



# Estabilização de Solos Argilosos com Resíduos de Retificação Cerâmica (RRC) e Cal para Utilização em Pavimentos

Winie Canto Antônio

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, Brasil, winie.canto@gmail.com

Ingrid Milena Reyes Martinez Belchior

Universidade Federal de Pelotas - UFPEL, Pelotas, Brasil, ingridbelchior17@gmail.com

Pedro Arns

Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, Brasil, par@unesc.net

**RESUMO:** A utilização dos resíduos da indústria cerâmica em obras de pavimentação pode ser uma prática sustentável que permite a diminuição do descarte destes produtos em aterros. Este trabalho visou a estabilização de um solo de Formação Geológica Palermo com adição de cal e resíduo de retificação cerâmica (RRC). Foram analisadas misturas de solo com adições de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de RRC e com 1% de cal, e misturas com 40% e 50% de RRC com adição de cal de 5%. Através do ensaio de índice de suporte Califórnia (ISC), foi determinado que no grupo das misturas tratadas com 1% de cal, unicamente a mistura RRC50/S49/C1, correspondente à adição de 50% de RRC, satisfaz simultaneamente os parâmetros requeridos para material de subleito, correspondentes a expansão menor que 2% e ISC maior que 2%, enquanto que todas as misturas com 5%, de cal conseguiram atender os quesitos para material de subleito, comprovando-se assim a viabilidade do uso RRC em obras rodoviárias.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estabilização, Solos, Resíduo de Retificação Cerâmica, Pavimentação.

## 1 INTRODUÇÃO

O descarte de resíduos sólidos é um problema de grande relevância para a indústria cerâmica. De acordo com Jacoby e Pelisser (2015), estima-se que a indústria cerâmica do sul do Estado de Santa Catarina gera 1.000 toneladas por semana de resíduos sólidos. O mercado nacional de revestimentos cerâmicos é constituído por 93 empresas instaladas em 18 estados, tendo sua maior concentração nas regiões Sudeste e Sul. No estado Catarinense, a região de Criciúma é destaque no ramo cerâmico, pois se encontram as maiores empresas cerâmicas do Brasil, que por sua vez, devem se adequar as leis do descarte correto de resíduos (DALFRÉ, 2012).

Novos usos podem ser dados aos resíduos de retificação cerâmica (RRC), que geram elevadas quantidades de lama residual, e requerem

disposição em aterros controlados (RAMOS, 2017). Dentre esses usos, este estudo propõe a utilização do resíduo de retificação cerâmica (RRC), como material geotécnico, para estabilização de solos destinados a subcamadas de pavimentos. Desta forma, a escassez de materiais de boa qualidade geotécnica para obras de infraestrutura poderia ser amenizada com o uso destes materiais alternativos para melhoramento de solos. Segundo a Confederação Nacional do Transporte de Rodovias (CNT, 2016), estima-se que, em média, apenas 12,3% das rodovias brasileiras sejam pavimentadas, deixando explícito que a expansão da infraestrutura não acompanha o aumento do fluxo de veículos.

Novos materiais geotécnicos derivados de diferentes resíduos industriais, como é o caso do RRC, podem precisar de adições de materiais cimentantes (como cal ou cimento), que os



auxiliem para atingir as propriedades mecânicas necessárias para serem usados como materiais geotécnicos. Silva (2010) diz que a cal tem se mostrado bastante eficaz, ecológica e economicamente, na medida em que permite o aproveitamento dos solos existentes no local de implementação da obra, sem precisar substituí-lo, evitando despesas adicionais e impactos ambientais. Para a estabilização de solos, a cal mostra demasiada utilidade, principalmente por sua granulometria fina, que influencia na velocidade de hidratação, deixando a mistura mais homogênea. Estes fatores fazem com que, na estabilização com aditivos, a cal venha a ser um importante fator na mistura, conferindo mais estabilidade e resistência na implantação. Devido a estas características, a cal pode ser adicionada em misturas de solo estabilizado, como neste com RRC, a fim de atingir as propriedades mecânicas mínimas exigidas para materiais de subcamadas de pavimentos.

Desta maneira, o presente estudo propõe avaliar a possibilidade de estabilizar um solo argiloso com a inserção de resíduos de retificação cerâmica (RRC) e cal como produto cimentante. Através de testes mecânicos e de caracterização, serão analisadas as características de resistência e deformação DE diferentes misturas compostas por solo, cal e RRC.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar, através de ensaios mecânicos, a possibilidade de estabilizar o solo argiloso de Formação Geológica Palermo com adições de resíduo de retificação cerâmica (RRC) e cal em diferentes dosagens, para uso em subcamadas de pavimentos flexíveis.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Determinar as características físicas do solo em sua condição natural;
- Determinar as características físicas de

diferentes misturas de RRC/solo/cal;

- Determinar a umidade ótima de compactação e a densidade máxima seca da mistura de RRC/solo/cal;
- Determinar o Índice de Suporte Califórnia (ISC) para as misturas estudadas, no teor de umidade ótima e sua correspondente expansão.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

O resíduo de retificação cerâmica (RRC) foi cedido pela empresa Poligress, situada na cidade de Maracajá – SC. O RRC é produto de peças cerâmicas que depois de prontas e queimadas, passam entre rolos diamantados para garantir maior precisão nas suas dimensões. Desta forma o RRC constitui-se por uma mistura de água, material cerâmico e esmalte, que geram uma pasta chamada “lodo de acabamento”. As Figuras 1 e 2 mostram respectivamente o aspecto do resíduo de retificação cerâmica (RRC) no seu estado de coleta e após preparação no laboratório (secagem em estufa a 60°C com posterior destorroamento). Segundo Carvalho (2013) o lodo de acabamento é desidratado e descartado direto em aterros classe II-a, que são os resíduos não inertes de baixa periculosidade, que oferecem capacidade de reação química em certos meios.



Figura 1. Resíduo de Retificação Cerâmica (RRC) no estado da coleta e após preparação no laboratório.



Figura 2. Resíduo de Retificação Cerâmica (RRC) após preparação no laboratório.

Como agente cimentante para auxiliar a estabilização, foi usada cal do tipo virgem calcítica – Cal hidratada tipo CH-III, cuja composição fornecida pelo fabricante é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades da Cal

Propriedades químicas e físicas da cal hidratada		
<b>Óxidos totais (base não volátil)</b>	≥88%	
<b>Óxidos totais não hidratados</b>	≤15%	
<b>CO<sub>2</sub></b>	Fábrica	≤13%
	Depósito ou na obra	≤15%
<b>Retido em peneira #30 (0,600mm)</b>	≤0,5%	
<b>Retido em peneira #200 (0,075mm)</b>	≤15%	
<b>Retenção de água</b>	≥70%	
<b>Incorporação de areia</b>	≥2,2%	
<b>Estabilidade</b>	Ausente de cavidades ou protuberâncias	
<b>Plasticidade</b>	≥110%	

Fonte: <http://www.cerrobranco.com.br/wp-content/uploads/2016/03/FTP-201-Cal-Hidratada-CH-III-v03.pdf>

O solo que foi utilizado para ser estabilizado nesta pesquisa foi do tipo argiloso proveniente da Formação Geológica Palermo. O

solo foi retirado do Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) no município de Criciúma (SC). Este solo se caracteriza por estar formado por siltos arenosos, siltos e folhelhos silticos. As características físicas do solo argiloso de Formação Geológica Palermo são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Características físicas do solo natural Palermo

Características	Resultados
Limite de liquidez	60%
Limite de plasticidade	37%
Índice de plasticidade	23%
Índice de grupo	18
Classificação TRB	A7-5
ISC	5,2%
Expansão	3,7%
Densidade Máxima Seca	1,342 g/cm <sup>3</sup>
Umidade Ótima	27,7%

Fonte: Laboratório de Mecânica dos Solos – IPARQUE (2018).

### 3.2 Métodos

O solo utilizado foi caracterizado, em sua forma natural e com adições de RRC e cal. Após a classificação foram realizados os ensaios de compactação para determinar a umidade ótima e a densidade máxima de compactação. Conhecidos estes parâmetros, foram preparadas amostras para realizar o ensaio do CBR e para determinar a expansão das misturas RRC/solo/cal. Na Tabela 3 encontram-se as normas que descrevem os procedimentos utilizados no desenvolvimento do programa experimental deste estudo. As dosagens das misturas que foram utilizadas neste estudo e suas respectivas nomenclaturas estão descritas na Tabela 4.

Tabela 3. Normas ABNT para realização dos ensaios

Título da norma	Código da norma
Solo – Índice de Suporte Califórnia	NBR 9895/2016
Ensaio de compactação	NBR 7182/2016



Tabela 4. Nomenclatura e composição das misturas.

Nomenclatura da mistura	RRC (%)	Solo (%)	Cal (%)
RRC10/S89/C1	10	89	1
RRC20/S79/C1	20	79	1
RRC30/S69/C1	30	69	1
RRC40/S59/C1	40	59	1
RRC50/S49/C1	50	49	1
S99/C1	0	99	1
RRC40/S55/C5	40	55	5
RRC50/S45/C5	50	45	5
S95/C5	0	95	5
S100	0	100	0
RRC100	100	0	0

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 Propriedades de Compactação

Após a preparação das misturas descritas na Tabela 4, foi realizado o ensaio de compactação na energia Proctor Normal (PN) para determinar a umidade ótima e densidade máxima de cada mistura. A Figura 3 mostra a variação da densidade máxima seca (DMS) das misturas com diferentes porcentagens de RRC e com adição de 1% de cal. Observou-se que a DMS tendeu a aumentar juntamente com o acréscimo da porcentagem de RRC nas misturas, atingindo o máximo valor de 1,38 g/cm<sup>3</sup> para a mistura de RRC50/S49/C1. Desta maneira pode-se afirmar que a adição de RRC gera misturas mais entrosadas, sugerindo um melhoramento na granulometria das misturas.

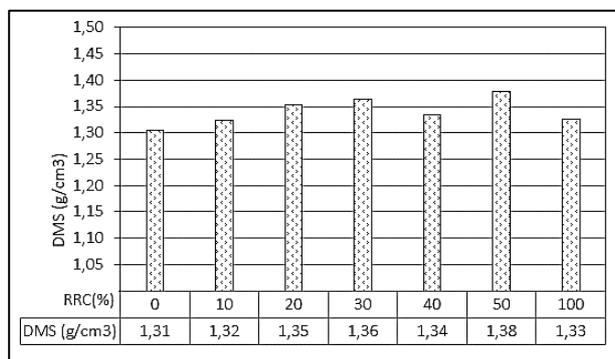


Figura 3. Densidades máximas secas de misturas de solo com 1% de cal e diferentes porcentagens de RRC.

A Figura 4 mostra os resultados de umidade ótima de compactação para amostras de solo

com 1% de cal e diferentes porcentagens de RRC compactados na energia Proctor Normal. Percebeu-se que, em geral as umidades ótimas de compactação foram menores nas misturas do que no solo natural e no RRC puro. A partir de uma adição de 40% RRC a umidade ótima de compactação tende a se estabilizar, pois os valores de umidade ótima do solo natural e de resíduo puro são muito próximos entre si.

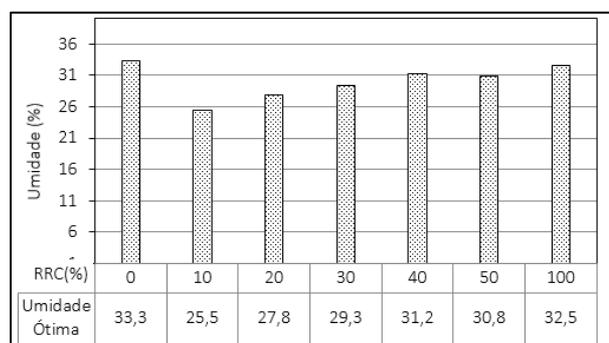


Figura 4. Umidade ótima de compactação de misturas de solo com 1% de cal e diferentes porcentagens de RRC.

A Tabela 5 apresenta um resumo dos resultados obtidos de densidade máxima seca e umidade ótima de compactação para as misturas com 1% e 5% de cal e diferentes porcentagens de RRC. Como reportado na literatura, o incremento na porcentagem de cal gerou misturas com menor densidade, e maior umidade de compactação, devido à demanda de água para a reação do solo argiloso e a cal.

### 4.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão

O índice de suporte Califórnia (ISC) é um dos parâmetros mais importantes para determinar se um material é apto para ser utilizado em subcamadas de pavimentação. Na Tabela 5 encontram-se os valores de referência mínimos e máximos de expansão e ISC para uso em camadas de pavimentos flexíveis, propostos pelo DNIT (2006).

Utilizando os valores de umidade ótima e densidade máxima seca obtidos nos ensaios de compactação para cada mistura, que se encontram resumidos na Tabela 6, foram



preparadas as amostras para determinação do índice de suporte Califórnia (ISC) e da expansão.

Tabela 5. Valores de ISC e Expansão requeridos para materiais de subleito, reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos flexíveis (DNIT, 2006).

Tipo	ISC	Expansão
Subleito	$\geq 2\%$	$\leq 2\%$
Reforço do Subleito	Maior que do subleito	$\leq 1\%$
Sub-base	$\geq 20\%$	$\leq 1\%$
Base	$\geq 80\%$	$\leq 0,5\%$

Tabela 6. Resumo dos valores de DMS e umidade ótima de compactação para misturas de solo/RRC/Cal

Cal (%)	RRC (%)	Solo (%)	Densidade Máxima Seca (DMS) (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade Ótima de compactação (%)
0	0	100	1,34	27,7
	0	99	1,31	33,3
	10	89	1,32	25,5
	20	79	1,35	27,8
1	30	69	1,36	29,3
	40	59	1,34	31,2
	50	49	1,38	30,8
	100	0	1,33	32,5
5	0	95	1,32	33,2
	40	55	1,36	29,1
	50	45	1,34	32,7
	100	0	1,33	32,5

Em primeiro lugar foi analisada a influência da porcentagem de RRC na mistura solo/cal, mantendo constante a porcentagem de 1% de cal nas misturas e variando a quantidade de RRC. A Figura 5 mostra a variação do ISC e da expansão para amostras de solo com 1% de cal e diferentes porcentagens de RRC. Verificou-se um aumento, comparando ao solo natural, no valor do ISC quando se incrementou a dosagem de RRC na mistura. Comparando os valores de ISC obtidos com os valores da Tabela 5, pode se

concluir que tanto o solo como o RRC no seu estado natural e todas as misturas de solo/RRC/cal estudadas, atendem a especificação para material de subleito, pois atingiram valores maiores ou iguais a 2%. Porém, somente a mistura com 50% de RRC, denominada RRC50/S49/C1, atende a exigência por apresentar uma expansão menor ou igual a 2%.

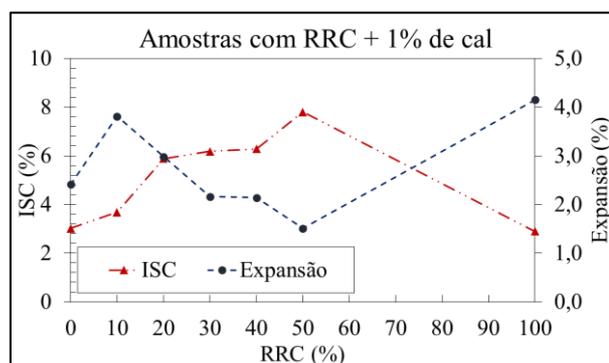


Figura 5. Variação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão para amostras de solo com 1% de cal e diferentes porcentagens de RRC.

Encontra-se o pico de expansão, para misturas em 1% de cal, em RRC100, com seus 4,15% de expansão, porém em misturas com solo e cal, a mistura mais expansiva é com 10% de resíduo, que chega a expansão de 3,81%, após esta mistura as próximas tendem a diminuir sua expansão à medida que se aumenta a quantidade de resíduo, excluindo a mistura RRC100.

A Figura 5 mostrou que, embora as misturas estudadas atendam o quesito mínimo de ISC para material de subleito, elas apresentam expansões maiores ao valor máximo permitido de 2% para tal uso, então foram avaliadas as amostras com maior porcentagem de RRC (40% e 50%), nas quais aumentou-se a dosagem de cal para 5% a fim de verificar se este aumento na porcentagem de cal resultaria em melhora dos valores da expansão das misturas.

A Figura 6 exibe os valores de ISC obtidos para dosagens de 1% e 5% de cal no solo natural, no RRC e nas misturas de 40% e 50% de RRC. Como esperado, o incremento do ISC com a



adição de cal foi observado tanto nos materiais puros (solo e RRC) como nas misturas solo/RRC/cal. A mistura RRC40/S55/C5 conseguiu ultrapassar o valor mínimo de ISC para material de subleito (2%). Porém, observou-se que adições maiores de 40% de RRC em misturas com dosagens de 5% em cal tendem a apresentar um comportamento de diminuição do ISC.

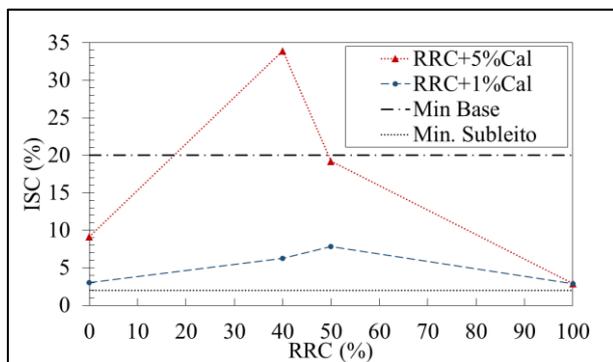


Figura 6. Índice de Suporte Califórnia (ISC) para amostras de solo com 1% e 5% de cal e diferentes porcentagens de RRC.

Referente ao valor da expansão, a Figura 7 mostra os resultados obtidos para amostras de solo com 1% e 5% de cal e diferentes porcentagens de RRC. Observou-se que a mistura RRC40/S55/C5 atendeu ao valor do ISC e expansão para material de sub-base e também reforço de subleito. A mistura RRC50/S45/C5, somente atende, com o valor da expansão, parâmetros de sub-base, mas não cumpre com o valor do ISC. As duas misturas com adição de 5% de cal (RRC40/S55/C5 e RRC50/S45/C5) satisfazem os quesitos de ISC e expansão para material de subleito e reforço de subleito.

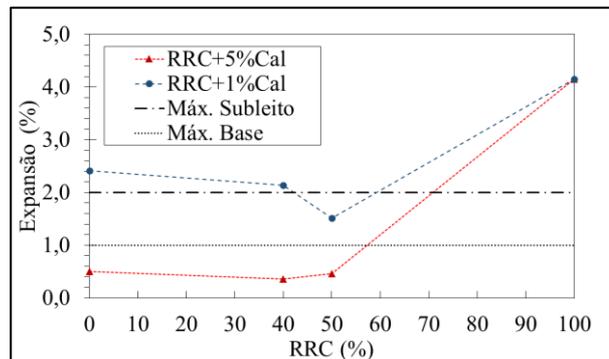


Figura 7. Expansão para amostras de solo com 1% e 5% de cal e diferentes porcentagens de RRC.

A Tabela 7 resume os resultados dos valores de ISC e expansão para as misturas solo/RRC/cal. A partir destes dados, observou-se que o RRC pode ser destinado à estabilização de solos em presença de um agente estabilizante, como a cal. Os incrementos paralelos de RRC e cal no solo produziram melhorias expressivas nos valores do ISC e da expansão do solo estudado.

Tabela 07: Resultados ISC e da expansão para misturas de solo/RRC/cal

Cal (%)	RRC (%)	Solo (%)	ISC (%)	Expansão (%)
0	0	100	5,2	3,70
	0	99	3,0	2,41
	10	89	3,7	3,81
	20	79	5,9	2,98
	30	69	6,2	2,16
1	40	59	6,3	2,14
	50	49	7,8	1,51
	100	0	2,9	4,15
	0	95	9,1	0,50
5	40	55	33,9	0,36
	50	45	19,2	0,46
	100	0	2,9	4,15

## 5 CONCLUSÕES

O presente estudo permite concluir que o solo argiloso proveniente da Formação Geológica Palermo estabilizado diferentes dosagens de RRC e 1% de cal, não produzem resultados que



permitam enquadrar a mistura como um material destinado a subleito, com exceção da mistura RRC50/S49/C1, a qual foi a única no grupo com 1% de cal, cujos resultados permitiriam seu uso como subleito e reforço de subleito.

No subgrupo de amostras de solo com 5% de cal e diferentes dosagens de RRC, foi visto que a mistura RRC40/S55/C5 se apresentou apta como material para uso em sub-bases e reforço de subleito. Por sua vez a mistura RRC50/S45/C5 confere as condições de expansão e ISC necessárias para uso em subleitos e reforço de subleito na pavimentação.

Os ensaios de compactação, em misturas com 1% de cal, apontaram, uma variação nos índices de umidade ótima de compactação nas porções de acordo com o aumento da porcentagem de resíduos; e uma alteração nos valores das DMS, também com a adição de resíduo, ocorre uma evasiva destes pontos na amostra RRC40/S59/C1, que pode ser atrelada a erro nos ensaios, ou mesmo divergência natural no ponto.

O aproveitamento do RRC se mostrou bastante eficaz, podendo ser destinado a usos sustentáveis que diminuem a exploração de novas jazidas. Os efeitos decorrentes da avaliação destes ensaios podem ser comparados as características do solo natural, pois o resíduo em questão não tem função de aditivo e sim para ser substituto a alguma parte na totalidade do solo, para estabilização do mesmo; já a cal imprime característica de aditivo, que resultou na melhora da expansão que foi em partes prejudicada com a adição do resíduo, porém este não é o produto do estudo.

O potencial positivo do uso do resíduo de retificação cerâmica como produto para estabilizar materiais destinados a subleitos e sub-bases de pavimentos foi demonstrado analisando-se apenas a eficiência destes com os limites estabelecidos pelo DNIT. Porém, não foram consideradas neste estudo análises químicas, que possam impedir o uso deste resíduo para fins geotécnicos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Poligress do Brasil (Maracajá/SC) pelo fornecimento do resíduo de retificação cerâmica para este estudo.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16097: Solo — Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
- 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 7182: Solo—ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895: Solo—Índice de suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 2016.
- BRANCO, Cerro. Ficha técnica de produto. Disponível em: <<http://www.cerrobranco.com.br/wp-content/uploads/2016/03/FTP-201-Cal-Hidratada-CH-III-v03.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2018.
- CNT. Brasil tem apenas 12,3% da malha rodoviária com pavimento. 2016. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/brasil-tem-apenas-12-da-malha-rodoviaria-com-pavimento>>. Acesso em: 22 mar. 2018.
- DALFRÉ, Roberta Ribeiro. Gerenciamento de resíduos sólidos em indústria de cerâmica: estudo de caso. 2012.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de Pavimentação. 3ª edição. Publicação IPR – 719. Rio de Janeiro, 2006.
- IPARQUE. Laboratório de Mecânica dos Solos. Características físicas do solo natural. Criciúma, 2018.
- JACOBY Pablo Cardoso; PELLISSER Fernando. Pozzolanic effect of porcelain polishing residue in Portland cement. Journal of Cleaner Production, v. 100, p84-88, 2015.
- POTTER, Reinaldo O. et al. Solos do Estado de Santa Catarina. Embrapa Solos – Boletim de Pesquisa de Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2004.
- RAMOS, Giovani Antonio, et al. Cimento geopolimérico contendo resíduo do polimento de placas cerâmicas. 2017.
- SILVA, Mariana Fernandes da. Estudo comparativo de dois solos argilosos estabilizados com cal. 2010. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências de Tecnologia.