**PRINCIPAIS TÉCNICAS PARA A ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS EXPANSIVOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA**

ANA CLARA L. COELHO (IFPB, Campus Cajazeiras), ALINE M. DE CARVALHO (IFPB, Campus Cajazeiras), HECHILEY CAMILA G. RAMALHO (IFPB, Campus Cajazeiras), KÁTIA K. PINHEIRO (IFPB, Campus Cajazeiras)

**E-mails:** clara.coelho@academico.ifpb.edu.br, aline.carvalho@academico.ifpb.edu.br, hechiley.camila@academico.ifpb.edu.br, katia.kaline@academico.ifpb.edu.br.

**Área de conhecimento: (Tabela CNPq):** 3.01.01.00-0 Construção Civil.

**Palavras-Chave**: solo; expansão; patologia; solução; fundação; engenharia civil.

1. **Introdução**

O estudo sobre os solos expansivos e suas carcaterísitcas ainda é uma demanda negligenciada, devido ao seu comportamento complexo e o processo para defini-lo, que vai além dos testes de resistência e compressão comvencionais. A expansão e contração do solo são ocasionadas através da entrada ou saída da água, gerando uma tensão no solo que é direcionada para as construções que estão assentes nele. Essa tensão ocorre devido o tipo de mineral expansivo existente na fração argila do solo. Esse mineral é do tipo 2:1, como no caso da vermiculita, mica, esmectita e a montmorilonita (PAIVA, 2016).

Em virtude de sua representativa variação granulométrica, mineralógica, reológica e química, é recorrente a observação do surgimento de patologias na construção civil. Dessa forma, a detecção de um solo do tipo expansivo é necessária e uma solução viável para contornar os seus efeitos é fundamental.

Sendo assim, a presente revisão sistemática com metanálise, proporciona um olhar imparcial e direto no que diz respeito a estudos que propoem medidas capazes de estabilizar a expansividade do solo, com baixo custo, antes e durante o processo construtivo, e faz uma comparação direta entre eles, suas semelhanças e diferenças aparentes. Dessa forma, traz como consequência possibilidades relacionadas aos solos expansivos na construção civil.

1. **Materiais e Métodos**

Este trabalho foi realizado através de um estudo de Revisão Sistemática com metanálise, que consiste em um estudo secundário que tem por objetivo reunir estudos semelhantes, avaliando-os criticamente em sua metodologia e reunindo-os numa análise estatística sobre um determinado tema. O presente trabalho foi elaborado através de uma pesquisa sobre solos expansivos e buscou focar nas principais técnicas para a sua estabilização na construção civil. Os processos de revisão sistemática utilizados estão baseados em Landim (2020), conforme Figura 1.

Figura 1: Fluxograma do processo de pesquisa.

A pergunta de pesquisa estabelecida para dar início à investigação científica foi “Quais as principais técnicas para a estabilização de solos expansivos na construção civil?”. Logo após, foram criadas cinco etapas para a seleção de artigos que estivessem dentro do tema principal deste estudo e que oferecessem soluções para a pergunta principal, promovendo, ao fim da pesquisa, discussões e comparações dos resultados obtidos.

Posteriormente à definição da pergunta de pesquisa, deu-se início à primeira etapa que compreendeu a escolha das palavras-chave para a busca por fontes publicadas em periódicos científicos disponibilizados em plataforma eletrônica de grande circulação e consistência acadêmica e no intervalo de tempo de 2001-2021. Os termos de busca escolhidos foram: solos expansivos; patologia; fundação; construção civil; estabilização; soluções.

A pesquisa foi realizada com acesso pela plataforma Google Scholar, por ser um completo e acessível banco de dados acadêmicos. No rastreamento das publicações utilizou-se o operador booleano “OR” (correspondente à união) para relacionar os termos sinônimos e o operador “AND” (correspondente à intersecção) para garantir que os resultados mostrassem apenas artigos que compreendessem as palavras relacionadas às técnicas para a estabilização de solos expansivos na construção civil. No campo de busca avançada foi digitado o texto: SOLOS EXPANSIVOS AND PATOLOGIA AND FUNDAÇÃO AND CONSTRUÇÃO CIVIL AND ESTABILIZAÇÃO OR SOLUÇÕES OR TÉCNICAS.

Após escolhida a base de dados e a definição da estratégia de busca, a seleção dos estudos foi realizada aplicando os filtros de critérios de inclusão e exclusão para obter os trabalhos que de fato se relacionavam com o objeto de estudo, reduzindo assim o número de artigos encontrados. Os critérios de exclusão dos filtros e da leitura dos títulos e resumos foram: não foram publicados durante o período de 2001 a 2021; não abordavam diretamente solos expansivos; não tratavam sobre o assunto Engenharia Civil; tratavam do mesmo assunto e mesmo autor, onde a preferência foi dada para o artigo mais recente. Dessa forma, foi possível selecionar os estudos com maior contribuição para a resposta da pergunta motivadora, para posterior análise e síntese dos resultados.

Com a pesquisa utilizando os descritores citados anteriormente (passo 1) foram encontrados 1580 artigos, e após a aplicação dos filtros (passo 2) durante o período de 2001 a 2021, ficaram 1530 artigos. Com a leitura dos títulos (passo 3), sobraram apenas 6 artigos, a exclusão foi dada pelos motivos de não abordarem diretamente o tema “solos expansivos” e também de não tratarem sobre o assunto “engenharia”. Com a leitura dos resumos (passo 4), apenas quatro artigos foram selecionados e a exclusão se deu por tratarem do mesmo assunto e mesmo autor, e da preferência dada para artigos mais recentes.

1. **Resultados e Discussão**

Os estudos escolhidos são baseados em ensaios laboratoriais, como estudo do solo, estudo de patologias, granulometria, compactação, expansão livre, entre outros, para averiguação da melhoria nas patologias causadas pela ação expansiva dos solos argilosos e também em soluções para fundações de edificações construídas em solos desse gênero.

A comprovação de solos expansivos é de difícil identificação, pois muitos ensaios de sondagem convencionais, como a penetração padronizada, que é a análise do solo por meio de retirada de amostras, não conseguem averiguar esse tipo de solo (RIBEIRO, 2019). Por este motivo, é de extrema importância o acompanhamento de profissionais habilitados na realização destes procedimentos para uma melhor segurança dos resultados.

Morais (2018) e Ribeiro (2019) manifestam exemplos de patologias causadas pelo solo expansivo quando não são tomadas medidas preventivas para os seus efeitos, sendo elas: os recalques exacerbados em fundações, perdas de estabilidade e fissuras, trincas e tombamento da estrutura. Tais problemas possuem certo nível de dificuldade e exigem cautela para serem solucionados.

Além dos estudos sobre o tema abordado, os artigos também mostram alternativas para estabilização, como, por exemplo, a adição de agregados no solo e a aplicação de fundações que se adequam melhor a esse tipo de solo somado a atividades econômicas mais viáveis.

Para melhor organização da apresentação dos objetivos, métodos e resultados obtidos pelos artigos selecionados, houve enumeração de cada um de acordo com o seu título da seguinte forma: artigo 1 - Adição de agregado reciclado de resíduos da construção civil para estabilização de um solo expansivo; artigo 2 – Estudo de uma solução para projeto de fundações em solos expansivos; artigo 3 – Estudo de caso de uma solução para fundações em solo expansível em Sousa-PB; artigo 4 – Tentativa de estabilização de um solo expansível com adição de polímero industrial.

O artigo 1 disserta sobre a adição de agregados reciclados oriundos de Resíduos de Construções e Demolições (RCD) finas em porcentagens diferentes (40%, 50% e 60%), com o intuito de estabilizar o solo. Tal procedimento foi realizado por meio da alternância da distribuição granulométrica com a adição do agregado reciclado. Os resultados obtidos não atenderam às expectativas, já que apesar de conseguir reduzir a expansão, ela ainda não é eficiente para estabilizar o solo, ressaltando ainda mais o quão não estáveis são esses territórios e também os desafios para os conter. (CUNHA, 2018).

O artigo 2 estuda a melhor viabilidade para um projeto de fundação de pequeno e médio porte em solos expansivos. A proposta da pesquisa é a criação de um espaço diferenciado para que o solo possa se expandir, e, assim, não prejudicar a estrutura. O espaço deve ser criado com uma camada de pedregulho entre o solo e a fundação incluindo contrapesos. Para averiguação da viabilidade da proposta, foi realizado o ensaio edométrico modificado, que tem como intuito determinar as propriedades de adensamento do solo por meio da aplicação de uma carga axial até que o solo pare de adensar e esteja totalmente seco. Essa alternativa se mostrou eficaz, já que houve grande redução na expansão porque e os seus efeitos são destinados aos espaços criados com os pedregulhos, frisando que sempre que usar desse método deve ser feito ensaios em campo para averiguar o impacto causado (RIBEIRO JÚNIOR; FUTAI; CONCIANI, 2006).

O artigo 3, que trata da tentativa de solucionar os problemas em fundações realizadas em solos expansivos na cidade de Sousa-PB, consiste, por meio de um fundo teórico sobre os tipos de fundação existentes e suas aplicações, sobre os dimensionamentos das estruturas de concreto armado e também pelo estudo dos solos, ajustar o tipo de fundação para melhorar a camada de solo argilosa, buscando uma solução economicamente viável. Para alcançar este objetivo, foi implementado o uso de fundações provenientes da junção de sapatas e vigas baldrames. Além disso, as sapatas foram alocadas em camadas que contenham rocha, as vigas juntamente com as lajes treliçadas foram dimensionadas para ficarem acima do solo e também foi inserida uma camada de sol-cimento entre a rocha e a sapata, na tentativa de manter esses elementos livres da expansão do solo. O presente estudo se mostrou viável pra todo e qualquer estrutura que se deseja construir diante de solos expansivos, além de enfatizar a importância de bons profissionais na área da construção que auxiliarão em soluções mais práticas e viáveis, principalmente do ponto de vista econômico (RIBEIRO, 2019).

O artigo 4 mostrou a tentativa de estabilização do solo com a adição de polímero industrial, mais conhecida por estabilização química. Para realização do procedimento, foi adicionado solo-polímero misturado em três porcentagens diferentes: 5%, 6% e 7%. A pesquisa não obteve resultados satisfatórios, já que não houve mudanças significativas no percentual de argila no solo natural (MORAIS, 2018).

Ademais, todos os estudos selecionados mostram o quão importante a continuidade dos estudos acerca dos solos expansivos, assim como já é explanado no artigo 1 e 4 que os resultados não foram satisfatórios. A continuidade dos estudos traz oportunidades de melhorias e adaptações de fundações já existentes, como citado no artigo 4, e também conduz a técnicas mais viáveis e economicamente sustentáveis.

1. **Considerações Finais**

Todo o processo de compreensão e formulação da Revisão Sistemática foi imprescindível para que ocorresse tamanha eficácia na síntese de dados. Os artigos selecionados convergiam para o mesmo interesse de estudo e sendo assim, dois deles indicaram satisfatoriamente meios para a estabilização de solo expansivo. Além disso, explicitaram o fato de que estudos e testes relacionados ao entendimento e estabilização do tipo de solo citado são pouco recorrentes e explorados.

Após a Revisão Sistemática e análise dos artigos, quatro foram as técnicas empregadas para a estabilização de solos expansivos no processo de construção civil, sendo duas comuns no que diz respeito ao processo de estabilização, que consistia na adição de componentes ao solo.

Nos estudos que adotaram a adição de resíduos da construção e demolição (RCD) e a de polímero industrial, respectivamente, foi observado que os resultados encontrados foram positivos, principalmente no que se refere à expansão livre do solo e, no segundo caso, foi concluído, ainda, que amostras que passaram pelo processo de cura obtiveram resultados ainda melhores. Apesar disso, nos dois estudos os resultados não foram satisfatórios o suficiente para aplicação na construção civil, visto que não atendiam às especificações requeridas pela engenharia.

Os outros dois estudos que serviram como bases para essa Revisão Sistemática deram enfoque à parte estrutural da construção. As estratégias para um projeto de fundação mais eficiente e menos prejudicado pela expansividade dos solos foram, respectivamente, a adoção de um espaço diferenciado entre o solo e a fundação, composto por uma camada de pedregulho, a construção das fundações superficiais abaixo do solo e o dimensionamento das vigas baldrames elevadas em relação ao solo. Além de positivos, ambos os estudos foram satisfatórios e podem ser executados em solos expansivos, isto porque, comprovadamente, os dois métodos protegeram a estrutura do solo e, com isso, reduziram os efeitos danosos da expansividade.

**Referências**

CUNHA, Carlos Eduardo Alves. Adição de agregado reciclado de resíduo da construção civil para estabilização de um solo expansivo. 2018. Disponível em: <<https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10133/2/Carlos_Eduardo_Alves_Cunha.pdf>>.

RIBEIRO JÚNIOR, Ilço; FUTAI, Marcos Massao; CONCIANI, Wilson. Estudo de uma Solução para Projeto de Fundações em Solos Expansivos. 2006. Disponível em: < https://repositorio.usp.br/item/001595688 >.

LANDIM, Aurélia Emanoela de Freitas Gonçalves. Os obstáculos à implantação da tecnologia BIM como plataforma no desenvolvimento de projetos na construção civil: uma revisão sistemática de literatura. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <<https://repositorio.ifpb.edu.br/xmlui/handle/177683/1418>>.

MORAIS, Camila de Jesus. Tentativa de estabilização de um solo expansivo com adição de polímero industrial. 2018.

Disponível em: <<http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/10138>>.

PAIVA, Sérgio Carvalho de. Estudo do Comportamento Geomecânico dos Solos Expansivos dos Municípios de Cabrobó, Paulista e Ipojuca-PE e de Suas misturas com cal. 2016. Disponível em: < https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/25101>.

RIBEIRO, Victor Holanda. Estudo de caso de solução para fundação em solo expansível em Sousa-PB. 2019.

Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/17045>>.