 2021. 16p.

GALVÃO VERONEZ PARIZOTO, D. et al. **Análise e Mapeamento das áreas de risco a movimentos de massa e inundações nos municípios de Gaspar, Ilhota e Luis Alves (complexo do Morro do Baú) , SC**. Projeto - Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. 209p.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2024. 54p.



HEIDEMANN, M. (2011). **Caracterização geotécnica de um solo residual de granulito envolvido em uma ruptura de talude em Gaspar - SC**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. 178p.

KOBIYAMA, M.; PAIXÃO, M.A.; ZAMBRANO, F.C.; MAZZALI, L.H.; MICHEL, R.D.L.; GODOY, J.V.Z. **Mapeamento de Áreas de Risco para Prevenção de Desastres Hidrológicos com Ênfase em Modelagem Hidrogeomorfológica**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/IPH/GPDEN, 2017. 442p.

LIMA, Analice França. **Comportamento Geomecânico e Análise de Estabilidade de uma Encosta da Formação Barreiras na Área Urbana da Cidade do Recife**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002. 204p.

MAGNAGO, R. F.; CALÁSIO, B. M.; MIRANDA, E. N.; BRUCHADO, I. J.; FLORES, M. B.; MEDEIROS, P.; SOUZA, P. R. (2015). **Incidência de desastres naturais em Santa Catarina de 2011 a 2013**. Revista de Gestão Sustentável Ambiental, 4(1), 156- 175. 20p.

MENDONÇA, Flávio dos Ramos de Sousa. **Avaliação do efeito da interação solo estrutura sobre o comportamento estrutural de edificações em aço e erros (aço concreto)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. 133p.

MONTES, ROP; GONTIJO, DSM. **Análise da influência da interação solo-estrutura no dimensionamento de edifícios multipavimentos em concreto armado**. Revista UNIARAGUAIA , v. 1º de janeiro/abr. 2020. Disponível em: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. 24p.

NASCIMENTO, Kayo Renato da Silva. **Gerenciamento de riscos em desastres naturais: diagnóstico do contexto atual baseado numa revisão sistemática da literatura sobre eventos Natech**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Caruaru, 2016. 91p.

PORTELA, V. D. A. (2014). **Avaliação da vegetação como indicadora de áreas suscetíveis a escorregamentos na Serra do Mar em Caraguatatuba (SP)**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. 122p

SANTOS, Mikhael Ferreira da Silva; FERREIRA, Cláudio Vidrih; SANTOS, Kelly Cristina Silva. **Análise das possíveis manifestações patológicas decorrentes da não consideração da Interação Solo-Estrutura (ISE) em edificações de pequeno porte**. UFPE, Instituto Vidrih, UNIFACEMA, 2021. 8p.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. **Enchentes e Deslizamentos: Áreas de Risco no Brasil - Causas e Soluções**. 2ª edição revista e atualizada, 2023. 116p.

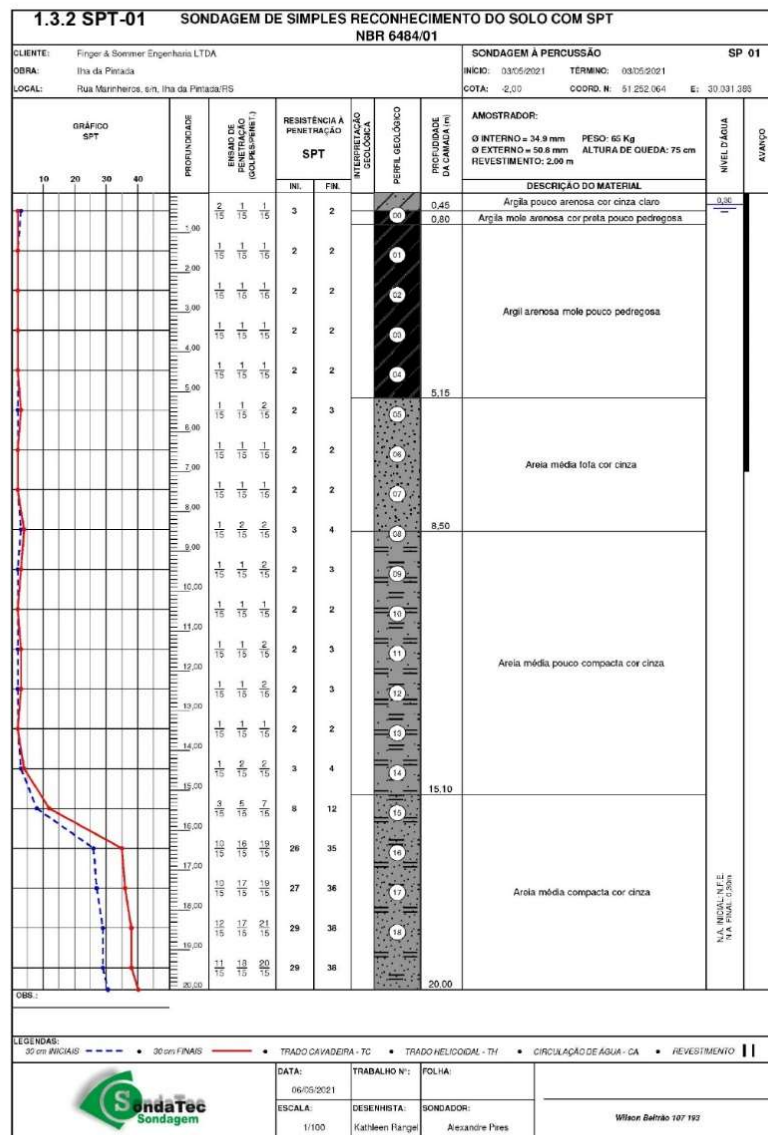
SCATOLINI, F. & BANDEIRA, R.A.M. (2020). **Desastres como oportunidade de implementação de políticas de gerenciamento de resíduos de construção e demolição no Brasil: chuvas de Nova Friburgo (RJ)**, 2011. Eng Sanit Ambient, 25(5), 739- 752. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220202018053>. 14p.



SILVA, SE da; FRANÇA, WPF de; AYALA, R JL Estado da arte da interação solo-estrutura e sua influência nos recalques do solo. Periódico Científico Outras Palavras, v. 2, 2015. ISSN 1806-7530. 10p.

TOMINAGA, Lídia Keiko. Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP. 2007. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 249p.

ANEXOS



Anexo 01 – Relatório de Investigação Geotécnica