



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
Nº. 28 – Ano XIII – 10/2025
<<https://revistas.ufvjm.edu.br/vozes>>
DOI: <<https://doi.org/10.70597/vozes.v13i28.1121>>

Correlação entre o teor de cimento com a resistência à compressão em corpos de prova de solo-cimento

Demisson Renato Ferreira

Bacharel em Ciência e Tecnologia
Discente em Engenharia Civil na UFVJM
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
<<http://lattes.cnpq.br/2584835042271030>>
E-mail: demisson.renato@ufvjm.edu.br

Dr. Bernat Vinolas Prat

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Politécnica de Catalunha – Espanha
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Docente Instituto de Ciência e Tecnologia – UFVJM
<<http://lattes.cnpq.br/7998463818840636>>
E-mail: bernat.vinolas@ict.ufvjm.edu.br

Frank Alison de Carvalho

Mestre em Saúde, Sociedade e Ambiente
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
<<http://lattes.cnpq.br/9130058062685928>>
E-mail: frank.carvalho@ict.ufvjm.edu.br

Marcus Vinícios Felix

Engenheiro mecânico
Mestre em Saúde, Sociedade e Ambiente
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
<<http://lattes.cnpq.br/3655907937083173>>
E-mail: marcus.felix@ufvjm.edu.br

Lucas Felype Silva

Bacharel em Ciência e Tecnologia
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
<<http://lattes.cnpq.br/4738654885085405>>
E-mail: lucas.felype@ufvjm.edu.br

Luís Otávio Rocha Pôrto

Bacharel em Ciência e Tecnologia

Discente em Engenharia Mecânica na UFVJM
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
<<http://lattes.cnpq.br/9168418909223967>>
E-mail: luis.porto@ufvjm.edu.br

Resumo: Este estudo teve como objetivo principal analisar a correlação entre o teor de cimento e a resistência à compressão de corpos de prova de solo-cimento, com base em uma revisão sistemática da literatura. Foram analisados 26 artigos científicos, totalizando 227 dosagens avaliadas. As fontes selecionadas apresentavam informações quantitativas sobre teor de cimento, resistência à compressão e características de moldagem. Os dados foram organizados e analisados estatisticamente no software Microsoft Excel 2019, aplicando-se um modelo de regressão linear para avaliar a relação entre o teor de cimento e a resistência à compressão aos 28 dias de cura. Os resultados indicaram uma correlação positiva, porém de baixa magnitude ($r = 0,31$), sugerindo que o aumento do teor de cimento tende a elevar a resistência mecânica. Observou-se também que variáveis como tipo de solo, umidade, compactação e cura exercem influência significativa no desempenho do material. O estudo contribui para o aprimoramento de formulações de solo-cimento mais sustentáveis, com menor consumo de cimento e bom desempenho estrutural. As principais limitações relacionam-se à variabilidade das metodologias experimentais e à utilização de dados secundários. Recomenda-se a realização de pesquisas experimentais futuras para validar e expandir os resultados obtidos.

Palavras-chave: Solo, Cimento, Compressão, Resistência, Correlação.

1 Introdução

A indústria da construção civil é uma das maiores responsáveis pelos impactos ambientais, destacando-se pelo elevado consumo de recursos naturais não renováveis e pela geração significativa de resíduos sólidos (Hossain; Thomas; Ng, 2019). Embora desempenhe papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, o setor contribui para aproximadamente 40% do esgotamento dos recursos naturais, 18% das emissões globais de gases de efeito estufa e 25% da produção mundial de resíduos (Faleschini *et al.*, 2023). Diante desse contexto, o solo-cimento surge como uma alternativa ambientalmente adequada, destacando-se pela simplicidade de produção, menor custo e redução no uso de recursos escassos (Morel; Pkila; Walker, 2007). O solo-cimento é uma mistura de solo, cimento Portland e água, capaz de alcançar propriedades mecânicas adequadas para diferentes aplicações na construção civil, como pavimentação, alvenarias estruturais e obras de contenção (Amaral *et al.*, 2013). Além de viabilizar o uso de materiais locais, essa tecnologia reduz o consumo de cimento, um dos principais emissores de dióxido de carbono promovendo uma maior sustentabilidade das edificações (Faleschini *et al.*, 2023). Para uma maior aplicabilidade desse material, um dos principais parâmetros a ser avaliado é a resistência mecânica do solo-cimento, que é fortemente influenciada por variáveis como teor

de cimento, compactação e umidade, apresentando geralmente uma correlação positiva entre o aumento da densidade e a sua resistência. Por outro lado, elevadas frações de argila ou excesso de umidade tendem a reduzir o desempenho mecânico (Morel; Pkila; Walker, 2007). Apesar da existência de normas nacionais e internacionais para o controle e ensaio desses materiais, ainda há divergências quanto às metodologias de avaliação e critérios de desempenho, o que reforça a necessidade de análises comparativas (Reddy; Richardson; Rao, 2007). A quantidade de cimento utilizada na mistura varia de acordo com as normas técnicas, condições do solo e requisitos de resistência especificados (Kolling; Trogello; Modolo, 2012). Essa característica de dosagem flexível permite que cada país possa ter suas próprias normas técnicas, o que torna o processo de fabricação do solo cimento uma alternativa em todo mundo. No entanto, o ajuste da porcentagem de cimento deve ser conduzido de forma criteriosa, uma vez que interfere não apenas na resistência à compressão, mas também em propriedades complementares, como durabilidade e absorção de água. Assim, a dosagem adequada depende de uma análise técnica criteriosa que considere o equilíbrio entre desempenho estrutural e viabilidade econômica (Reddy; Richardson; Rao, 2007). Este estudo tem como objetivo principal analisar a correlação entre a porcentagem de cimento e a resistência à compressão de blocos de solo-cimento, por meio de uma revisão sistemática da literatura e análise estatística dos dados disponíveis. Essa abordagem permitiu uma análise comparativa dos resultados obtidos em estudos anteriores, fornecendo dados valiosos sobre essa correlação. O estudo abrange uma ampla gama de tópicos fundamentais, são esses:

- Analisar a relação entre a porcentagem de cimento na mistura e a resistência à compressão em corpos de prova de solo-cimento.
- Pontuar outros fatores influentes que podem afetar a resistência à compressão dos corpos de prova de solo-cimento, como a umidade, o tempo de cura e a compactação do solo.
- Contribuir para o conhecimento na área de construção sustentável.

2 Revisão bibliográfica

A mistura homogênea de solo e cimento constitui uma solução construtiva sustentável, com crescente reconhecimento na literatura devido à sua eficiência e ao menor impacto ambiental quando comparada aos materiais convencionais de construção (Araújo, 2020). Destaca-se, sobretudo, no segmento de construções informais, especialmente entre populações de baixa renda em economias emergentes (Leão *et al.*, 2022).

A NBR 12254 (ABNT, 2012) define o solo-cimento como um “material enrijecido resultante da cura de uma mistura homogênea e compactada de solo, cimento e água”. Essa mistura é moldada e curada segundo a NBR 12024 (ABNT, 2012), no formato de corpos de prova cilíndricos.

Contudo, para a correta utilização do solo-cimento, é imprescindível atender aos parâmetros mínimos de desempenho, especialmente no que diz respeito à resistência à compressão. Essa resistência adequada assegura que os blocos suportem as cargas atuantes ao longo da vida útil

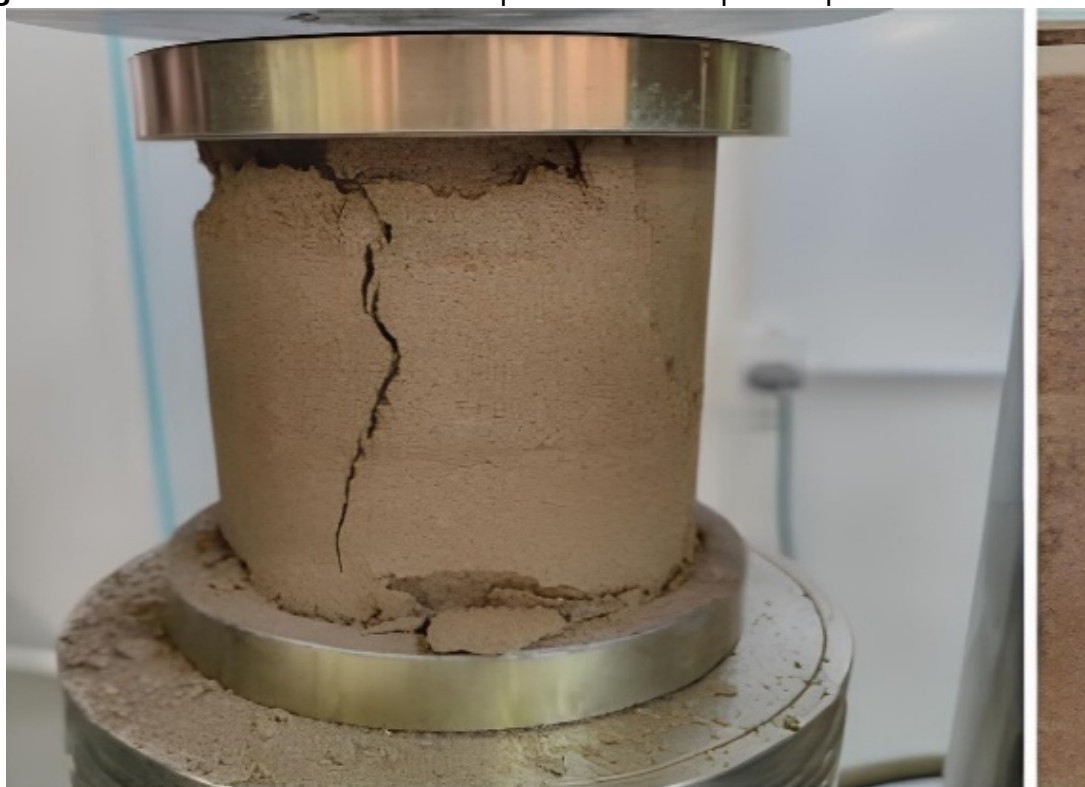
das edificações, reduzindo a incidência de patologias estruturais, garantindo sua estabilidade (Dos Santos *et al.*, 2023).

A resistência mecânica do solo-cimento é favorecida pelo aumento da compactação, ou seja, sua densidade, juntamente com o teor de cimento, apresentando geralmente uma correlação linear positiva. Por outro lado, essa resistência tende a ser reduzida pelo aumento do teor de umidade e da fração de argila presente na mistura (Morel; Pkla; Walker, 2007). Apesar da existência de normas nacionais e internacionais para os procedimentos de ensaio, há uma carência de consenso quanto aos métodos de avaliação do solo cimento (Morel; Pkla; Walker, 2007).

No Brasil, normas técnicas como a NBR 12024 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012a) e NBR 12253 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012b), NBR 12025 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990) orientam os processos de preparação, dosagem e ensaios de resistência de blocos de solo-cimento respectivamente, assim como padrões internacionais, como as normas americanas ACI 230.1R-09 (2009), ASTM D1632 (2017) e ASTM C67-94 (1994), as normas europeias EN 12390-3 (2009) e as asiáticas como a Bureau of Indian Standards (1992). Essas normas visam estabelecer padrões para a preparação, moldagem e ensaios de resistência à compressão de corpos de prova de solo-cimento, sendo utilizadas como referência nos artigos buscados para realização deste estudo.

A resistência à compressão é o principal critério para estabelecer a quantidade mínima de cimento na mistura solo-cimento. Por estar diretamente relacionada à densidade, a resistência é influenciada pelo grau de compactação e pelo teor de água presente durante a moldagem (Ací Committee 230, 2009).

A resistência à compressão corresponde à carga máxima suportada pelo corpo de prova antes da fratura, dividida pela área da seção transversal (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990). Essa propriedade é usualmente determinada em amostras cilíndricas moldadas, conforme ilustrado na Figura 1. O teste de resistência à compressão está entre os testes mais confiáveis e práticos feitos em concreto para avaliar seu desempenho tanto para blocos de concretos quanto para blocos solo-cimento (Mansour; Al Biajawi, 2022).

Figura 1 – Teste de resistência a compressão em corpos de prova de solo-cimento

Fonte: [Wolenski et al. \(2023\)](#)

A resistência à compressão, R_c , é o maior estresse que a amostra suporta durante a compressão. É determinada a partir da equação 1:

$$R_c = \frac{F}{S} \text{ MPa} \quad (1)$$

onde:

F é a força que destrói a amostra (N);

S é a seção transversal da amostra comprimida perpendicular à direção da força (mm^2).

Embora existam normas específicas, suas práticas de aplicação enfrentam desafios relacionados ao treinamento de profissionais e o adequado monitoramento dos processos de produção, essenciais fatores essenciais para garantir a conformidade e qualidade dos materiais de solo-cimento. Além disso, a composição e qualidade do solo são decisivos para a resistência e durabilidade. Parâmetros como granulometria, plasticidade, teor de argila e umidade e de cimento, possuem significativa influência no desempenho do material ([Da Fonseca; Cruz; Consoli, 2009](#)).

[Reddy, Richardson e Rao \(2007\)](#) observaram que o aumento do teor de cimento tende a elevar a resistência à compressão até certo limite, a partir do qual o ganho se torna marginal. [Forcelini et al. \(2016\)](#) e [Leão et al. \(2022\)](#) reforçam que dosagens excessivas podem gerar retração, fissuração e aumento de custo, sem ganhos proporcionais de desempenho. [Estabragh et al. \(2013\)](#) e [Tajdini, Hajjalilue-bonab e Golmohamadi \(2018\)](#), por sua vez, demonstram que a introdução de fibras ou aditivos estabilizantes pode melhorar a tenacidade e o comportamento pós-fissuração.

Por fim, compreender a relação entre o teor de cimento e a resistência à compressão é fundamental para otimizar a formulação do solo-cimento, equilibrando resistência, durabilidade e

sustentabilidade. Essa compreensão fornece subsídios técnicos essenciais para engenheiros e construtores, apoiando o desenvolvimento de soluções construtivas mais eficazes e ambientalmente responsáveis.

3 Metodologia

A coleta de dados foi realizada no primeiro semestre de 2023, com base em 26 fontes acadêmicas (artigos científicos, teses e dissertações). A busca foi conduzida nas bases de dados Google Acadêmico, Scopus e Web of Science, utilizando os descritores “solo-cimento” e “soil-cement”, combinados com os termos “resistência à compressão” e “compressive strength”. Foram aplicados filtros de idioma (português e inglês) e de período (2000–2023). Após a triagem inicial de 73 estudos, aplicaram-se critérios de inclusão e exclusão baseados na disponibilidade de dados quantitativos e na aderência ao tema. Ao final, 26 artigos atenderam aos critérios de seleção.

Posteriormente, foi realizada a extração sistemática dos dados relevantes, organizados em tabelas, com ênfase em estudos que apresentavam ensaios de resistência à compressão em diferentes proporções de cimento. O critério de inclusão adotado foi a presença obrigatória das seguintes informações: porcentagem de cimento, resistência à compressão e moldagem em corpos de prova cilíndricos, atendendo às normas técnicas aplicáveis. A metodologia visou assegurar a representatividade da amostra de dados, estabelecendo uma base sólida para a análise de correlação proposta.

Os dados coletados foram armazenados e organizados em planilha eletrônica no software Microsoft Excel 2019, visando à sistematização para análise estatística subsequente.

Foram coletadas informações relevantes sobre as dimensões dos corpos de prova, resistência à compressão e percentuais de cimento e argila nas misturas. Contudo, a análise do presente estudo concentrou-se especificamente na resistência à compressão e na porcentagem de cimento. Essa abordagem metodológica buscou garantir a confiabilidade dos dados e a representatividade da amostra, permitindo uma análise estatística consistente da correlação entre teor de cimento e resistência à compressão.

Logo em seguida foram coletados os dados de interesse e anexado em uma tabela síntese, onde esses possuíam os seguintes parâmetros, com as suas respectivas unidades de medição:

- Nomeclatura;
- Área da seção de aplicação da força (m²);
- Cimento em peso (%);
- Argila no solo (%);
- Resistência a compressão (MPa);
- Referências.

Construiu-se uma tabela síntese com todos os artigos com um total de 26 artigos completos e 227 dosagens, para que pudesse ser feito posteriormente, uma média de resistência à compressão em relação a porcentagem (%) de cimento (em peso) na mistura. A porcentagem de cimento em alguns artigos foi dada em volume, fazendo-se necessário a conversão para porcentagem em peso. Nestes casos foi realizada a conversão para percentual em peso, utilizando os valores de peso específico do cimento (1.400 kg/m^3) e do solo arenoso (aproximadamente 1.600 kg/m^3), conforme procedimentos sugeridos por (Morel; Pkla; Walker, 2007).

Foram calculadas médias aritméticas, desvios-padrão e coeficientes de correlação para as variáveis de interesse. Essas métricas permitiram avaliar a dispersão dos dados e a intensidade da relação entre o teor de cimento e a resistência à compressão.

A média (aritmética) foi utilizada como um indicador principal, proporcionando uma representação numérica do valor médio da resistência à compressão e a porcentagem de cimento. Os desvios padrão foram calculados para avaliar a dispersão dos dados em torno da média, oferecendo informações sobre a consistência e a variabilidade dos resultados obtidos. Os coeficientes de correlação, por sua vez, proporcionaram uma avaliação quantitativa da relação linear entre as variáveis em questão. Essas análises estatísticas são fundamentais para extrair informações significativas dos dados coletados e, conseqüentemente, contribuem para a fundamentação atual do estudo.

A escolha dos métodos estatísticos baseou-se na natureza quantitativa da pesquisa. O estudo limitou-se à análise de correlação entre teor de cimento e resistência à compressão, sem incluir variáveis qualitativas, como durabilidade ou absorção. Essa delimitação buscou garantir foco e consistência aos resultados obtidos.

Análise da correlação entre a porcentagem de aglomerante utilizada (cimento) e a resistência à compressão aos 28 dias dos blocos de solo-cimento pesquisados na literatura. Para realização desta análise adotou-se a metodologia descrita por Henriques (2011) para o modelo de regressão linear e determinação do coeficiente de correlação (r). O coeficiente r deve ser um valor positivo e próximo de 1. Nesse caso, espera-se resultados que indiquem que quanto maior é a quantidade de aglomerante utilizada, maior será a resistência à compressão obtida. A formulação da reta de regressão é $Y = A + BX$ e permite conhecer qual a resistência teórica do bloco de solo-cimento em MPa (variável dependente Y) em função da porcentagem de aglomerante (variável independente X). O objetivo de apresentar esta reta de regressão é poder conhecer de forma teórica qual será a resistência do bloco em função da quantidade de cimento utilizada. Os cálculos foram realizados através de funções presentes no Excel.

As principais limitações do estudo estão relacionadas à diversidade dos procedimentos experimentais dos artigos analisados (tipos de solo, métodos de compactação, tempo de cura) e à necessidade de conversão de unidades. Tais variações podem ter contribuído para a dispersão dos resultados, não comprometendo a validade do estudo, mas indicando a necessidade de futuras pesquisas experimentais controladas para complementar e validar os achados aqui obtidos.

4 Resultados e discussões

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da compilação dos dados de 26 estudos e 227 dosagens de solo-cimento. A análise estatística e os gráficos correspondentes permitem identificar padrões de comportamento entre o teor de cimento e a resistência à compressão, bem como compreender a influência de variáveis secundárias observadas na literatura.

A variável temporal, idade de cura dos blocos, foi padronizada em 28 dias, possibilitando uma compreensão mais abrangente e linear da evolução das propriedades mecânicas dos materiais.

Os resultados obtidos a partir da revisão da literatura estão sintetizados na Tabela 1. Nos casos em que determinadas informações não foram disponibilizadas pelos autores, utilizou-se a sigla “N/C” (não consta).

Table 1 – Informações referentes aos solo-cimentos encontrados na bibliografia já existente.

Nomenclatura	Área (m^2)	Cimento (%)	Argila (%)	Resist. (MPa)	Referências
1.1	0,0020	3,00	NC	0,16	Forcelini <i>et al.</i> (2016)
1.2				0,13	
1.3				0,11	
1.4		7,00		0,26	
1.5				0,22	
1.6				0,17	
1.7		3,00		2,51	
1.8				1,87	
1.9				1,48	
1.10		7,00		0,69	
1.11				0,62	
1.12				0,51	
2.1	0,0081	6,00	NC	5,52	Felt e Abrams (1957)
2.2				8,98	
2.3				5,30	
2.4				4,61	
2.5		9,00		8,29	
2.6				2,02	
2.7				3,35	
2.8				4,89	
2.9				1,03	
3.1	0,0050	21,00	6,10	1,50	Xing <i>et al.</i> (2009)
3.2				1,28	
3.3				1,06	
3.4				1,24	
3.5				1,03	
3.6				1,41	
3.7				1,18	

Nomenclatura	Área (m ²)	Cimento (%)	Argila (%)	Resist. (MPa)	Referências
4.1	0,0020	5,00	100	1,77	Estabragh <i>et al.</i> (2013)
4.2		8,00		2,29	
4.3		16,00		3,75	
4.4		20,00		5,08	
4.5				2,00	
4.6		8,00	37,00	1,95	
4.7				2,25	
4.8				2,65	
4.9				3,16	
4.10		12,00		3,65	
4.11				4,09	
4.12				4,56	
5.1	0,0081	5,00	NC	7,50	Shihata e Baghdadi (2001)
5.2		7,00		5,60	
5.3		9,00		8,10	
5.4		5,00		6,90	
5.5		7,00		6,21	
5.6		9,00		4,14	
6.1	0,0020	10,00	55,00	0,95	Horpibulsuk, Rachan e Suddeepong (2012)
6.2		20,00		1,95	
6.3		30,00		3,45	
7.1	0,0020	1,00	NC	0,03	Da Fonseca, Cruz e Consoli (2009)
7.2		3,00		0,03	
7.3		5,00		0,03	
7.4		7,00		0,03	
7.5		9,00		0,03	
7.6		12,00		0,03	
8.1	0,0020	8,00	12,00	2,14	Estabragh, Bordbar e Javadi (2011)
8.2				2,84	
8.3				2,82	
8.4				2,80	
8.5				2,93	
8.6				3,05	
8.7				3,03	
8.8				3,01	
8.9				2,96	
8.10		10,00		2,65	
9.1	0,0081	10,00	NC	2,65	Riaz e Khattak (2006).
9.2				3,40	
9.3				4,50	
9.4				6,50	
9.5				1,50	
9.6				1,75	
9.7				2,65	
9.8				2,80	

Nomenclatura	Área (m ²)	Cimento (%)	Argila (%)	Resist. (MPa)	Referências
10.1	0,0020	1,00	7,50	0,05	Consoli, Vendruscolo e Prietto (2003).
10.2				0,06	
11.1	0,0241	10,00	NC	2,10	Segetin, Jayaraman e Xu (2007).
11.2				2,00	
11.3				1,75	
11.4				1,25	
11.5				2,75	
11.6				2,15	
11.7				1,95	
11.8				3,50	
11.9				2,75	
11.10				2,35	
11.11				2,05	
11.12				1,55	
11.13				1,70	
11.14				2,25	
11.15				2,45	
11.16				2,10	
11.17				2,35	
11.18				1,65	
11.19				2,50	
11.20				2,25	
11.21				1,25	
11.22				2,40	
11.23				4,40	
11.24				4,70	
11.25				3,70	
11.26				5,00	
11.27				4,20	
11.28				4,10	
11.29				3,80	
11.30				4,20	
11.31				5,40	
11.32				5,00	
11.33				4,40	
11.34				5,00	
11.35				5,00	
12.1	0,0145	25,00	5,50	1,58	Karpisz <i>et al.</i> (2018)
12.2				1,94	
12.3		30,00		2,12	
12.4				2,95	
12.5		40,00		3,04	
12.6				4,44	
13.1	0,0011	7,00	NC	5,65	Siqueira e Holanda (2013)
13.2		8,00		5,56	

Nomenclatura	Área (m ²)	Cimento (%)	Argila (%)	Resist. (MPa)	Referências	
13.3		9,00		5,87		
13.4		10,00		5,12		
14.1		7,27		35,00		5,15
14.2						5,00
14.3	4,40					
14.4	4,15					
15.1	0,0081	4,00	NC	0,70		
15.2				1,00		
15.3				1,00		
15.4				2,50		
15.5		5,00		2,20		
15.6				1,90		
15.7				1,30		
15.8				2,40		
15.9		8,00		4,45		
15.10				2,90		
15.11				3,05		
15.12				7,00		
15.13		10,00		8,30		
15.14				6,90		
15.15				5,60		
15.16				3,10		
15.17		12,00		3,60		
15.18				3,30		

Nomenclatura	Área (m²)	Cimento (%)	Argila (%)	Resist. (MPa)	Referências
16.1	0,0038	5,00	25,00	0,26	Bagheri, Ahmad e Ismail (2014)
16.2				0,27	
16.3				0,30	
16.4				0,22	
16.5				0,25	
16.6				0,25	
16.7				0,30	
16.8				0,35	
16.9		7,50		0,41	
16.10				0,34	
16.11				0,35	
16.12				0,68	
16.13		10,00		0,44	
16.14				0,46	
16.15				0,46	
16.16				0,37	
16.17				0,38	
16.18				0,39	
16.19				0,52	
16.20		12,50		0,55	
16.21				0,55	
16.22				0,45	
16.23			0,46		
16.24		25,00	0,49		
17.1	0,0011	7,00	7,00	4,20	Amaral <i>et al.</i> (2013)
17.2		8,00	8,00	4,60	
17.3		9,00	9,00	4,80	
17.4		10,00	10,00	4,30	
18.1	0,0011	0	3,00	0,08	Kaniraj e Havanagi (1999)
18.2		3,00		0,26	
18.3		6,00		0,92	
19.1	-	7,00	42,50	0,45	Yang (2012)
19.2		12,00	26,30	1,08	
19.3		15,00	20,30	1,29	
19.4		20,00	23,90	1,51	
20.1	0,0020	10,00	10,00	5,30	Nakayama e Handy (1965)
20.2		12,00	12,00	5,30	
20.3		14,00	14,00	5,30	
21.1	0,0177	8,00	14,00	0,02	Yu, Pu e Ugai (1998)
21.2		8,00	16,00	0,20	
21.3		10,00	24,00	0,50	
21.4		11,00	28,00	0,20	

Nomenclatura	Área (<i>m</i> ²)	Cimento (%)	Argila (%)	Resist. (MPa)	Referências	
22.1	0,0220	7,00	NC	4,30	Tajdini, Hajjalilue-bonab e Golmohamadi (2018)	
22.2				5,70		
22.3		8,00		7,00		
23.1	0,0081	3,00	35,00	6,55	Jaritngam, Yandell e Taneerananon (2013)	
23.2		5,00		9,51		
23.3		7,00		12,44		
23.4		9,00		15,24		
24.1	0,0081	3,00	NC	0,96	Saroglou (2009)	
24.2				1,68		
24.3				2,42		
24.4				0,70		
24.5				1,05		
24.6				1,39		
24.7				2,34		
24.8				1,39		
24.9				2,51		
24.10				3,29		
24.11		1,22				
24.12		4,57				
24.13		1,90				
24.14		5,00		2,60		
24.15		2,67				
24.16		3,54				
24.17		3,99				
24.18		1,46				
24.19		6,68				
24.20		7,00		4,51		
24.21		3,06				
25.1	0,0079	10,00		18,00	1,60	Brasse <i>et al.</i> (2018)
25.2					1,80	
25.3					1,70	
25.4					1,20	
25.5					2,20	
25.6					2,50	
25.7		1,40				
25.8		1,50				
25.9		1,50				
25.10		15,00			1,70	
25.11		2,80				
25.12		2,60				
25.13		3,20				
25.14		20,00			3,60	
25.15		2,90				
25.16		3,70				
25.17		25,00	4,90			
25.18		4,60				

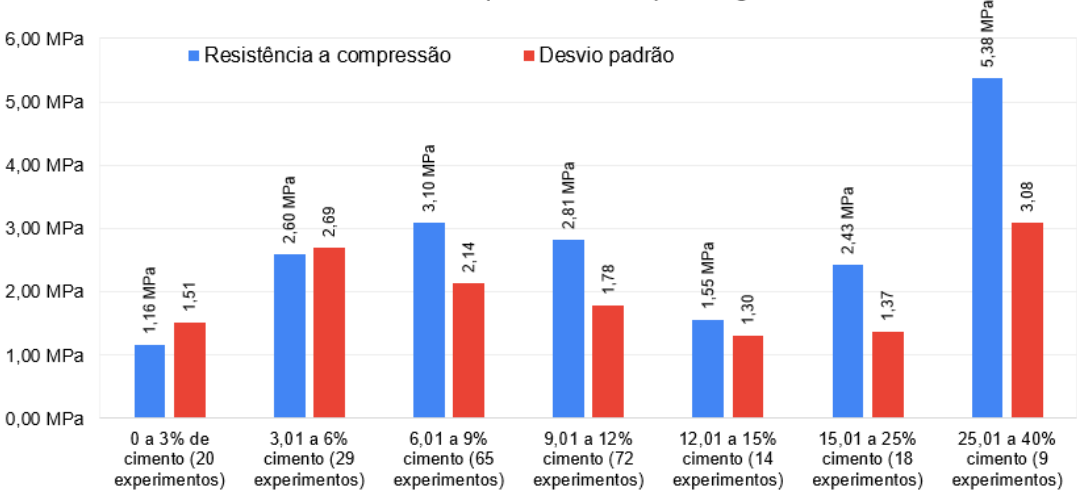
Nomenclatura	Área (m ²)	Cimento (%)	Argila (%)	Resist. (MPa)	Referências	
25.19	0,0020	30,00	18,00	6,50	Romero, Francisca e Giomi (2021)	
25.20		35,00		4,30		
25.21		40,00		10,80		
25.22				10,20		
26.1	0,0020	3,00	18,00	0,56		
26.2		6,00		1,90		
26.3		9,00		2,94		

Fonte: Autoria própria.

A análise dos dados confirma a tendência observada na literatura, de que o aumento do teor de cimento eleva a resistência à compressão, como reportado por Romero, Francisca e Giomi (2021). Contudo, a influência do teor de argila é mais complexa: em solos com alta plasticidade, a presença excessiva de argila pode dificultar a compactação e reduzir a resistência final, o que está de acordo com Yu, Pu e Ugai (1998). Assim, a composição granulométrica adequada do solo é determinante para o desempenho do solo-cimento.

As propriedades físicas e químicas variáveis entre os estudos analisados explicam a dispersão dos resultados. Mesmo assim, os valores médios apontam uma tendência de aumento da resistência à compressão com o acréscimo do teor de cimento. A Figura 2 ilustra essas médias e os respectivos desvios-padrão, permitindo visualizar a correlação positiva entre as variáveis.

Figura 2 – médias de resitência a compressão com a porcentagem de cimento.
Médias de resistência a compressão com a porcetagem de cimento



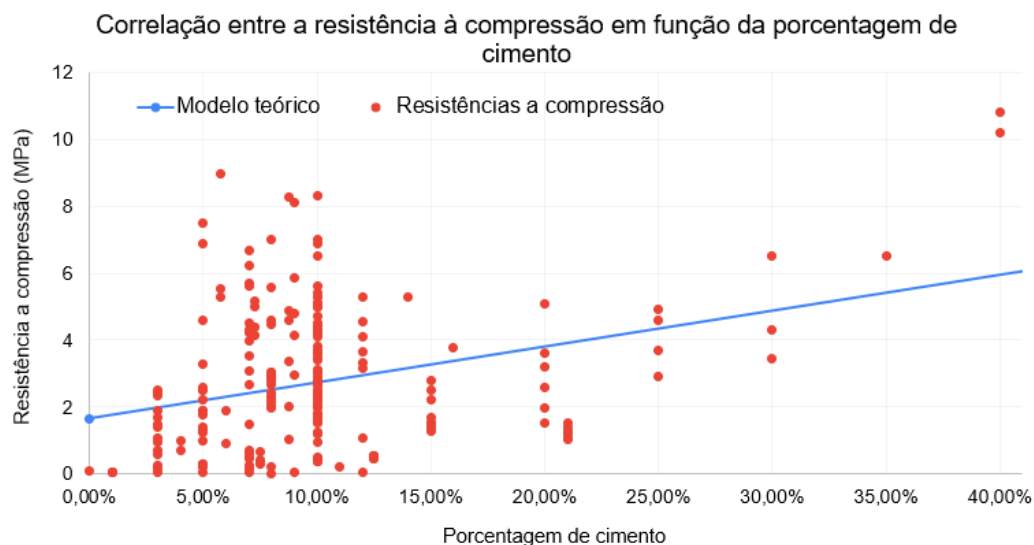
Fonte: Autoria própria (2024).

Os valores analisados fornecem informações importantes sobre as características dos materiais avaliados. Após esta análise, foi constatada uma correlação que tende a ser positiva entre a porcentagem de cimento na mistura e a sua resistência à compressão. Essa descoberta sugere que, conforme a quantidade de cimento na mistura aumenta, há uma correspondente elevação na resistência à compressão, indicando uma relação relativamente positiva entre essas variáveis.

A escolha da porcentagem de cimento em uma mistura não depende apenas do aumento da resistência, mas também de uma análise abrangente que leve em consideração outros aspectos

relevantes para o projeto ou aplicação BRASSE et al., 2018. No gráfico da Figura 3 observam-se os valores da resistência à compressão do bloco de solo-cimento em função da porcentagem de cimento juntamente com a reta de regressão do modelo teórico.

Figura 3 – Correlação entre a resistência à compressão em função da porcentagem de cimento



Fonte: Autoria própria (2024).

Nota-se que para a porcentagem de 0,0% de cimento, a reta do modelo teórico apresenta valor de resistência de aproximadamente 1,75MPa, contudo, esse valor, em alguns casos é maior do que parte dos artigos onde utilizaram até 15% de cimento. A reta mostra apenas um modelo teórico de resistência de acordo com a porcentagem de cimento.

O coeficiente de correlação (r) obtido entre a porcentagem de aglomerante e a resistência à compressão aos 28 dias é de 0,31 indicando uma correlação baixa, mas positiva entre as duas variáveis.

A reta de regressão teórica da resistência à compressão dos corpos de prova em função da porcentagem de aglomerante é a mostrada na equação 2:

Um valor um pouco menor que o obtido na prática, mas bem próximo do real.

A análise estatística dos dados confirmou a correlação positiva entre a porcentagem de cimento e a resistência à compressão. Isso indica que, em geral, o aumento da porcentagem de cimento resulta em maior resistência à compressão.

Apesar da correlação positiva identificada, os resultados indicam que o aumento do teor de cimento não é o único fator determinante para a resistência à compressão. Estudos como os de Bagheri, Ahmad e Ismail (2014) e Reddy, Richardson e Rao (2007) também observaram que a compactação e a umidade ótima têm influência significativa. Assim, a simples elevação do teor de cimento pode não garantir melhorias proporcionais, reforçando a importância de um controle integrado das variáveis de produção.

O presente estudo apresenta limitações como a diversidade de condições experimentais encontradas nos artigos analisados, mediante diferentes formas de compactação, diversidade de características de solos de diferentes regiões, entre outras mais, o que pode impactar na

consistência dos resultados obtidos, sendo necessário atentar às especificidades, como a variabilidade dos tipos de solo empregados e as condições de cura adotadas nos experimentos. É importante destacar que certos elementos podem desempenhar um papel relevante na resistência à compressão, como a compactação do solo, a técnica, quando empregada de forma inadequada ou não uniforme, pode resultar em variações significativas na densidade do solo-cimento e, consequentemente, na sua resistência.

Essas limitações, embora reconhecidas, não invalidam o estudo, mas demandam uma interpretação cuidadosa e uma aplicação criteriosa dos resultados, contribuindo para uma contextualização adequada dos resultados, enriquecendo a discussão sobre a correlação entre a porcentagem de cimento e a resistência à compressão em blocos de solo-cimento.

O entendimento da correlação entre teor de cimento e resistência à compressão tem implicações diretas na otimização de dosagens, podendo orientar o desenvolvimento de blocos mais duráveis e sustentáveis. Além da redução no consumo de cimento, práticas adequadas de compactação e controle de umidade podem aumentar significativamente o desempenho mecânico, mesmo com teores reduzidos de aglomerante. Essa abordagem integrada contribui para obras mais econômicas e de menor impacto ambiental.

Essa perspectiva integrada, que alia eficiência estrutural e responsabilidade ambiental, destaca a relevância prática e os potenciais benefícios que surgem do estudo sobre a correlação entre a composição da mistura e as propriedades mecânicas do solo-cimento.

5 Conclusões

O presente estudo analisou a correlação entre a resistência à compressão de blocos de solo-cimento e a proporção de cimento utilizada na mistura. Para tanto, foram compilados e analisados dados de 227 dosagens extraídas de 26 publicações científicas nacionais e internacionais, abrangendo diferentes metodologias experimentais e tipos de solo.

A análise estatística evidenciou uma correlação linear positiva, embora de baixa magnitude ($r = 0,31$), sugerindo que o aumento do teor de cimento tende a elevar a resistência à compressão. Entretanto, a considerável dispersão nos resultados obtidos revela que o comportamento do solo-cimento depende de múltiplos fatores além da proporção de aglomerante, incluindo o tipo de solo, a granulometria, o teor de argila, a umidade de compactação, a pressão aplicada e as condições de cura.

Os resultados demonstram que o aumento do teor de cimento não garante, por si só, ganhos proporcionais de resistência. Torna-se necessário um equilíbrio técnico e econômico na formulação do solo-cimento, visando à otimização da dosagem e à promoção de soluções construtivas mais sustentáveis e eficientes.

Os resultados deste estudo reforçam a relevância do solo-cimento como alternativa sustentável frente aos sistemas construtivos convencionais, especialmente em contextos de habitação social e em obras de infraestrutura de pequeno porte. A redução no consumo de cimento pode contribuir significativamente para a diminuição da pegada de carbono da construção civil, sem comprometer

os requisitos mínimos de desempenho estrutural.

Recomenda-se que futuras pesquisas aprofundem a análise de outros parâmetros, como a influência da granulometria do solo, o tipo de cimento empregado, diferentes métodos de moldagem e compactação, bem como a adoção de aditivos estabilizantes. A realização de ensaios laboratoriais controlados poderá validar os resultados da presente análise estatística, subsidiando normas técnicas mais detalhadas e promovendo o avanço do conhecimento na área de tecnologia do solo-cimento.

Conclui-se, portanto, que a adequada dosagem de cimento, associada ao controle rigoroso das etapas de moldagem e cura, é determinante para o desempenho mecânico dos blocos de solo-cimento, possibilitando a aplicação desse material em soluções construtivas seguras, eficientes e ambientalmente responsáveis.

Resumo:

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio contínuo (processo nº 310398 2022-3 e Processo nº 23086.043183/2025-17 Bolsista do CNPq - Brasil) às suas atividades de pesquisa. Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e, mais especificamente, ao Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente (SaSA) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, em Diamantina, Minas Gerais, Brasil.

Referências

ACI COMMITTEE 230. **Report on State-of-the-Art of Soil-Cement (ACI 230.1R-09)**. Farmington Hills, MI, 2009.

AMARAL, M. C. *et al.* Soil-cement bricks incorporating eggshell waste. **Waste and Resource Management**, v. 166, n. 3, p. 137–141, 2013.

ARAÚJO, Juliana Souza. **Estudo de ações sustentáveis para o exercício da construção civil com base em análise dos impactos ambientais gerados**. 2020. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/216856>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025: Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024: Solo-cimento - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253: Solo-cimento - Dosagem para utilização como camada de pavimento - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.

BAGHERI, Y.; AHMAD, F.; ISMAIL, M. A. M. Strength and mechanical behavior of soil–cement–lime–rice husk ash (soil–clr) mixture. **Materials and Structures**, v. 47, p. 55–66, 2014.

- BRASSE, K. *et al.* Influence of soil-cement composition on selected properties. In: **MATEC Web of Conferences**. [S.l.]: EDP Sciences, 2018. v. 163, p. 06006.
- CONSOLI, Nilo Cesar; VENDRUSCOLO, Márcio Antonio; PRIETTO, Pedro Domingos Marques. Behavior of plate load tests on soil layers improved with cement and fiber. **Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering**, American Society of Civil Engineers, v. 129, n. 1, p. 96–101, 2003.
- DA FONSECA, A. V.; CRUZ, R. C.; CONSOLI, N. C. Strength properties of sandy soil-cement admixtures. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 27, n. 6, p. 681–686, 2009.
- DOS SANTOS, C. M. *et al.* Estudo da influência de parâmetros de processo na produção de tijolos de solo-cimento. **Cerâmica Industrial**, v. 28, n. 1, p. 1–11, 2023.
- ESTABRAGH, A. R.; BORDBAR, A. T.; JAVADI, A. A. Mechanical properties of a clayey soil reinforced with nylon fibers and stabilized with cement. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 29, p. 491–498, 2011.
- ESTABRAGH, A. R. *et al.* Strength of a clayey soil and a soil-cement mixture with resin. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement**, v. 166, n. 2, p. 108–114, 2013.
- FALESCHINI, F. *et al.* Mechanical resistance and environmental sustainability of EAF concrete. In: **Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems**. [S.l.]: CRC Press, 2023. p. 2455–2462.
- FELT, E. J.; ABRAMS, S. M. Strength and elastic properties of compacted soil-cement mixtures. **ASTM Special Technical Publication**, v. 206, p. 152, 1957.
- FORCELINI, M. *et al.* Mechanical behavior of soil-cement mixtures with osório sand. **Procedia Engineering**, v. 143, p. 75–81, 2016.
- HENRIQUES, Carla. **Análise de regressão linear simples e múltipla**. Portugal, 2011.
- HORPIBULSUK, Suksun; RACHAN, Runglawan; SUDDEEPONG, Apichat. State of the art in strength development of soil-cement columns. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement**, v. 165, n. 4, p. 201–215, 2012.
- HOSSAIN, M. U.; THOMAS, C. S.; NG, S. T. Influence of waste materials on the environmental impacts of the life cycle of buildings: Adopting the principle of resource recovery. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 142, p. 10–23, 2019.
- JARITNGAM, S.; YANDELL, W. O.; TANEERANANON, P. Development of a strength model of lateritic soil-cement. **Engineering Journal**, v. 17, n. 1, p. 69–78, 2013.
- KANIRAJ, Shenbaga R.; HAVANAGI, Vasant G. Compressive strength of cement stabilized fly ash-soil mixtures. **Cement and Concrete Research**, v. 29, n. 5, p. 673–677, 1999.
- KARPISZ, I. *et al.* Study of the effect of cement amount on the soil-cement sample strength. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. [S.l.: s.n.], 2018. v. 365, p. 042061.
- KOLLING, Evandro M.; TROGELLO, Emerson; MODOLO, Alcir J. Avaliação da resistência mecânica de diferentes traços de solo-cimento estabilizados com areia. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7, n. 3, p. 185–191, 2012.

LEÃO, A. S. *et al.* Is soil-cement brick an ecological brick? an analysis of environmental and energetic performance via life-cycle assessment of masonry walls. **Sustainability**, v. 14, n. 19, p. 12735, 2022.

MANSOUR, AM; AL BIAJAWI, MI. The effect of the addition of metakaolin on the fresh and hardened properties of blended cement products: A review. **Materials Today: Proceedings**, Elsevier, v. 66, p. 2811–2817, 2022.

MOREL, Jean-Claude; PKLA, Abalo; WALKER, Peter. Compressive strength testing of compressed earth blocks. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 2, p. 303–309, 2007.

NAKAYAMA, H.; HANDY, R. L. Factors influencing shrinkage of soil-cement. **Highway Research Record**, v. 86, p. 15–27, 1965.

REDDY, B. V. Venkatarama; RICHARDSON, L. A. Lalith; RAO, K. S. Nanjunda. Optimum soil grading for the soil-cement blocks. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 19, n. 2, p. 139–148, 2007.

RIAZ, Zahid; KHATTAK, Khurram. Classification of human face images using principal components. In: IEEE. **2006 International Conference on Emerging Technologies**. [S.l.], 2006. p. 97–102.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Recycling of water treatment plant waste for the production of soil-cement bricks. **Procedia Materials Science**, v. 8, p. 197–202, 2015.

ROMERO, A. B. C.; FRANCISCA, F. M.; GIOMI, I. Hygrothermal properties of soil-cement building materials. **Construction and Building Materials**, v. 313, p. 125518, 2021.

SAROGLOU, Haralambos I. Soil compressive strength improved with cement. In: **Contemporary Topics in Ground Modification, Problematic Soils, and Geo-Support**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 289–296.

SEGETIN, M.; JAYARAMAN, K.; XU, X. Harakeke reinforcement of soil-cement building materials: manufacturability and properties. **Building and Environment**, v. 42, n. 8, p. 3066–3079, 2007.

SHIHATA, Sabry A.; BAGHDADI, Zaki A. Long-term strength and durability of soil cement. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 13, n. 3, p. 161–165, 2001.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. Reuse of grits waste for the production of soil-cement bricks. **Journal of Environmental Management**, v. 131, p. 1–6, 2013.

SOBHAN, Khaled; MASHNAD, Meched. Tensile strength and toughness of soil-cement-fly-ash composite reinforced with recycled high-density polyethylene strips. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 14, n. 2, p. 177–184, 2002.

TAJDINI, M.; HAJIALILUE-BONAB, M.; GOLMOHAMADI, S. Experimental investigation on the effect of adding natural and synthetic fibers on mechanical and behavioral parameters of soil-cement materials. **International Journal of Civil Engineering**, v. 16, p. 353–370, 2018.

WOLENSKI, Anderson *et al.* Physical-chemical evaluation of soils for the construction of self-supporting rammed earth walls. **Revista de Projetos e Inovações Tecnológicas (IMPACTO Projects)**, v. 11, n. 4, p. 245–257, 2023.

XING, Haofeng *et al.* Strength characteristics and mechanisms of salt-rich soil-cement. **Engineering Geology**, v. 103, n. 1-2, p. 33–38, 2009.

YANG, H. Experimental study on the mechanical properties of soil-cement. In: **2nd International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology**. [S.l.]: Atlantis Press, 2012. p. 790–793.

YU, Y.; PU, Jiali; UGAI, K. A damage model for soil-cement mixtures. **Soils and Foundations**, v. 38, n. 3, p. 1–12, 1998.