

Incorporação de resíduos de celulose do tipo Dregs na mistura solo-cimento como agente melhorador do solo

Flaviani Alves dos Santos¹

Kevin John Ziliotto Klein²

Fabiano Alexandre Nienov³

Resumo

O crescimento do setor industrial no Brasil traz à tona questões como sustentabilidade e preservação ambiental, já que é um dos maiores responsáveis pela poluição e degradação do meio ambiente. No setor industrial o problema é ainda mais grave, o setor de celulose e papel com o processo de fabricação Kraft é responsável por gerar toneladas de resíduos sólidos, que possui como principal componente químico em sua composição o hidróxido de sódio (NaOH), isto significa que devem ser tratados ou descartados de forma adequada em locais apropriados. Estes resíduos pertencem a Classe II A segundo a NBR 10.004, ou seja, não-inertes e não perigosos. O objetivo da pesquisa foi avaliar o uso de resíduos dregs, gerados na etapa de caustificação, a mistura de solo-cimento em diferentes proporções como melhorador do solo, através do ensaio de resistência à compressão simples em corpos de prova cilíndricos e o ensaio de compactação.

Palavras-chave: Resíduo. Solo-Cimento.

1 INTRODUÇÃO

A produção de celulose no Brasil é uma das principais forças impulsionadoras da economia no país, sendo um dos maiores produtores e exportadores mundiais, isso traz à tona questões como sustentabilidade e preservação ambiental, já que este setor é um dos maiores responsáveis pela poluição e degradação do meio ambiente.

No setor de celulose e papel o processo de fabricação Kraft é responsável por gerar resíduos sólidos, que devem ser tratados e descartados de forma adequada, pois mesmo sendo classificados como não-inertes e não perigosos ainda representam um enorme risco ambiental.

O carbonato de cálcio popularmente conhecido como “dregs”, possui em sua composição química óxido de cálcio e sílica, componentes bem abundantes no cimento, tornando seu uso possível na indústria da construção civil em diversas áreas,

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil da Unoesc Campus de Joaçaba, e-mail: flavianidos.santos@outlook.com

² Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Unoesc Campus de Joaçaba, e-mail: kevinjohn676@gmail.com

³ Professor Doutor, Universidade do Oeste de Santa Catarina, e-mail: fabiano.nienov@unoesc.edu.br

Com isso, o presente trabalho pretende avaliar o uso de resíduos dregs, gerados na etapa de caustificação, a mistura de solo-cimento em diferentes proporções como melhorador do solo, dando a um resíduo que seria descartado em aterros um destino sustentável.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste item será abordado toda a pesquisa bibliográfica sobre a incorporação de resíduos de celulose na mistura de solo-cimento.

2.1 ESTABILIZAÇÃO DO SOLO

Oliveira (2022), incorporou na mistura de solo-cimento o resíduo dregs com o intuito de avaliar o uso dessa mistura na fabricação de tijolos para construção civil. O autor realizou inicialmente ensaios de caracterização do material, analisando amostras com adição de diferentes teores de dregs. Foram desenvolvidas três misturas, sendo uma delas a amostra de referência e as outras duas com a adição de 15 e 30% de dregs em substituição ao agregado, e após foi realizado o ensaio de compressão em cada uma delas.

Após o ensaio à compressão chegou-se a resultados interessantes com a base de uma mistura de 30% de dregs, mas melhorados com a mistura de 15% de dregs, sendo a mistura de 15% de dregs escolhida (OLIVEIRA 2022).

Pinheiro et al (2013) moldaram tijolos em solo-cimento com a incorporação do resíduo grits, realizando o estudo de todas as características físicas e mecânicas de solo-grits e do solo com diferentes proporções do resíduo.

Foi adotado por Pinheiro et al (2013) diversos teores com porcentagens correspondentes a 100-0, 75-25, 50-50, 25-75 e 0-100 de solo-grits, realizando em cada amostra o ensaio de massa específica dos sólidos, análise granulométrica e limites de consistência e ensaio de compactação, e após a cura das misturas foram feitos os ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

Em relação à resistência à compressão e absorção de água, pode-se concluir que o teor de solo-grits, em massa, correspondente às porcentagens 37,5 e 67,5 atendeu às exigências da Norma Brasileira Regulamentadora 10836 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994b), sendo definido como o teor que utiliza a maior quantidade de resíduo e que tem a plasticidade mínima necessária para que seja possível fabricar blocos, retirá-los da prensa e removê-los para o local de cura, atendendo às exigências normativas (PINHEIRO et al, 2013).

2.2 SOLO-CIMENTO

O solo-cimento é o material resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento e água em proporções adequadas. O produto resultante deste processo

é um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade.

Praticamente qualquer tipo de solo pode ser utilizado. O solo pode ser extraído do próprio local da obra de construção. Entretanto, os solos mais apropriados são os que possuem teor de areia entre 45 e 50%. Somente os solos que contêm matéria orgânica em sua composição não podem ser utilizados (PORTLAND 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de avaliar o comportamento da mistura de solo-cimento com a incorporação de resíduos do tipo “dregs” foi adicionado a mistura diferentes de tores de resíduo e moldados corpos de prova. Na Tabela 1 são expostos os diferentes traços definidos, sendo substituído em diferentes porcentagens uma parte do solo por “dregs”.

Tabela 1 – Composição das Misturas

Traço	Solo (%)	Resíduo (%)	Cimento (% em adição)
95s/5d+10c	95	5	10
90s/10d+10c	90	10	10
85s/15d+10c	85	15	10

Fonte: os autores.

Para nomear cada um dos traços foi utilizado a abreviatura de “s”, “d”, “c” para representar o solo, os dregs e o cimento respectivamente. Juntamente com as abreviações está um número, este valor corresponde a cada percentual do material na mistura, utilizando sempre em substituição o resíduo dregs e em adição o cimento.

3.1 ORIGEM, PREPARO E CARACTERIZAÇÃO

A amostra de solo usada na mistura é da região de Joaçaba, coletada na propriedade da Universidade do Oeste de Santa Catarina. A coleta do material foi realizada conforme a PRO 03 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1994), sendo caracterizada como uma amostrada deformada.

Após a coleta do solo foi feita a secagem da amostra ao sol e em estufa a uma temperatura de 100°C (Fotografia 1).

Os dados para caracterização do solo serão colhidos a partir de pesquisa já realizada em amostra da região por Regalin Júnior (2021). Realizou-se por ele os ensaios de granulometria, conforme a NBR 7181 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018), peso específico real dos grãos, seguindo o ME 093 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1994) e a determinação dos limites de liquidez e plasticidade, conforme a NBR

7180 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016) e a NBR 6459 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016).

Fotografia 1 – Amostra secando em estufa a 100°



Fonte: os autores.

Em seguida foi realizado peneiramento do solo para remoção de matéria orgânica, e após feita a desagregação dos grãos com auxílio de almofariz e mão de gral, conforme especifica a NBR 6457 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016). E juntamente com a desagregação foi realizado o processo de peneiramento do resíduo dregs (Fotografia 2 e 3).

Fotografia 2 – Peneiramento



Fonte: os autores.

Fotografia 3 – Desagregação



Fonte: os autores.

Após peneiramento e desagregação o material foi colocado em estufa pelo período de 24 horas e em seguida todos os materiais serão pesados individualmente em uma balança e colocados em um recipiente para serem homogeneizados.

Foi elaborado também um traço base "100s+10c" para fins comparativos e aos demais traços foram incorporados diferentes proporções de resíduo, para cada traço foram moldados 6 corpos de prova com massa estimada de 450g cada.

3.2 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

O ensaio foi realizado a fim de determinar a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima de compactação, que foram utilizados para o cálculo das quantidades, em massa, dos materiais para moldagem dos corpos de prova.

Todos os procedimentos utilizados na realização do ensaio seguiram o estipulado pela NBR 7182 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016), sendo todos os materiais secos em estufa a 100 °C e homogeneizados em seus teores correspondentes sendo adotado energia de compactação normal, conforme apresentado abaixo (Fotografia 4).

Fotografia 4 – Ensaio de Proctor



Fonte: os autores.

3.3 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Tendo definidas as quantidades de solo, resíduo “dregs” e também o teor de adição do cimento CP V-ARI, a mistura foi feita em um recipiente, adicionando água aos poucos até atingir a umidade ótima e em seguida, foi utilizado o molde cilíndrico de 10x20 cm para a moldagem.

Foram moldados ao total 12 corpos de prova para 4 traços diferentes de mistura e rompimento no décimo quarto dia. Após a desmoldagem foram aferidas suas dimensões, identificados e levados para cura de 14 dias.

3.4 ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA

O rompimento dos corpos de prova foi realizado aos 14 dias de cura, sendo as últimas 24 horas antecedentes ao rompimento submersos completamente em água, para que seja submetido a pior condição.

O rompimento foi feito através de prensa hidráulica padronizada da marca EMIC DL-30000, com velocidade de rompimento de argamassa, pertencente ao laboratório de solos, materiais e asfalto da Universidade do Oeste de Santa Catarina. Obtendo-se ao final, os valores correspondentes às cargas de ruptura de cada um dos corpos de prova dentro do período de cura estabelecido.

Foram utilizados os dados de carga de ruptura obtidos no rompimento dos corpos de prova para determinar a resistência à compressão simples, o quociente será obtido através da carga de ruptura e a área da seção transversal dos corpos de prova.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nesta etapa serão apresentados os resultados obtidos através dos ensaios realizados no laboratório e feita a sua análise.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Todos os resultados de ensaios de caracterização do solo e os dados utilizados como base para pesquisa foram obtidos através de pesquisa já realizada pelo acadêmico Gilberto Regalin Júnior em amostra da região. Ele apresentou para classificação da amostra de solo os dados contidos abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação da amostra de solo

Parâmetros	Resultados
Argila – $\varnothing < 0,002$ mm (%)	69,74
Silte – $0,002$ mm $< \varnothing < 0,06$ mm (%)	26,64
Areia fina – $0,06$ mm $< \varnothing < 0,2$ mm (%)	1,13
Areia média – $0,2$ mm $< \varnothing < 0,6$ mm (%)	1,67
Areia grossa – $0,6$ mm $< \varnothing < 2,0$ mm (%)	0,82
Pedregulho – $2,0$ mm $< \varnothing < 60$ mm (%)	0
LL – Limite de Liquidez (%)	53
LP – Limite de Plasticidade (%)	37
IP – Índice de Plasticidade (%)	16
Peso específico real dos grãos (g/cm ³)	2,91
Classificação Textural	Argila
H.R.B ou A.A.S.H.T.O.	A7-5

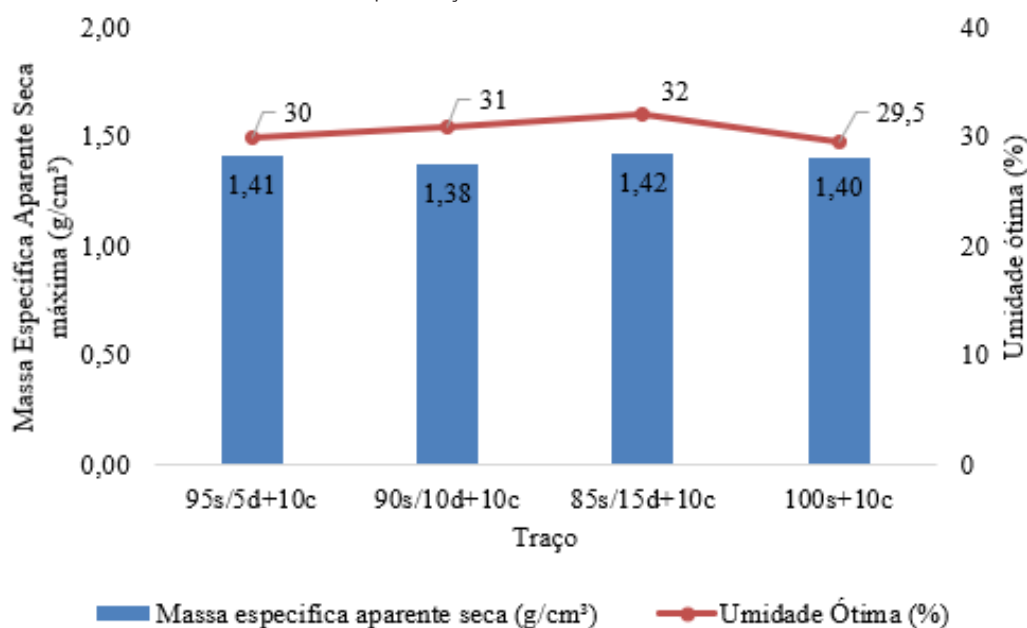
Fonte: adaptada de Regalin Júnior (2022, p. 11).

4.2 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

O ensaio de compactação permitiu concluir, que mesmo com a alteração do teor de resíduo presente na mistura, não houve variação significativa no teor de umidade ótima de compactação e da massa específica seca máxima. Sendo adotado portanto, uma média dos valores obtidos pelo ensaio, são eles de 30% para umidade ótima de compactação e 1,40g/cm³ para a massa específica seca máxima (Gráfico 1).

Os valores dos resultados foram utilizados como base para determinação da quantidade necessária de cada um dos materiais para moldagem dos corpos de prova. Destaca-se que o mesmo teor de umidade foi adotado para todas as misturas, logo a relação água/cimento não é considerada uma variável na avaliação de resistência a compressão simples dos corpos de prova.

Gráfico 1 – Resultados ensaios de compactação



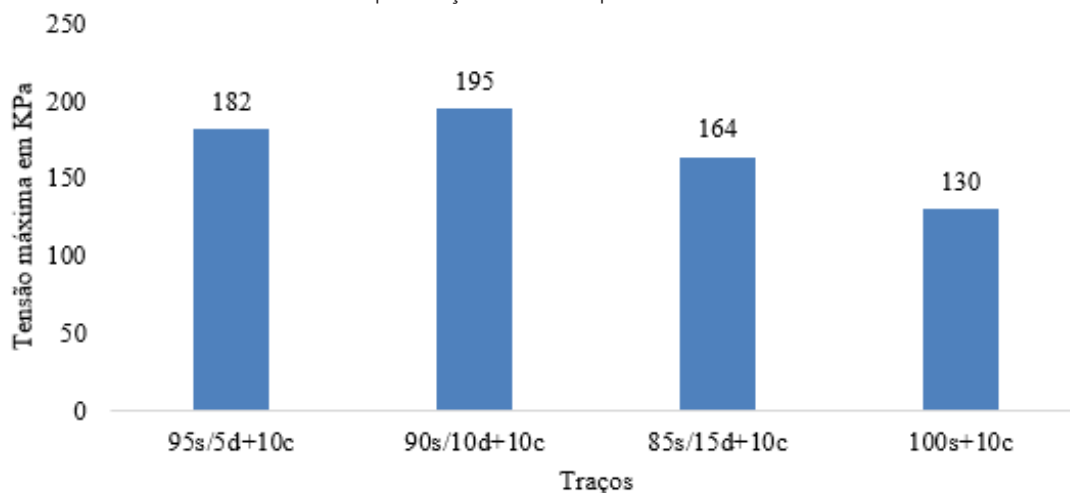
Fonte: os autores.

4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Os corpos de prova foram rompidos a compressão simples aos 14 dias da data em que foram moldados. Durante todo o período de cura os corpos de prova foram mantidos em sacos plásticos, para evitar a perda de umidade para o ambiente. As últimas 24 horas que antecederam o rompimento os corpos de prova foram submergidos em água, submetendo-os as piores condições.

No Gráfico 2 é possível observar os resultados obtidos aos 14 dias de cura, sendo adotada nomenclatura de 95s/5d+10c, 90s/10d+10c, 85s/15d+10c e 100s+10c para os teores de 5%, 10% e 15% de substituição por resíduo dregs.

Gráfico 2 – Resultado ensaio de compactação em KPa para 14 dias de cura



Fonte: os autores.

Para a cura de 14 dias, doze corpos de prova foram rompidos e aferidos por uma média entre três resultados para cada traço, todas as dosagens de Dregs tiveram resultado superior ao traço base, melhorando em cerca de 54% sua resistência.

Ainda referente aos 14 dias de cura, foram aferidas as dimensões e o peso de cada um dos 12 corpos de prova para análise do teor de umidade e expansão, quando submetido as piores condições nas últimas 24 horas. Após colhido os dados dos 3 corpos de prova para cada um dos traços, foi feita a média de valores de peso e assim calculado o quanto de absorção de umidade cada traço teve, originando assim a Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação de Peso dos Corpos de Prova

Traço	Durante a Moldagem	No Rompimento
	Média de Peso (g)	Média de Peso (g)
95s/5d+10c	396,12	420,9
90s/10d+10c	367,29	376,2
85s/15d+10c	336,29	355,37
100s+10c	341,80	345,97

Fonte: os autores.

A absorção de umidade mais significativa se encontra no teor 5% e 15%, isso se dá pela composição química do resíduo Dregs que reagindo na mistura com o solo e o cimento CP V-ARI causou um aumento na umidade, logo esses dois teores não obtiveram resultados tão expressivos, sendo os corpos de prova com 15% de resíduo aqueles com menor ganho de resistência.

5 CONCLUSÃO

É possível notar ao final dos ensaios que os resultados significativos foram nas misturas com teores de 5% e 10% de adição de dregs, onde há um crescimento linear de resistência conforme o aumento da adição de resíduo, onde respectivamente o traço 95s/5d+10c, teve seu rompimento com a aplicação de uma força de 405,7 N e o traço 90s/10d+10c com uma força de 422,5 N.

Entretanto, quando adicionado um teor acima de 10%, a mistura apontou uma queda expressiva em relação as outras, apresentando resistencias inferiores a do traço base e uma força de rompimento inferior a do traço 90s/10d+10c, sendo necessário apenas 362 N quando adicionado 15% de resíduo Dregs.

O teor de umidade também teve sua variação significativa entre 5% e 15%, sendo analisada como a melhor condição de umidade a amostra que possuía 10% de adição de resíduo, tornando este o traço mais recomendado para ganho de resistência com mínima alteração em suas características, mesmo quando submetida a sua pior condição.

Portanto, conclui-se que a utilização de resíduos de Celulose do tipo Dregs se mostra uma opção vantajosa quando se trata do ganho de resistência para a mistura, entretanto é necessário que hajam pesquisas referentes ao comportamento desse resíduos em diferentes tipos de solo, bem como, em diversas condições de temperatura, umidade e teores de adição do resíduo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6457 — Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6459 — Solo — Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7180 — Solo — Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7181 — Solo — Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7182 — Solo — Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.
- RAUSCHKOLB, Guilherme. **Estudo para utilização de resíduo gerado pela fabricação de celulose e papel no melhoramento do solo**. 2018. Relatório de Estágio Supervisionado II (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2018.
- REGALIN JÚNIOR, Gilberto. **Estudo de mistura de solo-cimento com a incorporação de pó de casca de ovo de galinha**. XXXX. Relatório de Estágio Supervisionado II (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, XXXX.
- MOREIRA MIQUELINO ELETO TORRES, Caio. **Incorporação de Dregs e Grits de fábricas de polpa celulósica Kraft ao clínquer para a produção de Cimento Portland**. 2016. Dissertação para obtenção do título de Magister Scientiae (Pós Graduação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2016.
- OLIVEIRA, Bruno Miguel Ribeiro De. **Inovação e Sustentabilidade na Indústria da Construção Tijolos de Solo-Cimento com Adição de Resíduos da Indústria de Celulose, Dregs**. 2022. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção Sustentável (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Politécnico de Castelo Branco, Portugal, 2022.
- MARQUES, Maria Lidiane. et al. **Potencialidades do uso de Resíduos de Celulose (Dregs/ Grits) como agregado em argamassas**. 2014. Artigo Científico para Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais – Campina Grande, 2014.