

## **Estudo do comportamento geotécnico de misturas de solo argiloso e resíduos da construção civil para aplicação como barreira hidráulica em áreas degradadas**

Tiago Luiz Costa da Silva <sup>1</sup>

Christiane Ribeiro da Silva <sup>2</sup>

**Resumo:** A geração de resíduo da construção civil tem impactado o ambiente e é uma questão preocupante para a sociedade, sendo várias alternativas propostas com o intuito de sanar essa questão, uma delas é do uso da produção mais limpa. Nesse contexto, esta pesquisa busca estudar o comportamento geotécnico de misturas de solo argiloso e resíduos da construção civil para aplicação como barreira hidráulica em áreas degradadas. Para esse objetivo, foram realizados ensaios laboratoriais de índices físicos, índices de consistência, compactação, Índice de Suporte Califórnia, expansão e permeabilidade tanto do solo puro quanto das misturas de 75/25 e 50/50, solo e resíduo da construção civil, respectivamente. Com base nos resultados, foi observado que as duas misturas apresentaram capacidade para aplicação como constituinte da barreira hidráulica, uma vez que houve redução da permeabilidade com a adição do resíduo na proporção 50/50. Os resultados demonstraram que o incremento de resíduo se apresentou viável tecnicamente no âmbito de suas características geotécnicas avaliadas (propriedades mecânicas e permeabilidade). Este fator surge como uma possibilidade de elucidar a capacidade de aplicação do resíduo de construção civil em solos, no entanto, pesquisas adicionais nos âmbitos químico e ambiental são de fundamental importância para a aplicação desta proposta.

**Palavras-chave:** geotecnia; impermeabilização; reabilitação; meio ambiente.

### **Geotechnical characterization of clay soil-waste construction mix for hydraulic barriers in degraded areas**

**Abstract:** Nowadays the generation of waste construction has a negative impact on environment and is a real concern to society and so many alternatives have been proposed with the aim of providing sustainable development. In this context, the purpose of this research was a geotechnical characterization of clay soil-waste construction mix for hydraulic barriers in degraded areas. The proposed methodology combines laboratory tests like physical index, liquid limit, plastic limit, compaction, permeability and California bearing ratio with data analysis for the pure soil and the mixes, 75/25 and 50/50 of *in natura* soil and residue

---

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, tiagoluizcosta@hotmail.com

<sup>2</sup> Professora do Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, christiane@unesc.net.



respectively. The results showed that both mixtures can constitute hydraulic barrier because reached a decrease on permeability. About the California bearing ratio, the 50/50 showed a significant increase when compared with the *in natura* soil, reaching a value of 17.60%. This result can help set up complementary studies of future utilizations for this material. About the 75/25 mixture, the result was 4.83%, that was consider a closer value of the same index for the pure soil, 5.15%. About the plasticity index, 17.50% and 6.67% 50/50 for *in natura* soil and residue respectively, the observed decreased was undesirable for remediation areas that resulting from the sand portion of the residue. In general, the results demonstrated that the addition of waste construction material on soil proved to be technically feasible within the geotechnical characteristics works. This research comes up as a possibility to elucidate the capacity to implement waste construction in soils, however, additional chemical and environmental studies are of fundamental importance for the definitive proposed application.

**Key-words:** geotechnical; waterproofing; rehabilitation; environmental.

## Introdução

De acordo com Menezes; Waterkemper (2009) e Silva (2011) a matriz energética no Sul de Santa Catarina, durante muito tempo, esteve ligada à capacidade produtiva das fontes não renováveis, como a extração e beneficiamento do carvão. São inegáveis os benefícios econômicos regionais e nacionais oriundos da atividade, contudo passivos ambientais foram gerados em decorrência do processo (RAVAZZOLI, 2013).

O processamento mineral tem como objetivo separar o minério do resíduo. Segundo Amaral *et al.* (2011) tanto o estéril, material removido para alcançar o minério, quanto o rejeito oriundo da usina, foram, ao longo do tempo, acondicionados em áreas de bota-fora, formando pilhas de material contaminante a céu aberto. A exposição das pilhas a intempéries gera efeitos nocivos devido a oxidação de minerais sulfetados como a pirita ( $\text{FeS}_2$ ), ocasionando acidificação das águas pela formação do ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), favorecendo a solubilização de metais e contaminação dos recursos hídricos e solo (MARTINS, 2005; SILVA, 2011; RAVAZZOLI, 2013).

Com base no contexto ambiental acima, muitas empresas mineradoras da região foram condenadas por meio da Ação Civil Pública: 2000.72.04.002543-9 a recuperar os passivos ambientais oriundos da atividade, incluindo uma solução para a problemática dos depósitos (BRASIL, 2017). Conforme Franco e Marimon (2009), várias empresas optaram pela aplicação

do sistema de cobertura seca associado ao encapsulamento para obter o isolamento hídrico do material. O sistema de cobertura seca com barreira hidráulica consiste no uso de camada de solo de baixa permeabilidade visando evitar ou minimizar o ingresso água para o interior do material reativo. Tal processo prevê a redução da geração de drenagem ácida de mina (DAM) (MENDES, 2003; SOARES; SANTOS; POSSA, 2008).

Conforme Mendes (2003) a efetivação da camada de cobertura seca se dá com a formação do revestimento com solo constituído de camada de proteção mecânica e de barreira hidráulica, com diferentes espessuras, propriedades e permeabilidades. Habitualmente é utilizado material argiloso. A aplicação de argila para fins de reabilitação vem sendo cada vez mais discutida pelas partes, tendo em vista a redução da disponibilidade do bem mineral e os impactos ambientais gerados na extração, fazendo crescer a procura por materiais e técnicas alternativas.

De encontro a essa necessidade de materiais alternativos, é observado no setor da construção civil a oportunidade de aplicação do sistema de produção mais limpa (P+L). O sistema se mostra relevante, uma vez que possui enfoque na etapa organizacional de reciclagem dos resíduos e reaproveitamento (OLIVEIRA NETO et al., 2015).

A construção civil gera significativa quantidade de resíduos, denominados resíduos sólidos da construção civil (RCC) ou resíduos da construção e demolição (RCD). As “[...] diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil” são estabelecidos na CONAMA n° 307 de 2002 e CONAMA 448 de 2012, indicando que não se pode descartar tal material de forma aleatória, irregular, ou em aterros sanitários antes da devida segregação, transbordo e triagem a usinas especializadas (BRASIL, 2002, p.1; BRASIL, 2012; BOSCOV, 2012).

Conforme o art. 3° da CONAMA 307/2002, os RCC são classificados em quatro classes. A classe denominada “A”, será aplicada nesse trabalho, por representar os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, provenientes do enquadramento disposto na legislação no parágrafo I (BRASIL, 2002, p. 2).



Pelo enquadramento da NBR nº 10.004/2004, referente a classificação de resíduos sólidos, as classes de RCC descritas acima são consideradas inertes (BOSCOV, 2012). Representam materiais oriundos de usina reciclagem de resíduos da construção civil.

Com o conhecimento da causa, cabe a compreensão de alguns conceitos relevantes a pesquisa, como a definição de solo. Segundo Caputo; Caputo e Rodrigues (2015), o solo é definido como um aglomerado da decomposição de rochas, podendo ser escavado sem uso de explosivos e empregados em materiais de construção ou em suporte de estruturas. O solo aplicado tem como origem geológica a Formação Palermo, que segundo Filho, Krebs, Giffonia (2006, p.80), são caracterizados como “siltitos cinza-amarelos, com intensa bioturbação e raras lentes de arenitos finos a conglomeráticos, aflorantes na região sudeste de Santa Catarina.”

Neste caso são citados os índices físicos como o peso específico ( $\gamma$ ), resultado da relação peso volume do material e, o teor de umidade ótima ( $\omega_{ot}$ ), que indica relação entre o peso de água e o peso seco da amostra, a fim de determinar a umidade presente em porcentagem, por exemplo (PINTO, 2001; CAPUTO, CAPUTO, RODRIGUES, 2015; SANTOS, 2015).

Além dos índices físicos, serão abordados os índices de consistência. Para Das (2007), conhecendo a variação de teores de umidade no solo é possível estabelecer alguns dos seus comportamentos. Os índices de consistência de interesse para o estudo são limite de plasticidade (LP) e limite de liquidez (LL), que constituem os limites de Atterberg. A obtenção dos limites de Atterberg é um dado importante para o processo de compactação, pois está relacionado com a umidade. (PINTO, 2001; CAPUTO, 2013).

A compactação além de melhorar a resistência, atua na permeabilidade (k), fator de grande relevância por implicar no objetivo da pesquisa, a barreira hidráulica, interferindo no fluxo de água da camada (SOARES; SANTOS; POSSA, 2008). A barreira hidráulica representa uma camada de espessura variável, com função de impedir a passagem de água para o material carbonoso, evitando assim a geração de DAM, ou reduzindo essa por menor disponibilidade de um dos gatilhos (PINTO, 2001; CAPUTO, 2013).

Além da compactação do solo, a condição de expansão da mistura é de grande relevância. Para isso são considerados os ensaios denominados expansão e Índice de Suporte

Califórnia (ISC), referente a resistência a penetração solo, também entendido como capacidade de suporte (DAS, 2007; CAPUTO, 2013).

Considerando as exposições acima e a problemática proposta, o objetivo desta pesquisa é obter material adequado para aplicação como cobertura seca, diretamente como barreira hidráulica, ou de proteção mecânica, atendendo critérios de reabilitação de áreas degradadas da mineração de carvão, estabelecidos na ação e nas boas práticas de engenharia. Secundariamente, também é objetivo elucidar as condições de permeabilidade do solo puro e das misturas solo e resíduo da construção civil de 75/25 e 50/50, respectivamente, além das variações de comportamento quanto às suas propriedades mecânicas.

### **Materiais e métodos**

O material empregado na pesquisa, se trata de solo residual da Formação Palermo, localizado na região sul do município de Criciúma/SC. O material é constituído por um solo argiloso, de coloração amarelada. O ponto de coleta, localizado no pátio do IPARQUE – UNESC, possui coordenadas UTM (SIRGAS 2000 22J) E: 685.500 m e N: 6.820.745 m (Figura 1). A coleta do material se deu com o uso de pá. Posteriormente foi seco, destorroado e peneirado.



Figura 1. Vista do solo *in natura* coletado para as amostras

Além do solo, também foi utilizado resíduo da construção civil oriundo de usina de reciclagem de resíduos da construção situada em Criciúma. O material se trata de um resíduo classe “A” que é segregado, britado e peneirado, sendo fornecido em granulometria de areia ou menor. O volume coletado foi de, aproximadamente, 0,12 m<sup>3</sup>.

De posse do RCC no Laboratório de Mecânica dos Solos da UNESC, inicialmente foram obtidas as curvas granulométricas a partir do ensaio de granulometria por peneiramento simples para as amostras de solo *in natura* e para o RCC. Com as curvas e os resultados do estudo de Dias (2014), foi estabelecida a proposta de mistura, denominada mistura 1, de 75% de material argiloso e 25% de RCC, ou seja, 75/25. Da comparação da permeabilidade obtida dessa amostra com a do solo *in natura*, uma nova mistura (mistura 2) com adição de 50% de RCC ao solo *in natura* foi sugerida, ou seja, 50/50.

Os corpos de prova foram moldados no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação (LMS) da UNESC. O fluxograma dos processos está apresentado na Figura 3. Os ensaios foram realizados em duplicatas e, contemplaram determinação de índices físicos e de consistência, compactação (Figura 2), CBR, expansão e permeabilidade com carga variável, devido a granulometria predominantemente fina. Quanto aos ensaios de permeabilidade, vale ressaltar que estes foram realizados, também em duplicatas, parte no LMS UNESC e parte no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais do FIESC/SENAI. Nos ensaios foram aplicadas normas técnicas conforme Tabela 1.



Figura 2. Amostra de corpo de prova moldado em ensaio compactação na energia Proctor Intermediária.

A representatividade estatística foi avaliada por meio da média, aplicando estas para avaliar e concluir sobre o estudo. De posse dos resultados foi possível tecer comentários sobre a possibilidade de aplicação das misturas frente aos parâmetros avaliados, elencando pontos positivos e negativos decorrentes da sua aplicação como constituinte da barreira hidráulica.

Tabela 1. Lista de normas aplicadas aos ensaios (Fonte: ABNT, 2018)

Norma/Resolução	Descrição
NBR nº 6457 de 2016	Amostras de solo – Preparação para ensaio de compactação e ensaio de caracterização
NBR nº 7181 de 2018	Solo – Análise granulométrica
NBR nº 6459 de 2016	Solo - Determinação limite de liquidez
NBR nº 7180 de 2016	Solo - Determinação limite de plasticidade
NBR nº 7182 de 2016	Solo - Ensaio de compactação
NBR nº 9895 de 2017	Solo - Índice de suporte Califórnia
NBR nº 14545 de 2000	Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solo argiloso com carga variável

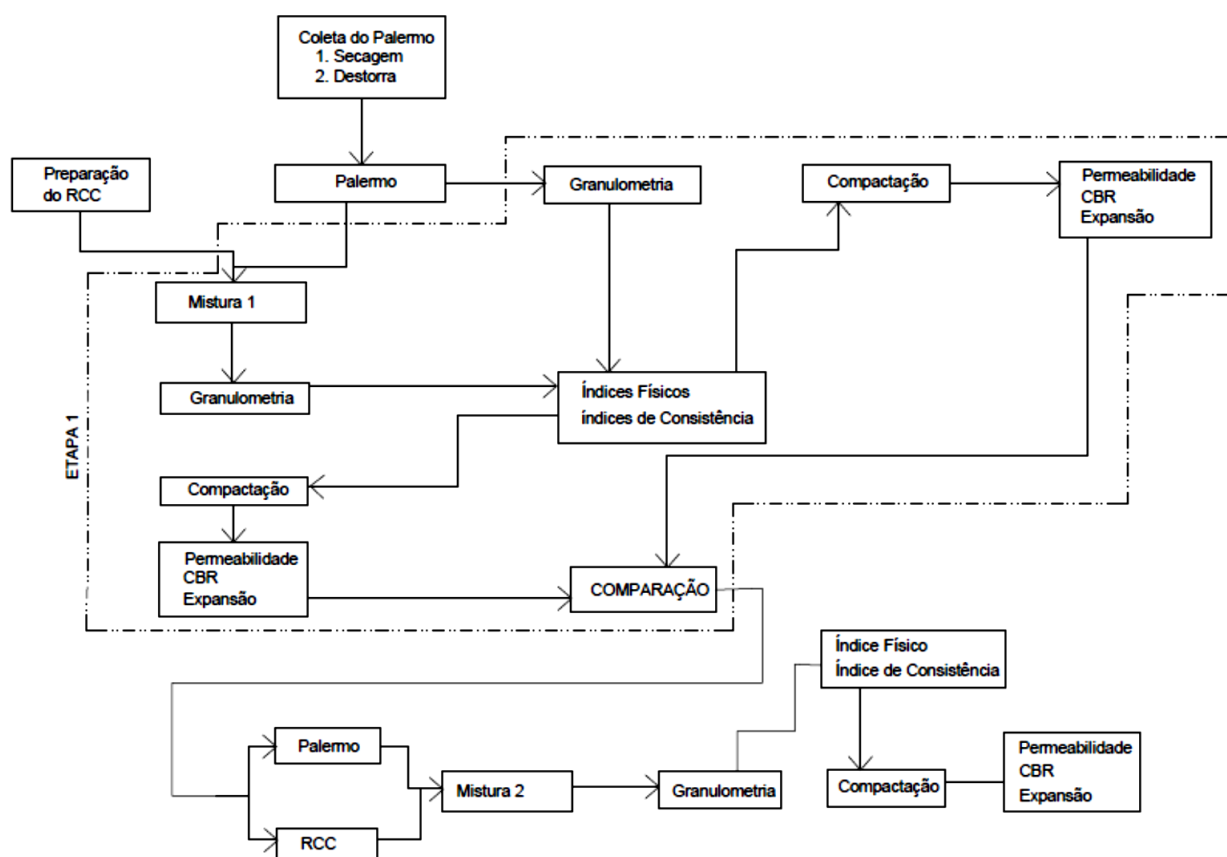


Figura 3. Fluxograma dos procedimentos descritos na metodologia do trabalho

## Resultados e discussões

A compreensão dos resultados de permeabilidade para a condição do solo natural da Formação Geológica Palermo frente a permeabilidade obtida com as misturas, propiciou a escolha e o discernimento quanto a capacidade de incremento de RCC beneficiar a construção da camada com o objetivo de barreira hidráulica.

Os resultados obtidos nos ensaios para permeabilidade, moldados na energia de compactação Proctor Intermediária, das amostragens realizadas podem ser observados na Tabela 2. Para o solo *in natura*, foi obtido coeficiente de condutividade hidráulica ( $k$ ) na ordem de  $2,16 \times 10^{-6} \text{ cm s}^{-1}$ , enquanto que, para a mistura 01 (75/25),  $1,685 \times 10^{-6} \text{ cm s}^{-1}$  e para 50/50,  $4,84 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$ . Como padrão foi observado que as misturas mostraram decréscimo na permeabilidade, contudo pouco expressivo com adição de 25% de RCC. Na porcentagem 50/50 houve redução expressiva na permeabilidade ao menos uma ordem de grandeza menor que a registrada para a natural. Com base nos dados, houve, de modo geral, um decréscimo na permeabilidade mediante o incremento de RCC. Vale salientar que valores na ordem de  $10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$  para solos são considerados praticamente impermeável (BACK et al., 2015).

Tabela 2. Resultados obtidos no ensaio de permeabilidade, considerando a densidade de compactação

Parâmetro	solo <i>in natura</i>	75/25	50/50
Coeficiente de Permeabilidade ( $\text{cm s}^{-1}$ )	$2,160 \times 10^{-6}$	$1,685 \times 10^{-6}$	$4,84 \times 10^{-7}$
Densidade máxima seca ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	1,451	1,547	1,613

A redução da permeabilidade, como explicitado ao longo do referencial, está relacionada à capacidade de reduzir o número de vazios presentes em uma amostra. Esta situação está, possivelmente, ligada a consequências da composição do RCC. Tal material, apesar de possuir granulometria predominante na fração areia, apresenta, em sua composição, quantidades significativas de massa cimentícia e partículas de outros constituintes da classe. Estes materiais, quando expostos em condições de compactação, não possuem resistência tão elevada, ou seja, podem se fragmentar com os golpes ao longo do ensaio ou por equipamentos

em campo. Deste modo, sua granulometria diminui, ocasionando alteração em suas propriedades mecânicas e, conseqüentemente, hidráulicas.

A redução ou manutenção na ordem de grandeza da permeabilidade das composições com o incremento de RCC por si só, demonstra a capacidade positiva do uso do resíduo conforme proposto, tendo em vista que atendeu ao principal objetivo. Desta forma, de acordo com o parâmetro de permeabilidade, a mistura se mostra como uma alternativa ao uso exclusivo de materiais argilosos como barreira hidráulica eficiente. Contudo, outros parâmetros como CBR, compactação, expansão e índice de plasticidade são importantes para que seja verificado se o incremento de RCC não resulta em prejuízos geotécnicos na camada a longo prazo, no uso futuro da remediação diante da contaminação ambiental, parâmetros de desenvolvimento vegetacional ou de formação de solo na visão agrônômica e de sustentação de regeneração.

As curvas de distribuição granulométrica para os materiais propostos estão apresentadas na Figura 4. A granulometria do solo *in natura* apresentou predominância de material fino (silte e argila) na porcentagem de 97,22%, enquanto que o RCC apresentou areia como fração granulométrica predominante, sendo 56,46% areia grossa e 25,81% areia média. A mistura 1 (75/25) registrou granulometria composta por fração de finos em 65,43%, de areia grossa com 15,18% e areia média na quantia de 11,01%. Já a mistura 2 apresentou 41,73% de finos, 26,16% de areia grossa e 17,86% de areia média. Com o incremento de RCC foi constatada a elevação da fração areia chegando a condição de inversão da fração predominante de argilosa para arenosa na mistura 2 (50/50).

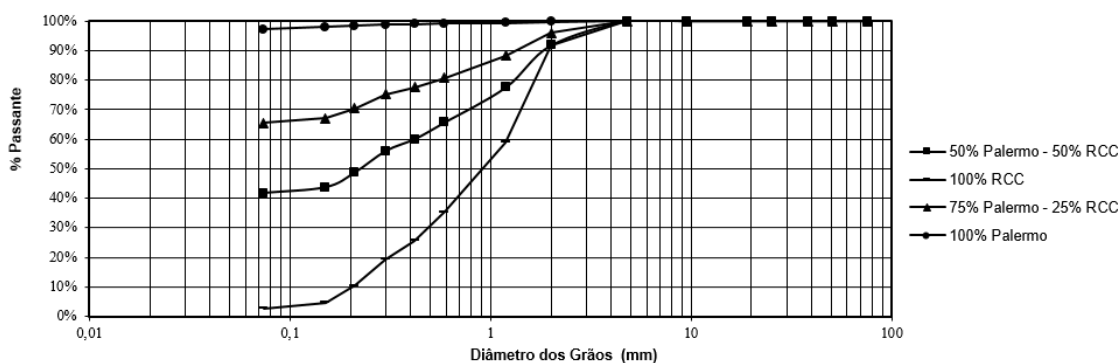


Figura 4. Curvas de distribuição granulométrica

Outros parâmetros foram avaliados na pesquisa, iniciando pelo IP (Tabela 3). O *solo in natura* obteve LL e LP respectivamente de 62,50 e 45,00% o que equivale a um IP de 17,50%, sendo este 0,83% inferior em relação ao valor observado na mistura 1. Os valores de LL e LP para a mistura 1 foram de 48,00 e 29,67%, respectivamente. Na mistura 2, os resultados apresentaram IP de 6,67%, registrando uma redução expressiva de 11,66% em relação a mistura 1. O incremento de RCC na mistura 2 resultou em uma redução no IP superior em quase três vezes ao valor da mistura 1, apesar das variações ocorridas entre LL e LP nas misturas.

A redução no IP era esperada tendo em vista que o incremento de RCC ocasionou alteração granulométrica na composição da amostra, resultando em uma fração areia maior do que a observada inicialmente. Esta situação, que naturalmente rege um comportamento menos plástico, é influenciada por constituintes da massa de concreto como, a sílica (SiO<sub>2</sub>) e detritos de blocos cerâmicos, presente no RCC classe “A”, reduzindo, conseqüentemente, a trabalhabilidade da composição.

Na mistura 2 o IP foi definido como baixo, enquanto que, na mistura 1, permaneceu com plasticidade média. Deste modo, temos que o incremento de 25% de RCC não correspondeu a uma alteração significativa do índice indicado no solo natural (DAS,2007).

Tabela 3. Comparativo dos resultados para índices de consistência e classificação dos solos

Parâmetro	<i>solo in natura</i>	75/25	50/50
LL (%)	62,50	48,00	40,67
LP(%)	45,00	29,67	34,00
IP(%)	17,50	18,33	6,67
Classificação HRB	A 7-5	A 7-6	A 5

Na construção da barreira hidráulica em remediação ambiental, a baixa plasticidade compromete a capacidade do material em ser moldado e modelado para o fim de composição da topografia final da área, assim como de se manter coeso e homogêneo. Como benefício é possível citar a redução da retração por ressecamento, atenuando parcialmente um problema comum que traz fissuras superficiais no solo e pontos de fragilidade para o isolamento (RESTREPO, 2015).

A classificação do solo HRB, confirmou essa condição de redução do índice de plasticidade. A mistura 2 (50/50) foi classificada como A5, se caracterizando em direção a um

modelo de solo tendendo a condição arenosa. Essa situação desmotivou tentativas de mistura com maiores porcentagens de RCC, tendo em vista que a tendência seria trabalhar com solos não mais considerados argilosos para a barreira hidráulica. Para incrementos maiores que 50% de RCC são recomendados estudos quanto a condição de trabalhabilidade do material para revestimento, sendo possível relativa mudança na plasticidade. Ainda com relação ao HRB, a mistura 1 (75/25) apresentou classificação A7-6, ou seja, um material mais argiloso que a mistura 2.

A compactação com energia de Proctor Intermediário para o solo *in natura* resultou em uma densidade máxima seca média de  $1,451 \text{ g cm}^{-3}$ . Este valor é inferior tanto a mistura 1 quanto a mistura 2, cujos valores foram  $1,547$  e  $1,613 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente. O aumento da densidade das misturas em relação ao solo pode ser atribuído ao aumento do percentual de fração de areia trazido pelo incremento de RCC, mostrando correlação com a porcentagem desse na amostra (LUCIANO et al.,2012).

Os limites de Atterberg relacionados com a quantidade de água na amostra e sua umidade, são considerados como parâmetros relevantes no processo de compactação. A relação da umidade ótima se mostrou alterada, tendo em vista que o solo *in natura* apresentou valor de 25,35%, sendo este 2,82% superior ao da mistura 1. Para a mistura 2 a umidade ótima caiu 5,45% quando comparada com o solo puro. Os resultados referentes aos ensaios de compactação, CBR e expansão estão apresentados na Tabela 4. Considerando as observações e Luciano *et al.* (2012) a relação demonstraram que, dobrando a quantidade de RCC na amostra, a umidade ótima reduz, uma redução de um décimo no caso (Tabela 04), indicando a influência da nova composição.

O aumento da densidade seca e a redução da umidade ótima podem ser atribuídas ao entendimento semelhante ao encontrado por Mentges *et al.* (2007), que reforça a hipótese formulada nesse estudo da variação decorrente da adição da fração areia no solo. O autor cita que a argila por ser mais reativa, devido a maior capacidade de troca de cátions, interage mais com a água reduzindo seu efeito lubrificante entre partículas minerais, resultando em maior coesão e diminuindo a susceptibilidade à compactação do solo. Desta forma, foi possível

compreender que o comportamento das misturas apresenta um resultado mais expressivo de compactação quando comparado com a formação sem aditivo de RCC.

Tabela 4. Comparativo dos resultados de compactação, Índice de Suporte Califórnia e expansão

Parâmetro	solo <i>in natura</i>	75/25	50/50
Peso específico seco (g cm <sup>-3</sup> )	1,451	1,547	1,613
Umidade ótima (%)	25,35	22,53	19,90
CBR (%)	5,15	4,83	17,60
Expansão (%)	5,52	3,97	1,87

O uso futuro no quesito remediação ambiental se mostrou preponderante para a manutenção das medidas implantadas, considerando que detém característica na composição que em geral não comprometam, chegando a beneficiar em determinadas condições pontos fortes já verificados quando para o solo *in natura*.

A expansão obtida para o solo puro, de 5,52%, apresentou valor elevado em relação as misturas. Deste modo, as combinações das misturas mostraram uma redução na expansão, com valores de 3,97 e 1,87% para 75/25 e 50/50, respectivamente. A alteração na expansão está associada com a redução de argila na amostra, correlacionada ao comportamento diferenciado do RCC, que possui menor expansão dos cátions trocáveis comparado com a argila quando hidratada (OLIVEIRA, 2008).

Valores de expansão baixos são prejudiciais para remediação ambiental considerando a capacidade de expandir, fechando vazios e cobrindo maiores porções a fim de impermeabilização.

O CBR variou com relação a fração areia e a mudança de comportamento da amostra passando de argiloso para arenosa, como visto na classificação HRB. Neste sentido, foi observado que os valores registrados para o solo *in natura* e para a mistura 1 reduziram de 5,15 em 0,32% com incremento de RCC, apesar de manter os valores de CBR próximos entre si. Tal fato indicou que 25% de RCC não resultou no aumento da característica da capacidade suporte, situação que, com a característica mais arenosa da mistura 50/50, elevou o valor em 12,45%. A elevação no valor do CBR indica uma maior capacidade para implementação dos usos futuros



variados, possíveis nos projetos de remediação de áreas degradadas, problema recorrente com a urbanização de entorno as áreas.

## **Conclusões**

Com base nos resultados foi observado que o comportamento do solo, passando de argiloso para areno-argiloso, possui ganhos na impermeabilização da barreira hidráulica. Esta condição ocorre devido a redução dos valores de permeabilidade gradativamente com o incremento de RCC. Foi também observada uma redução no índice de plasticidade na mistura 2 devido a adição da fração areia, incluindo componentes como sílica e detritos de bloco cerâmico. No entanto, apesar dessa condição, a adição de 25% de RCC não resulta em mudança no índice de plasticidade, correspondendo a pequenas alterações se considerado a representatividade da porcentagem na amostra. O incremento de RCC no solo argiloso resulta em alterações como aumento do peso específico seco, redução da umidade ótima, da expansão e aumento do CBR.

De forma geral, a aplicação de RCC como aditivo em solo residual da Formação Geológica Palermo se mostra positiva, melhorando características pertinentes aos objetivos da aplicação de cobertura seca por barreira hidráulica. Mediante os resultados observados foi possível concluir que o comportamento da mistura 1 manteve características geotécnicas primordiais do solo puro. Essa situação foi ainda melhorada com a adição de 50% de RCC ao solo, pois, além de melhorar características como permeabilidade, mostrou ganhos relacionados a possibilidade de uso futuro com o aumento do CBR.

Para garantir a viabilidade técnica desta pesquisa, são recomendados estudos adicionais quanto aos parâmetros de resistência do solo, no caso de aplicação em taludes. É também recomendada a caracterização do material frente a NBR n° 10.004/2004 e CONAMA n° 420/2009 e 460/2013, a fim de evitar que o material utilizado para cobertura venha a contribuir de qualquer forma para a formação de um novo sítio contaminado. Além dessas não se pode desconsiderar a Resolução Consema n° 98/ 2017 no seu art. 2°, CONAMA n° 369/2008 e CONAMA 357/2005, ou outras que venham a ser pertinentes nesse contexto.



Ainda deve-se realizar estudos para caracterizar e verificar devido a maior quantidade de RCC, condições de inibição no desenvolvimento das espécies vegetais, se aplicado tal material para a camada acima da barreira hidráulica.

É, também, recomendação ao estudo, a devida avaliação do material oriundo da usina de reciclagem a fim de garantir materiais de fato classe “A”. A análise da composição química do RCC se mostra determinante para o melhor entendimento das reações químicas que podem resultar em alterações na propriedade física da amostra e, conseqüentemente, nas características em condições específicas para uso nas obras.

Quanto aos ganhos ambientais, os benefícios do incremento do RCC na aplicação das composições são visíveis, pois pode reduzir em 50% o uso do nobre mineral, argiloso. Esta condição também reduz impactos no jazidamento e beneficia gerações futuras, associado a política de reaproveitamento dos resíduos gerados. Por fim, a proposta se mostrou como uma alternativa econômica e ambiental para dois importantes setores da região sul de Santa Catarina, o de construção civil e o de remediação de áreas degradadas pela mineração de carvão.

## Referências

AMARAL, José E *et al.* **Mitigação ambiental de áreas degradadas pela mineração de carvão em Santa Catarina.** Gramado: CPRM, 2011, p. 1-10.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 3080-03: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions.** ASTM, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável.** Rio de Janeiro: ABNT, 2000, 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Resíduo sólidos: classificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 48 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Amostra de solo – Preparação de ensaio de compactação e caracterização.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016, 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo – Determina o limite de plasticidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016, 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016, 6 p.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo - ensaio de compactação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016, 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo: Índice de suporte Califórnia método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017, 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018, 12 p.

BACK, Marcos *et al.* **Avaliação da eficiência da cobertura seca na redução da infiltração de água e na redução da difusão de oxigênio dissolvido em projeto de recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão**. Criciúma: UNESC, 2015, p. 12.

BOSCOV, Maria E. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012, 247 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA n° 307 de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil**. Publicado no D.O.U N° 136, Poder Executivo, Brasília, de 17/07/2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 07 set. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA n° 448 de 18 de janeiro de 2012. **Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução n° 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Publicado no D.O.U N° 14, Poder Executivo, Brasília, de 19/01/2012. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>>.. Acesso em 08 set. 2017.

BRASIL. JUSTIÇA FEDERAL 4ª Região. Histórico da Ação Civil Pública. **Portal Ação Civil Pública do Carvão**. Disponível em: [https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo\\_portal/conteudo.php?cat=111](https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=111). Acessado em 17 de agosto de 2017.

BUTTLER, Alexandre *et al.* Reciclagem de matérias de construção. **téchne**. São Paulo, n. 152, nov de 2009. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/152/artigo286651-1.aspx>. Acessado em 07 de setembro de 2017.

CAPUTO, Homero. **Mecânica dos solos e suas aplicações: volume 01**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1980, p. 60-67.

CAPUTO, Homero. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013, p. 25 – 189.

CAPUTO, Homero; CAPUTO, Armando; RODRIGUES, José M. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015, p 28 -62.

CHAVES, Artur; PERES, Antônio. **Teoria e Prática de tratamento de minério: britagem, peneiramento e moagem**. São Paulo: Signus Editora, 2003, p. 563 – 638.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Thomson, p. 50 - 90, 2007.



- DIAS, Mônica. **Viabilidade de uso de solo tropical e resíduo de construção civil em sistema de cobertura de aterro sanitário**. Dissertação de Mestrado. Goiânia – GO: UFG, 2014, p.100.
- FILHO, Vitorio O.; KREBS, Antônio S.; GIFFONI, Luís E. Coluna White, Serra do Rio do Rastro, SC: Seção Geológica Clássica do Continente Gondwana no Brasil. **SIGEP**,[S.I], n. 24, p 70 – 85, 2006.
- FRANCO, Ana; MARIMON, Maria. Tecnologia de reprodução de áreas degradadas pela mineração de carvão e uso futuro do solo. In: **Encontro de Geografo da América Latina**. 12, Montividéu. Anais. Montevideu: EGAL, 2009, 15 p.
- KORMANN, Alessandro. **Ensaio de Compactação e caracterização**. Curitiba: UFP, 1997, p. 29.
- LUCIANO, Rodrigo et al. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. **Revista Bras. Ciências do Solo**. v. 36, n. 6, 2012, p. 1733 – 1744.
- MASSAD, Façal. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. São Paulo: Oficina de texto, 2003, p. 54-59.
- MARTINS, Rafael. **Florística, estrutura fitossociológica e interações interespecíficas de um remanescente de floresta ombrófila densa como subsídio para a recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão, Siderópolis, SC**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: UFSC, 2005, p. 8-17.
- MENDES, Marcos F. **Materiais e métodos empregados na avaliação da eficiência de cobertura seca sobre depósito de rejeito de carvão**. Trabalho de conclusão de curso. Criciúma: UNESC, 2003, p.15-26.
- MENEZES, Carlyle T. B; WATERKEMPER, Katia. Evolução dos processos de degradação ambiental resultante da mineração de carvão em Santa Catarina de 1930 – 1973. In: MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson, CITADINI-ZANETTE, Vanilde. **Mineração de Carvão Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável no Sul de Santa Catarina, uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba, PR: Juruá Editora, 2009, p. 205-215.
- MENTGES, M. et al. Densidade máxima pelo ensaio de proctor normal para seis solos em diferentes manejos e sua relação com o teste de compressão uniaxial. In: **Congresso brasileiro de ciências do solo**. Gramado-RS, 2007, p. 96.
- OLIVEIRA NETO; Geraldo C. *et al*. Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas brasileiras. **Gest. Prod.** v.22, n.2, p.325, 2015.
- OLIVEIRA, Milena. **Avaliação dos inibidores de controle do inchamento dos argilominerais utilizando difração de raio x**. Dissertação de Mestrado. UFRJ: Rio de Janeiro – RJ, 2008, p. 94.
- PINTO, Carlos S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de texto, 2001, 247 p.



RAVAZZOLI, Claudia. A problemática Ambiental do Carvão em Santa Catarina: Sua evolução até os termos de Ajustamento de Conduta Vigente entre os Anos de 2005 e 2010. **e-revista**. V. 6, N. 1, p. 179-201, semestral, 2013.

RESPRETO, Didier Antonio Gutiérrez. **Análise do processo de ressecamento em Misturas de resíduos de construção civil (rcc) e bentonita para aplicação em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, 2015. 129 p.

RIBEIRO, Manoel; ABRANTES, João C. et al. Moagem em moinho de bolas: estudo de algumas variáveis e otimização energética do processo. **Cerâmica Industrial**, v 6, n 2, p. 7-11, março/abril, 2001.

SANTOS, Roberto A. **Comportamento anisotrópico de um solo laterítico compactado**. Dissertação de Mestrado. São Carlos: USP, 2015, p 25-30.

SENÇO, Walstermiler. **Pavimentação**. 2 ed. São Paulo: Fancet Publication, 1979, p. 108.

SILVA, Tiago L C. **Avaliação de risco à saúde humana considerando os metais presentes em corpos d'água situadas nas proximidades do rio Sangão, Forquilha**. Trabalho de conclusão de curso. Criciúma-SC:UNESC, 2011, 215 p.

SOARES, Paulo Sérgio Moreira (Ed.); SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 300p.

TORRES. **Torres geotécnia: CBR**. Disponível em: <http://www.torresgeotecnia.com.br/portfolio-view/cbr-idade-suporte-california/>. Acessado em 03/09/2017.

VIEIRA, C; PINHEIRO, R. Avaliação das argilas caulínicas de campo dos Goytatazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. In: **Cerâmica**. São Paulo – SP, n. 343, 2011, p. 319 a 323.