

Efeitos da adição de RCDs com diferentes granulometrias no índice de suporte californiano de um solo típico de Rio Verde-GO.

Ingridy Caroline Sousa Cunha¹, Victor Scartezini Terra²

Resumo

A construção civil traz inúmeros benefícios ao país, gerando empregos e alavancando o desenvolvimento e economia. Em contrapartida, produz alta quantidade de resíduos que, na maioria das vezes, são descartados, incorretamente, além de consumir alta quantidade de recursos naturais. Um dos recursos mais importantes da construção civil é o solo, e muitos deles não têm as características necessárias para serem utilizados, naturalmente. O presente trabalho tem o propósito de apresentar uma solução para aproveitar os resíduos de bloco de concreto gerados em canteiros de obras em misturas solo-RCD. Foram realizados ensaios de caracterização do solo, compactação, expansão e CBR. Os teores de substituição em massa de RCD adotados foram os seguintes: 15%, 30% e 50%. Foram analisadas também a influência da granulometria do RCD utilizado nos valores de CBR e expansão. Os resultados obtidos mostraram que, para todas as adições de RCD, houve aumento de CBR, comprovando-se que é, tecnicamente, viável a utilização de resíduos da construção e demolição para obras de terraplenagem. Conclui-se que entre as granulometrias analisadas, a adição de RCD grosso atingiu os melhores resultados de CBR, além de apresentar comportamento conforme o esperado para os demais ensaios realizados.

Palavras-chave: Resíduos de Construção e Demolição. Terraplenagem. Reforço do Solo. Reaproveitamento.

1. Introdução

O ritmo acelerado da urbanização gera uma grande demanda na construção civil, tanto no setor público, quanto no setor privado. Essa situação é um bom sinal para a economia mundial, visto que a construção civil é uma importante atividade para o crescimento econômico, pois gera empregos e fornece infraestrutura. De acordo com Nagalli (2014), 15% do produto interno bruto (PIB) brasileiro referem-se ao setor da construção civil. O crescimento do setor da construção civil impacta, diretamente, em outros setores ligados à construção, como o mercado de matérias primas (cimento e agregados), ferramentas/equipamentos e máquinas pesadas.

Conseqüentemente, com o desenvolvimento desse mercado, passou-se a gerar mais resíduos provenientes das atividades de construção e demolição. De acordo com Morand (2016), cerca de 60% dos resíduos sólidos são provenientes da construção civil, e até 70% desse material poderia ser reaproveitado, evitando, assim, o desperdício de cerca de 8

¹ Ingridycaroline1@hotmail.com, Graduando, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

² victorzini@gmail.com, Mestre, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

bilhões de reais, valor aproximado de gastos referentes a material não reciclado. Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Especiais declararam que houve um aumento de 4,6%, do ano de 2012 para o ano de 2013, de RCD recolhidos nos municípios brasileiros, passando a ser 0,584Kg/hab/dia.

O desperdício é um dos fatores mais impactantes no custo da obra, visto que, na maioria das vezes, esse valor não está previsto e pode ser minimizado. Ações simples, como treinamento adequado dos funcionários sobre o uso e aplicação dos materiais e a gestão da logística de materiais podem diminuir, de forma significativa, o descarte de insumos que poderiam ser aproveitados.

Diante desse desperdício, faz-se necessário um local para descarte desse material, o que gera um problema ambiental, pois a maioria das cidades brasileiras não conta com local apropriado, sendo esse descartado de forma incorreta, se tornando prejudicial até para a saúde pública (MACEDO; LAFAYETTE, 2009). A resolução CONAMA Nº 307 estabelece as seguintes diretrizes para gerenciamento de resíduos:

“Gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010; *(nova redação dada pela Resolução 448/12)*” (BRASIL, 2002).

Além disso, a construção civil é responsável pelo consumo de grande quantidade de recursos naturais. De acordo com Santos (2007), tanto no meio urbano, quanto no meio natural, a construção civil se destaca entre as indústrias que mais deterioram o meio ambiente, chegando ao percentual de 20 e 50% da totalidade dos recursos empregues pela sociedade. Assim sendo, nota-se que aumenta, progressivamente, a dificuldade para encontrar esses recursos pelo fato de estarem entrando em escassez (Silveira, 2010).

Diante dessa situação, passou-se a estudar novas aplicações para os resíduos da construção civil, visando solucionar ou, ao menos, minimizar a situação. Segundo Morand (2016), o resíduo da construção e demolição (RCD) pode ser aplicado em diversas áreas, sendo as principais: pavimentação, agregado para concreto e agregado para argamassa. Ainda segundo Morand (2016), o RCD apresenta as seguintes vantagens, quando usado como agregado para concreto: substitui os agregados convencionais, diminui o consumo de cimento, também contribui para a economia de energia no procedimento de moagem e

aproveita todos os componentes minerais do entulho. Para as argamassas, uma das principais vantagens é a eliminação dos gastos com transportes, visto que o entulho aplicado é gerado no próprio local da aplicação, além de diminuir as despesas com cal e cimento.

Em relação à adição de RCD na pavimentação, Alves *et. al* (2018) ensaiaram amostras de um solo laterítico, localizado na zona rural do município de Rio Verde com adição de dois tipos de RCD, lajota cerâmica e bloco de concreto, nas seguintes quantidades de substituição em massa: 10% e 30%. Os autores realizaram ensaios de compactação, expansão e índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR) com adição em massa de 10% e 30% de resíduos, com a compactação realizada na energia de Proctor intermediária, além de ensaios com adição em massa de 30% de resíduos, com a compactação realizada na energia de Proctor normal. Com relação aos resultados obtidos, os autores obtiveram um melhor desempenho para o ensaio com adição de 30% de RCD de bloco de concreto com Proctor intermediário, cujo CBR médio para a umidade ótima foi de 40,35%, enquanto que o CBR médio na faixa de umidade ótima do solo sem adição era de 6,55%.

Fujii (2012) defende, em sua pesquisa, a adição de resíduos da construção em camadas da pavimentação, para diminuir o emprego de materiais primários que estão escassos. O mesmo estudo coletou amostras de solo e ensaiou os mesmos materiais em estado puro e com adição de RCD (resíduos de demolição, descartando materiais indesejáveis como tinta, arame e gesso). O material RCD utilizado foi o passante na peneira #4. Foram analisadas as seguintes situações de misturas: 2/3 de solo + 1/3 RCD, a mesma quantidade de solo e resíduos com adição de 4% do peso total dessa mistura de cal virgem e de cal hidratada. Os ensaios realizados foram os de caracterização geotécnica, física, química e mineralógica. O autor concluiu que a adição de RCD é uma proposta viável, pois substitui os recursos naturais e melhora o comportamento físico e estrutural do solo, ressaltando a importância da cal virgem e hidratada para estabilização química do solo.

No contexto de estradas não pavimentadas, os autores Jimenéz *et al* (2012) avaliaram a aplicação de dois tipos de agregados reciclados em condições reais de campo em uma estrada rural sem pavimentação. Foram aplicadas duas camadas estruturais, a primeira constituída de uma camada de base e uma superfície com adição de agregados reciclados mistos e um segundo agregado reciclado conhecido como betão. A segunda camada foi constituída de calcário esmagado; vale destacar que as camadas foram aplicadas sob um excelente subleito. Houve caracterização dos materiais em laboratório, além dos ensaios de compactação. Obteve-se o resultado que a utilização de agregados reciclados é uma

alternativa em relação aos agregados naturais na construção de estradas não pavimentadas rurais, não causando impacto ambiental.

Leite (2007), em seu estudo, analisou o comportamento mecânico dos materiais reciclados para utilização deles em camadas de base e sub-base. Além dos ensaios laboratoriais, também foi feito estudo de caso de um trecho 1.020 metros da Universidade de São Paulo (USP Leste). O pavimento estudado detém, em seu arranjo, agregados reciclados; foram desenvolvidas quatro seções-tipo diferentes. Foram realizados vários ensaios laboratoriais, dentre eles: compactação e índice de suporte Califórnia. Os resultados obtidos constataram que, quando submetido à apropriada compactação, o material tem o mesmo comportamento que uma brita graduada simples.

Silveira e Borges (2016) apresenta, como meta, a reutilização dos RCC (resíduos da construção civil) no cenário atual de tecnologia. Os autores realizaram seu estudo apenas com materiais na fração miúda (passante na peneira número 4), com três amostras de solo-RCC, sendo: apenas solo, metade solo/metade RCC e 30% RCC + 70% solo. Os ensaios realizados foram: Índice de Suporte Califórnia para obtenção de características físicas e mecânicas das amostras. As conclusões obtidas foram que, de acordo com os resultados laboratoriais, a amostra de 50% solo + 50% RCC pode ser utilizada em sub-base para pavimentação.

Portanto, de acordo com as bibliografias citadas, percebe-se a relevância do tema reaproveitamento dos resíduos da construção civil, levando-se em conta que esses resíduos são um problema ambiental, a aplicação deles em obras de terraplenagem apresenta uma solução para tais problemas.

1.1. Objetivos

O objetivo do presente trabalho é avaliar, através de ensaios laboratoriais, a aplicação de resíduos de construção e demolição nos solos para fins de terraplenagem.

Além disso, apresentam-se, como objetivos específicos:

- Executar ensaios de caracterização de um solo típico de Rio Verde-GO;
- Executar ensaios de compactação e índice de suporte Califórnia para um solo típico de Rio Verde-GO e para as misturas solo-RCD;
- Avaliar os efeitos de diferentes granulometrias de RCD nos ensaios de compactação e índice de suporte Califórnia.

2. Material e métodos

2.1. Materiais utilizados na pesquisa

Para a execução dos ensaios, foi coletada uma amostra de, aproximadamente, 300kg de solo, extraídos de uma jazida localizada em Rio Verde-GO, para uso em terraplenagem em obra que se encontra no mesmo local, conforme indicado na Figura 1.

Após a coleta do solo, ele foi encaminhado ao laboratório de geotecnia da Universidade de Rio Verde. Seguindo as orientações da norma NBR 6457 (2016), que instrui a respeito da forma correta de realizar a preparação de amostras para ensaios de compactação e caracterização, as porções de solo coletadas foram preparadas.

O resíduo de construção e demolição aplicado nesse estudo foi o resíduo bloco de concreto, eles foram obtidos com o próprio fabricante do material, coletados na sede da empresa na cidade de Rio Verde-GO. O material foi levado ao laboratório de geotecnia da Universidade de Rio Verde, passando, primeiramente, pelo equipamento triturador para chegar a uma menor granulometria, e, após esse processo, ele foi triturado, manualmente, para alcançar diâmetros menores. Em seguida, o RCD foi peneirado, separando as granulometrias: grosso, médio e fino.



Figura 1 - Local da jazida usada para extração do solo empregue no presente trabalho.
Fonte: Google Earth (2019)

2.2. Programa experimental

Para a análise e estudo do solo, foram realizados os seguintes ensaios de caracterização:

- Massa específica dos grãos, conforme a norma NBR 6548 (2017);
- Análise de granulometria, conforme a norma NBR 7181 (2018);
- Limite de liquidez, conforme a norma NBR 6459 (2017);
- Limite de plasticidade, conforme a norma NBR 7180 (2016);

Para caracterização do RCD, foi realizado apenas o ensaio massa específica do RCD, conforme a norma NBR NM 52 (2009).

Além dos ensaios de caracterização, foram realizados também ensaios de compactação, expansão e CBR, de acordo com os procedimentos indicados nas normas NBR 7182 (2016) e NBR 9895 (2017), respectivamente. O ensaio de compactação foi realizado com energia intermediária por ser a mais usual para obras de pavimentação e terraplenagem.

Os teores de adição de RCD adotados nesse trabalho serão: 15%, 30% e 50% (Alves *et al*, 2018; Araujo *et al*, 2018; Silveira, 2010; Silveira e Borges 2016); distribuindo os teores para ensaio, de acordo com as seguintes combinações, totalizando 10 ensaios, conforme o quadro 1.

Os resíduos foram definidos como RCD grosso somente o retido na faixa granulométrica entre 2mm a 9,5mm; o RCD médio engloba os retidos na faixa granulométricas de 2mm a 0,425mm; o RCD fino compreendido entre 0,425mm a 0,075mm e RCD completo sendo uma mistura de 1/3 de cada granulometria (fino, médio e grosso).

Quadro 1 - Resumo dos ensaios de compactação, expansão e CBR realizados

| TRATAMENTO | COMPOSIÇÃO DO SOLO | FAIXA GRANULOMETRICA | TEOR DE ADIÇÃO DE RCD | DENOMINAÇÃO |
|------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-------------|
| 1 | Solo sem adição | - | 0% | REF |
| 2 | Solo + RCD | Completo | 15% | COM15 |
| 3 | Solo + RCD | Completo | 30% | COM30 |
| 4 | Solo + RCD | Completo | 50% | COM50 |
| 5 | Solo + RCD | Médio | 15% | MED15 |
| 6 | Solo + RCD | Médio | 30% | MED30 |
| 7 | Solo + RCD | Médio | 50% | MED50 |
| 8 | Solo + RCD | Grosso | 15% | GRO15 |
| 9 | Solo + RCD | Grosso | 30% | GRO30 |
| 10 | Solo + RCD | Grosso | 50% | GRO50 |

Fonte: Próprio Autor (2019)

3. Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização do solo estudado. Os limites de consistência, bem como a porcentagem de solo passante na peneira n° 200 para o ensaio sem defloculante, foram usados para a classificação do solo de acordo com os sistemas unificado (SUCS) e rodoviário (HRB) de classificação. De acordo com a SUCS, o solo é classificado como SP, designação que se refere às areias mal graduadas. Já de acordo com o sistema rodoviário, o solo é classificado como A2-4, classificação típica de solos granulares com baixos valores de índice de plasticidade.

Tabela 1 – Caracterização do solo ensaiado.

| ρ_s (g/cm ³) | %#200 (com defloculante) | %#200 (sem defloculante) | LL | LP | IP | Classificação | |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------|------|-----|---------------|------|
| | | | | | | SUCS | HRB |
| 2,78 | 25,7 | 3,5 | 19,5 | 15,8 | 3,7 | SP | A2-4 |

Fonte: Autores (2019).

A caracterização do RCD foi feita a partir da determinação de sua massa específica, que resultou em uma densidade de 2,801 g/cm³. A Figura 2 apresenta as curvas de distribuição granulométrica dos solos com e sem defloculante, além da distribuição granulométrica das três frações de RCD ensaiadas.

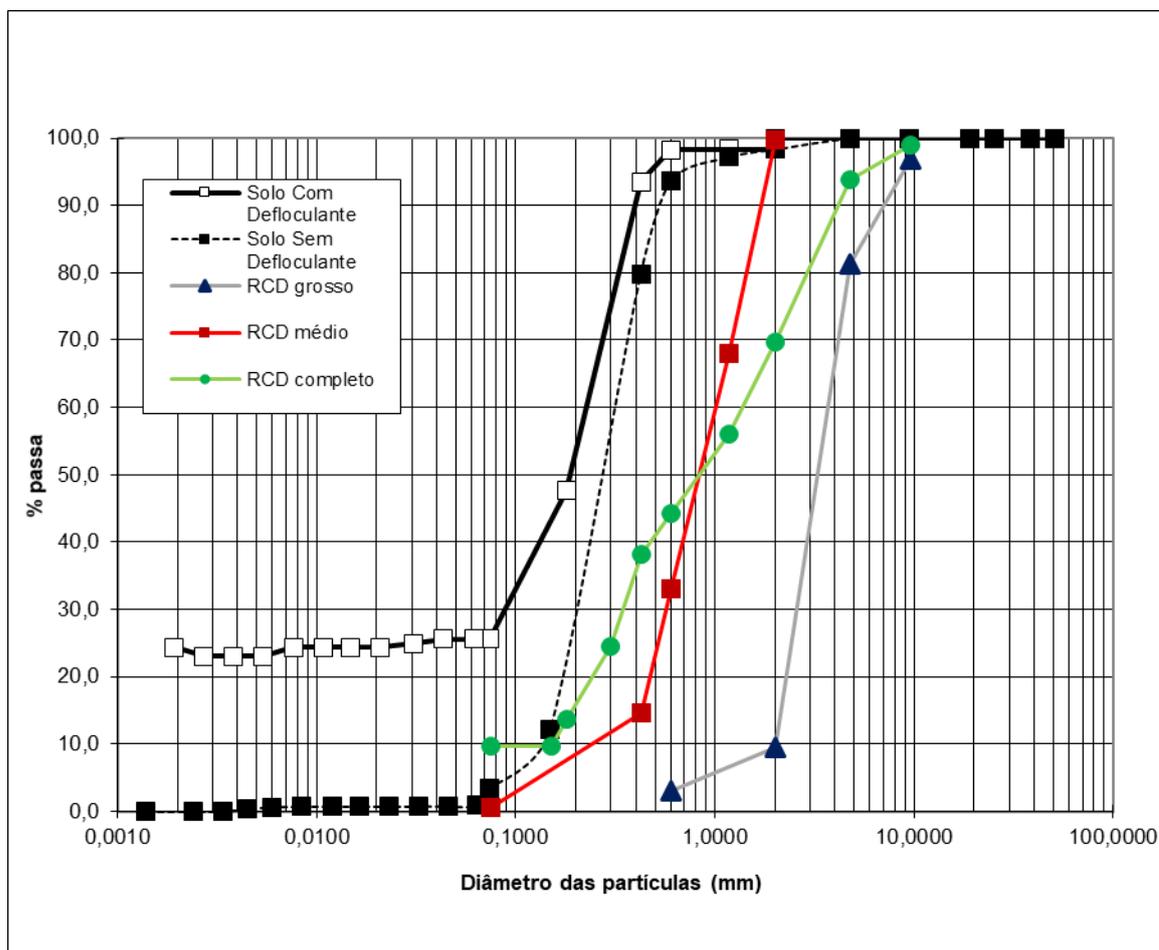


Figura 2 – Curvas de distribuição granulométrica do solo e dos RCDs utilizados no estudo.
Fonte: Autores (2019)

A Tabela 2 apresenta a caracterização das distribuições granulométricas das 3 frações de RCD utilizadas no programa experimental. Neste, observa-se que o RCD grosso e médio apresentou classificação como material uniforme, já o RCD completo classificou-se como, mediamente, uniforme. Para a classificação de graduação, nota-se que tanto o RCD grosso, quanto o completo mostrou-se como mal graduado, e o RCD médio classificou-se como bem graduado.

Tabela 2 – Caracterização RCD

| Caracterização | RCD Grosso | RCD médio | RCD completo |
|-----------------------------|--------------|--------------|---------------------|
| D50 | 3,3 | 0,8 | 0,8 |
| D10 | 2 | 0,25 | 0,15 |
| D60 | 3,8 | 1 | 1,4 |
| D30 | 2,7 | 0,6 | 0,36 |
| C _u ³ | 1,9 | 4 | 9,33 |
| Uniformidade | Uniforme | Uniforme | Mediamente uniforme |
| C _c ⁴ | 0,96 | 1,44 | 0,62 |
| Graduação | Mal graduado | Bem graduado | Mal graduado |

Fonte: Próprio Autor (2019)

A Figura 3 apresenta a relação entre teor de umidade ótima de compactação e a quantidade de RCD adicionado, nota-se que o solo com adição de RCD grosso apresentou um comportamento uniforme, conforme o esperado, uma vez que, conforme a granulometria, do solo aumenta, a tendência é que o teor de umidade ótima da curva de compactação diminua. Tal comportamento aconteceu com a adição do RCD grosso. Já os solos com adição de RCD médio e completo apresentaram comportamentos parecidos, diminuindo o teor de umidade ótima para a adição de 15% de RCD, e, depois, aumentando o teor de umidade ótima tanto para o teor de 30% quanto para o teor de 50% de adição de RCD.

³ Coeficiente de uniformidade do solo, definido como D_{60}/D_{10}

⁴ Coeficiente de curvatura do solo, definido como $D_{30}^2/(D_{10} \cdot D_{60})$.

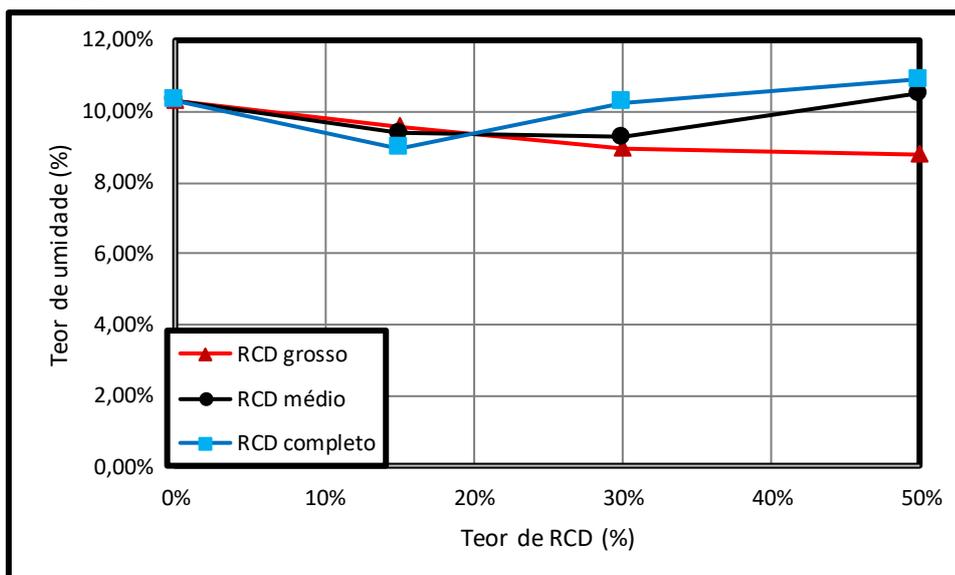


Figura 3 – Variação da umidade ótima de compactação com o teor de RCD adicionado.
Fonte: Autores (2019)

Analisando-se a Figura 4, nota-se que o solo com adição de RCD grosso continua apresentando comportamento conforme o esperado, pois a densidade aparente máxima aumentou de acordo com a adição de RCD. Também os solos com RCD médio e completo continuaram apresentando comportamentos parecidos, aumentando a densidade aparente máxima para os teores de adição de RCD de 15% e 30%, mas diminuindo para o teor de 50%.

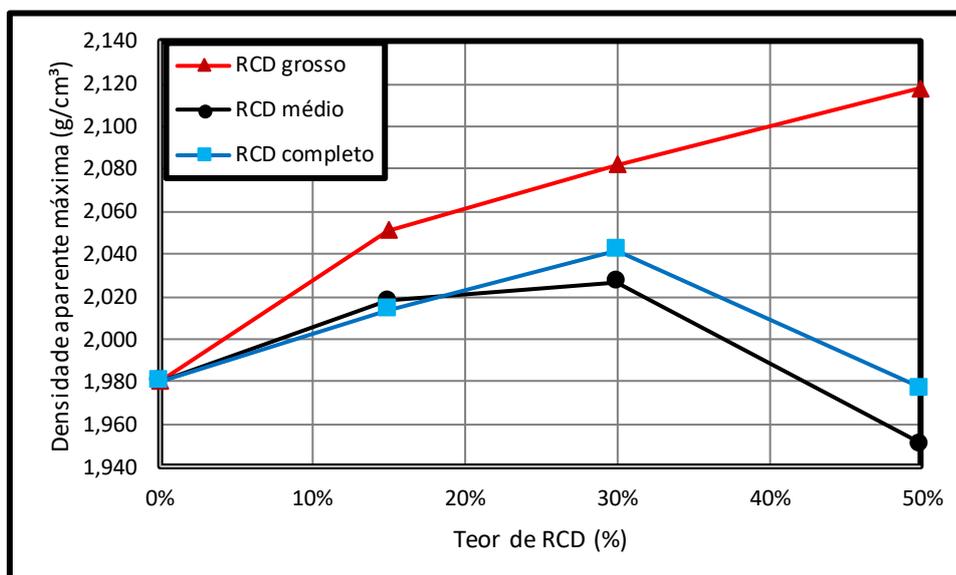


Figura 4 – Variação da densidade aparente máxima com o teor de RCD adicionado.
Fonte: Autores (2019)

De acordo com a Figura 5 percebe-se que os grãos com maiores diâmetros tendem a apresentar menor teor de umidade ótima e maior densidade máxima, fato que explica o

comportamento do solo com adição de RCD grosso, pois esse tipo de adição foi a que apresentou maior dimensão dos grãos (D50). Já os solos com adição de RCD completo e médio, portaram diâmetro médio dos grãos parecidos, como se pode observar na Tabela 2 e, por esse fato, apresentaram comportamentos similares, nota-se que o solo com adição de RCD médio apresentou comportamento esperado em relação ao CBR, pois houve aumento do CBR de acordo com o aumento do diâmetro dos grãos, porém com resultados inferiores aos do solo com adição de RCD grosso. Já o solo com adição de RCD completo não obteve comportamento conforme o esperado, pois a tendência seria que apresentasse comportamento parecido com o das demais adições, fato que não aconteceu, o que leva a recomendar que os ensaios sejam refeitos.

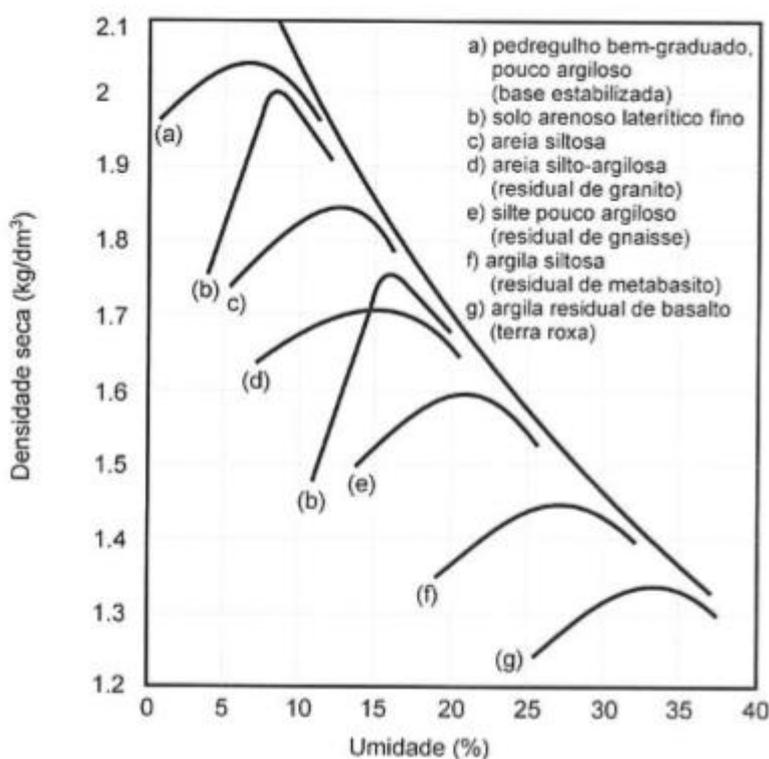


Figura 5 – Curvas de compactação de diversos solos brasileiros
Fonte: Pinto (2009)

Com relação ao índice de suporte Califórnia (Figura 06), ele foi obtido a partir da média dos valores de CBR dos pontos experimentais mais próximos da umidade ótima de compactação. Observou-se aumento do CBR com o aumento do teor de RCD grosso adicionado, fato que também aconteceu para o RCD médio, porém o comportamento do RCD grosso leva a entender que, conforme aumenta o teor de RCD para valores maiores que 50%, haverá um acréscimo ainda maior de CBR. No caso da adição do RCD médio, entende-se que o aumento de RCD além da adição de 50%, não levará a aumento significativo do CBR, pois ele já está estabilizando. Já para o solo com adição de RCD

completo verificou-se um comportamento oscilante dos ensaios, aumentando o CBR para as adições de 15% e 50% de RCD, e diminuindo para adição de 30%, fato que leva a entender que é recomendado refazer o ensaio para os pontos de 15% e 30% de adição do RCD para concluir se em algum dos dois pontos houve erro no ensaio, ou se realmente esse é o comportamento do solo para esse tipo de adição.

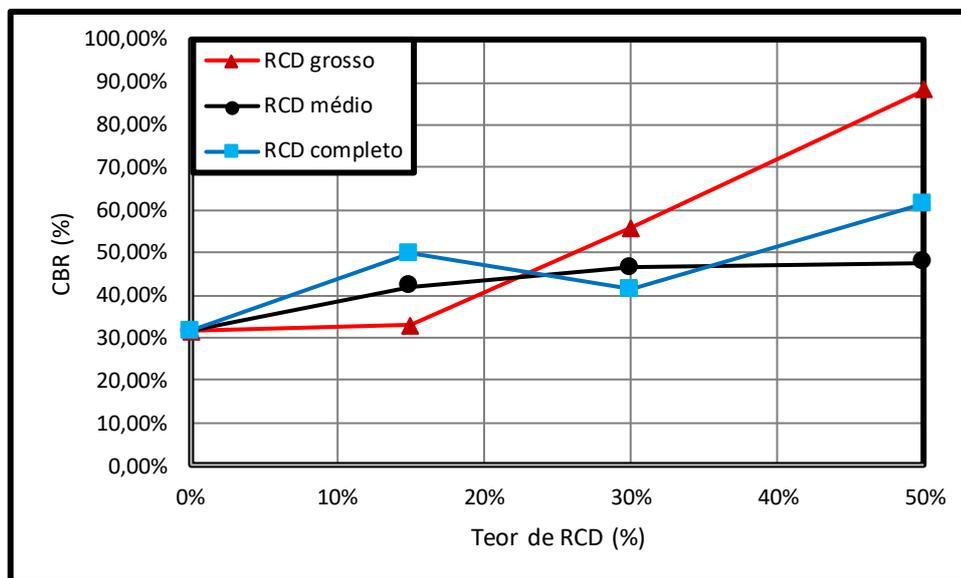


Figura 6 – Variação do índice de suporte californiano com o teor de RCD adicionado.
Fonte: Autores (2019)

De acordo com a Figura 7, pode-se observar que os ensaios GRO50, COM50 e GRO30 foram os que apresentaram melhores resultados em relação ao CBR. Nota-se também que para os ensaios com adição de RCD grosso e médio, quanto maior a adição de RCD maior também é o CBR. Verifica-se também que o solo com adição de RCD completo apresentou resultados oscilantes, pois, enquanto os solos com adição de RCD grosso e médio apresentaram acréscimo do CBR, de acordo com o aumento da adição de RCD, o solo com adição de RCD completo obteve acréscimo de CBR para adições de 15%, com relação ao solo sem adição. Porém, houve redução do CBR de 15% para 30% e novo acréscimo de 30% para 50%. Apesar disso, em todos os casos, o CBR nos ensaios com adição aumentou com relação ao ensaio de referência.

Com relação aos ensaios com adição de 15% de RCD, observa-se que, quando adicionado RCD grosso, o CBR aumentou pouco com relação ao ensaio de referência. Nota-se também que, nos ensaios com adição de RCD médio e completo, obtiveram valores de CBR próximos entre si e maiores do que o resultado do ensaio com RCD grosso. Ainda assim, os três ensaios com adição de 15% de RCD representam os menores valores de CBR nos ensaios com adição. Já nos ensaios com adição de 30% e 50% de RCD, os

valores de índice de suporte Califórnia foram superiores nos ensaios com adição de RCD grosso.

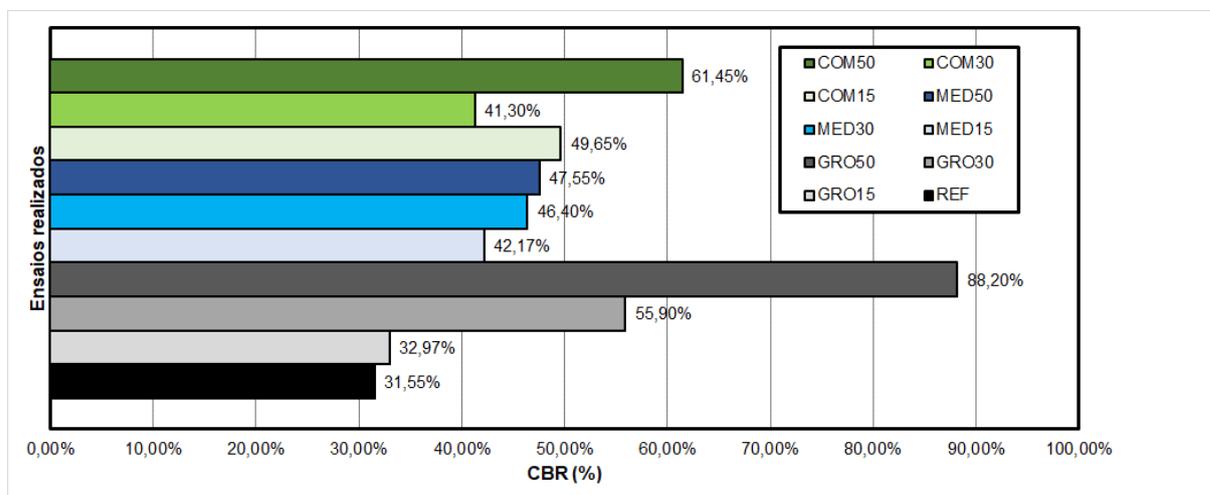


Figura 7 – Índices de suporte californiano obtidos nos ensaios.
Fonte: Autores (2019)

O apêndice B desse trabalho apresenta como estão dispostas as curvas de distribuição granulométrica em todos os casos que houve mistura solo-RCD. Com base nisso, nota-se que, para o solo com adição de RCD grosso (Figura B.1), quando se analisa a porcentagem passante no D50 que se refere ao diâmetro médio dos grãos, verifica-se que houve um aumento significativo do diâmetro dos grãos, fato que explica o comportamento do solo, pois quanto maior o diâmetro grão, maior o CBR e densidade máxima. Para o solo com adição de RCD médio (Figura B.2), o aumento do diâmetro dos grãos foi em menor escala, explicando, assim, o aumento de CBR para todas as porcentagens de adição, porém em valores menores de variação do CBR de uma porcentagem para outra. Já o solo com adição de RCD completo (Figura B.3), a porcentagem passante no D50 foi parecida para todas as adições, porém, para esse solo, não houve o comportamento esperado, que seria o aumento CBR com o aumento do diâmetro dos grãos. Por esse fato, recomenda-se refazer os ensaios para as adições de 30% e 50%.

4. Conclusões

O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar a aplicabilidade da adição de resíduos da construção e demolição em obras de terraplenagem, aplicado em um solo típico de Rio Verde-GO, através de ensaios laboratoriais. Com o propósito de que essa pesquisa contribua para a propagação de soluções sustentáveis no meio da construção civil, principalmente, com relação à reutilização de resíduos da construção.

Conclui-se que, de maneira geral, a adição de RCD contribui para o acréscimo do CBR do solo, pois o solo referência já apresentou um bom resultado de CBR, ainda assim, conforme os ensaios apresentados, para todos os teores de adição houve aumento do CBR. Com destaque para o ensaio de 50% do RCD grosso, que atingiu resistência muito elevada em comparação com o solo referência. E mesmo para o solo com adição de RCD completo, que apresentou os menores valores de CBR, em geral, se torna viável a utilização dele pelos resultados obtidos, visto que atingem resistência considerável.

Comparando-se os resultados dos ensaios com diferentes granulometrias, observa-se que, nos ensaios com RCD grosso, o acréscimo no valor do índice de suporte californiano é maior de um teor para o outro. Portanto, conclui-se que, dentre as três granulometrias analisadas, os ensaios com uso de RCD grosso obtiveram melhores valores de CBR. Recomenda-se, no entanto, refazer o ensaio GRO15 para verificação do valor de CBR.

Recomenda-se também, para pesquisas futuras, verificar as tendências de comportamento da queda da densidade nos teores de adição de 30% para 50%, tanto no RCD completo quanto no médio, valores estes apresentados nesta pesquisa. Além disso, refazer os ensaios com diferentes teores e granulometrias de RCD também são recomendados.

Referências

ALVES, A. L.; NETO, G. S.; TERRA, V. S. **Avaliação mecânica de misturas solo – RCD. 2018.** 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2018.

ARAUJO, L. S.; ASSUNÇÃO, M. S.; SILVA, L. A. **Análise da substituição do agregado gráudo natural pelo reciclado em concretos convencionais.** 16 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 6457:** Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **ABNT NBR 6459:** Solo: determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **ABNT. NBR 6548:** Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.



UNIVERSIDADE
DE RIO VERDE



_____. **ABNT NBR 7180**: Solo: determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **ABNT NBR 7181**: Solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **ABNT NBR 7182**: Solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **ABNT NBR 9895**: Solo: Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **ABNT NBR NM 52**: Agregado miúdo Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro - RJ, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. **Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Publicado no Diário Oficial da União em 17 de julho de 2002.

FUJII, L. M.T. **Estudo de misturas de solo, RCD e cal virgem e hidratada para uso em obras rodoviárias**. 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

JIMÉNEZ, J.R.; AYUSO, J.; AGRELA, F.; LÓPEZ, M.; GALVÍN, A.P. Utilisation of unbound recycled aggregates from selected CDW in unpaved rural roads. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 52, p. 88-97, 2012.

LEITE, F. C. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. 2007. 216 f. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MACEDO, T. F.; LAFAYETTE, K. P. V. **Reaproveitamento e caracterização de RCD para reforço de solo com adição de fibras**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco, Recife, 2009.

MORAND, F.G. **Estudo das principais aplicações de resíduos de obra como materiais de construção**. 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

PINTO, C. S. Curso básico de mecânica dos solos: 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.



SANTOS, E. C. G. **Aplicação de resíduos da construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado.** São Paulo, 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SILVEIRA, L. R.; BORGES, R. A. Análise do uso de resíduos da construção civil como agregado miúdo em pavimentação. **RENEFARA**, v. 9, n. 9, p. 112-122, 2016.

SILVEIRA, L. R. **Reaproveitamento de finos de pedreiras em pavimentação: uma abordagem técnica e econômica.** Goiânia, 2010. 45 p. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, 2010.

Apêndice A – Resultados dos ensaios de compactação e CBR

Este apêndice apresenta todos os resultados dos ensaios de compactação e CBR.

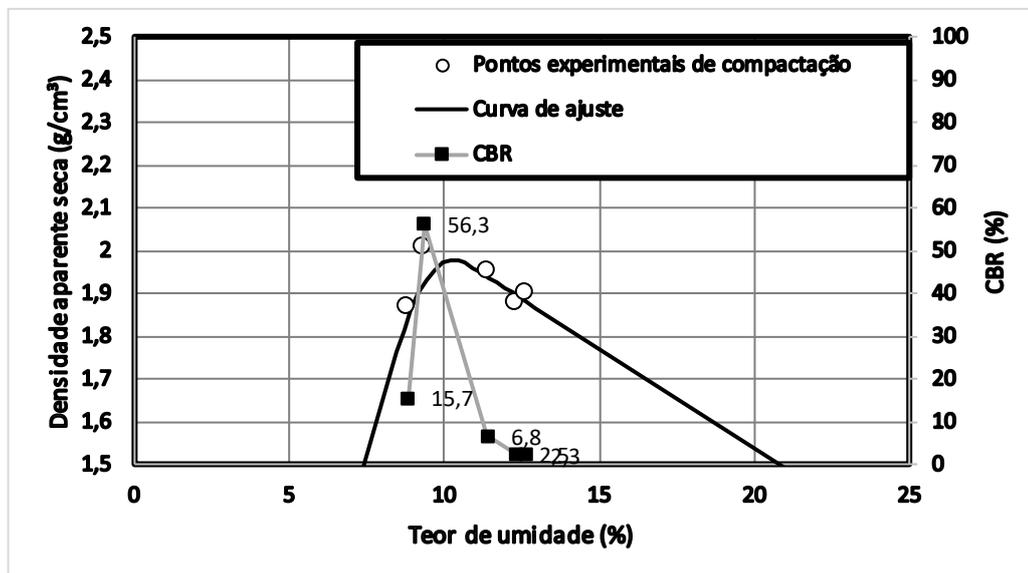


Figura A.1 – Resultados do ensaio REF

Fonte: Autores (2019)

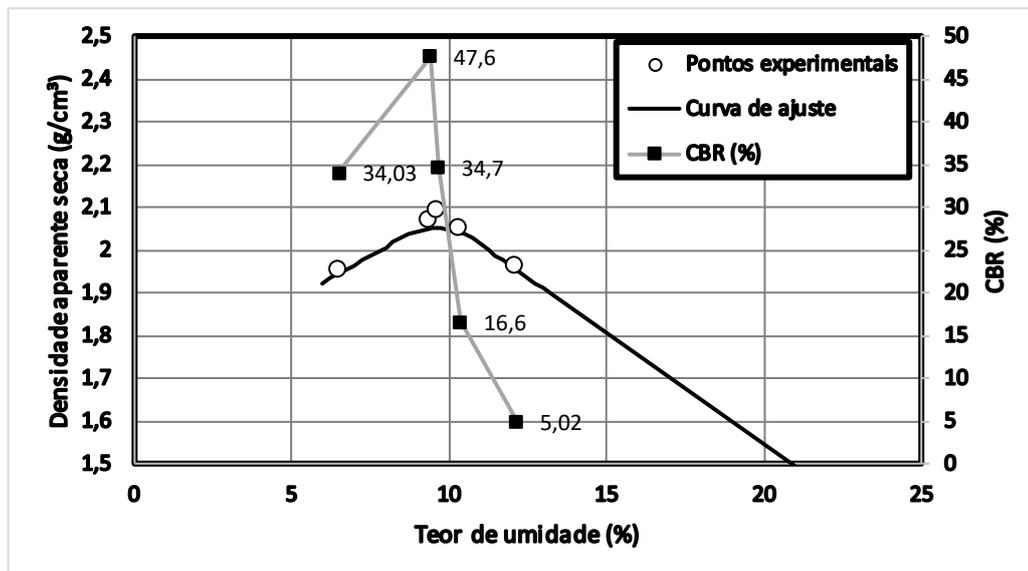


Figura A.2 – Resultados do ensaio GRO15

Fonte: Autores (2019)

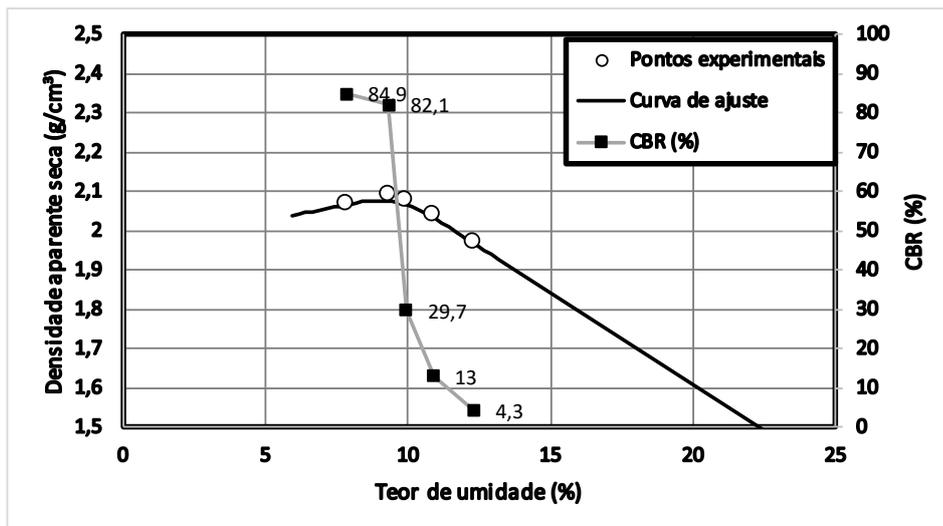


Figura A.3 – Resultados do ensaio GRO30
Fonte: Autores (2019)

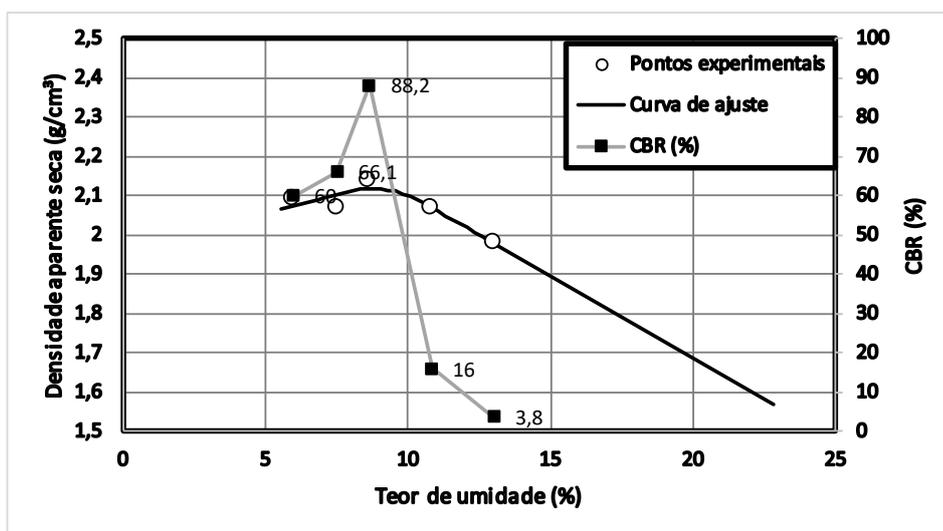


Figura A.4 – Resultados do ensaio GRO50
Fonte: Autores (2019)

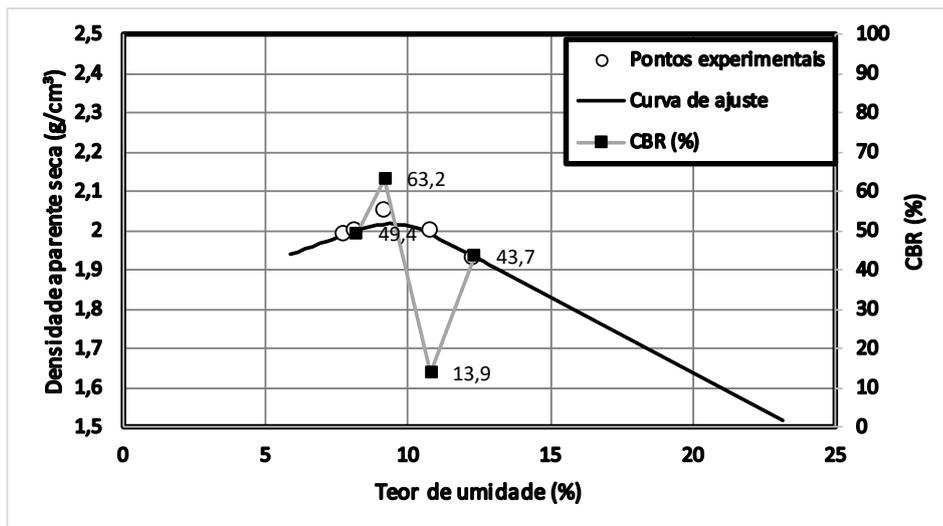


Figura A.5 – Resultados do ensaio MED15
Fonte: Autores (2019)

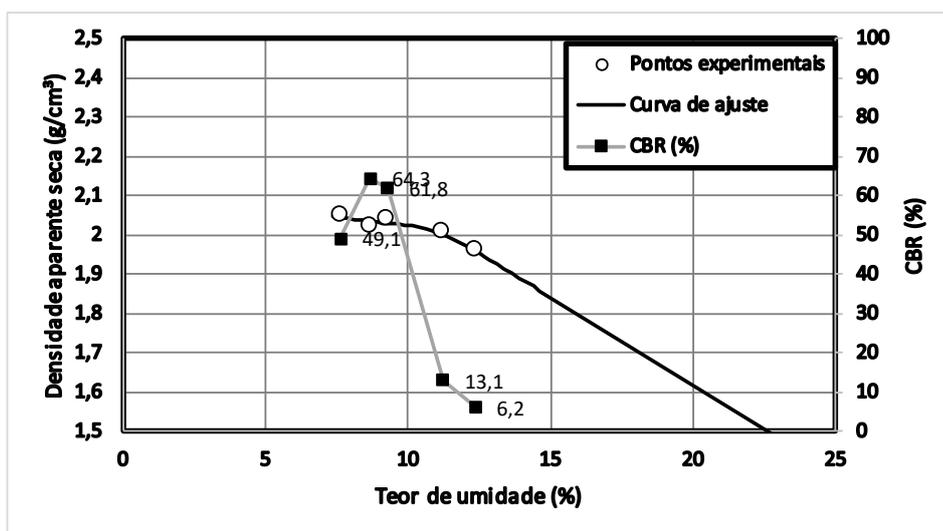


Figura A.6 – Resultados do ensaio MED30
Fonte: Autores (2019)

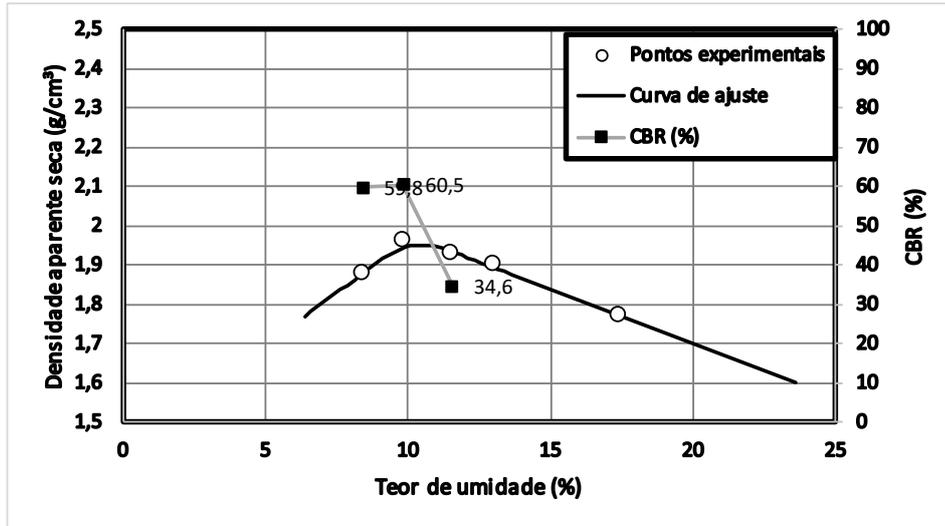


Figura A.7 – Resultados do ensaio MED50
Fonte: Autores (2019)

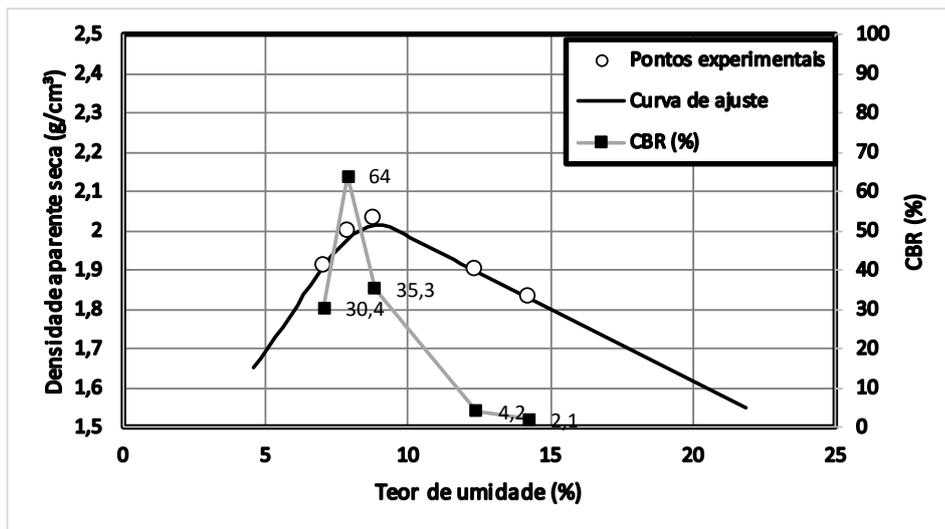


Figura A.8 – Resultados do ensaio COM15
Fonte: Autores (2019)

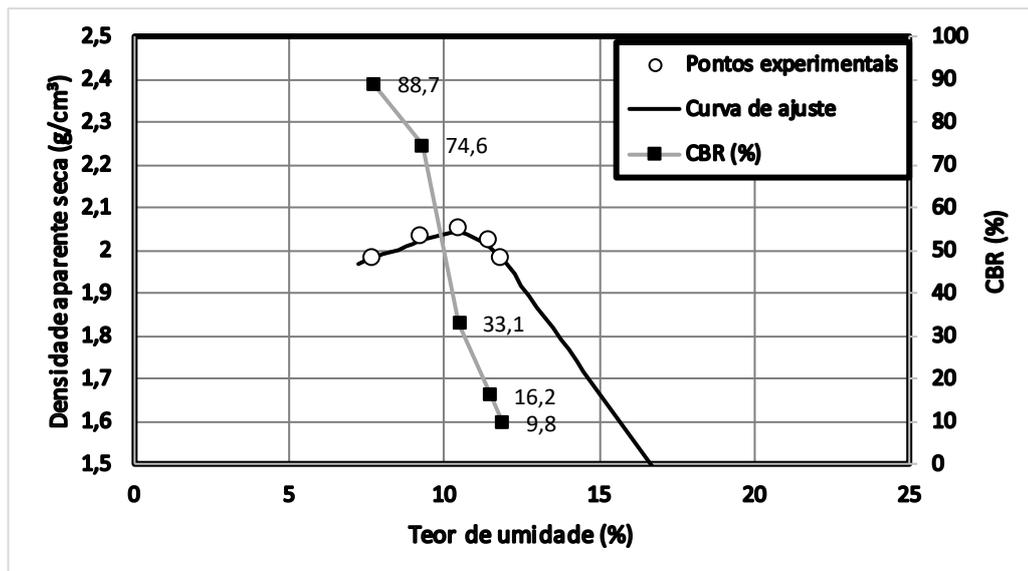


Figura A.9 – Resultados do ensaio COM30
Fonte: Autores (2019)

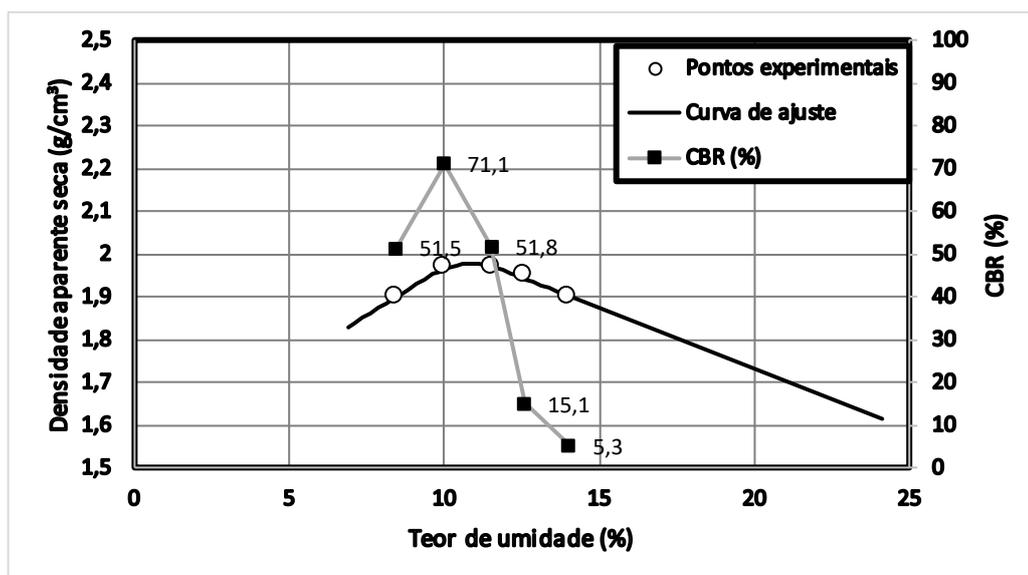


Figura A.10 – Resultados do ensaio COM50
Fonte: Autores (2019)

Apêndice B – Curvas granulométricas

Este apêndice apresenta as curvas granulométricas das três faixas de RCD adotadas no presente trabalho.

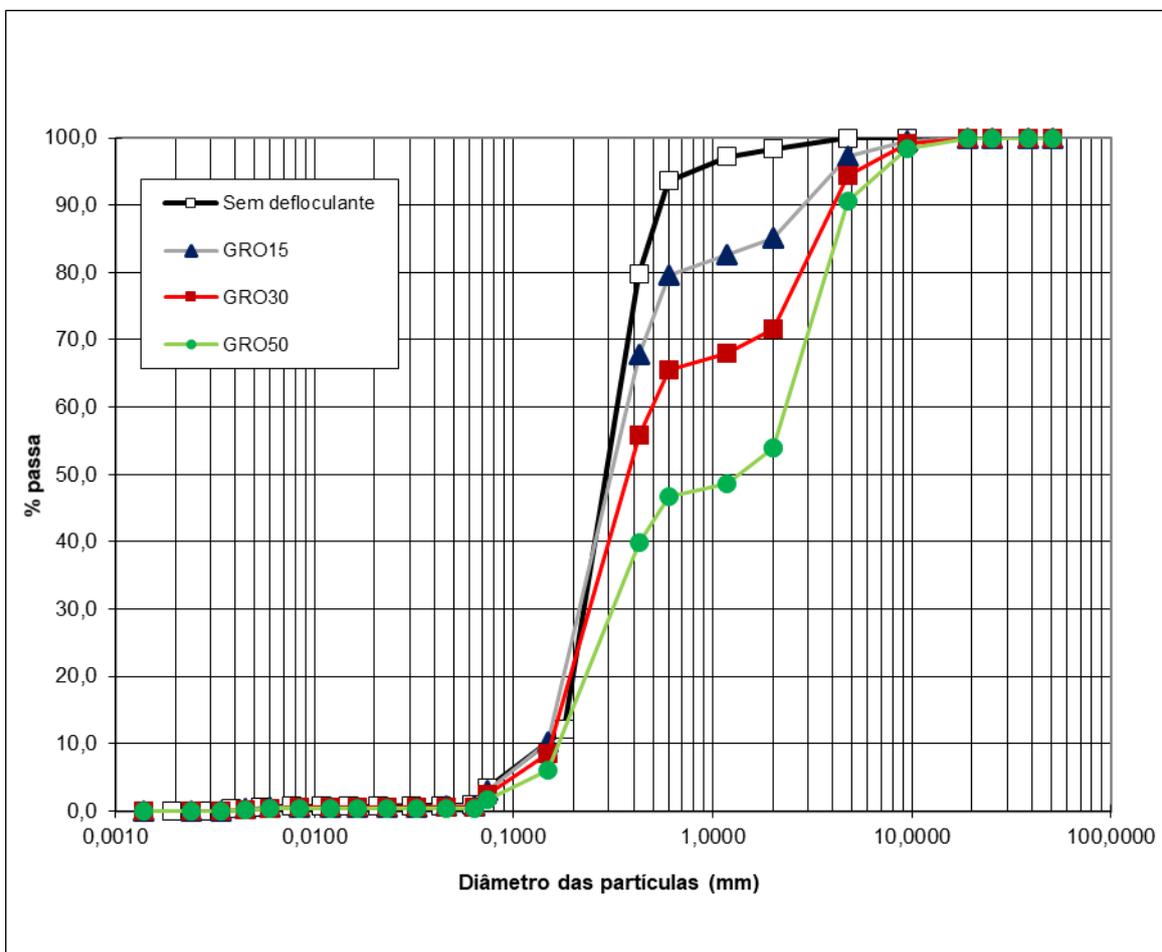


Figura B.1 – Curvas de distribuição granulométrica RCD grosso
Fonte: Autores (2019)

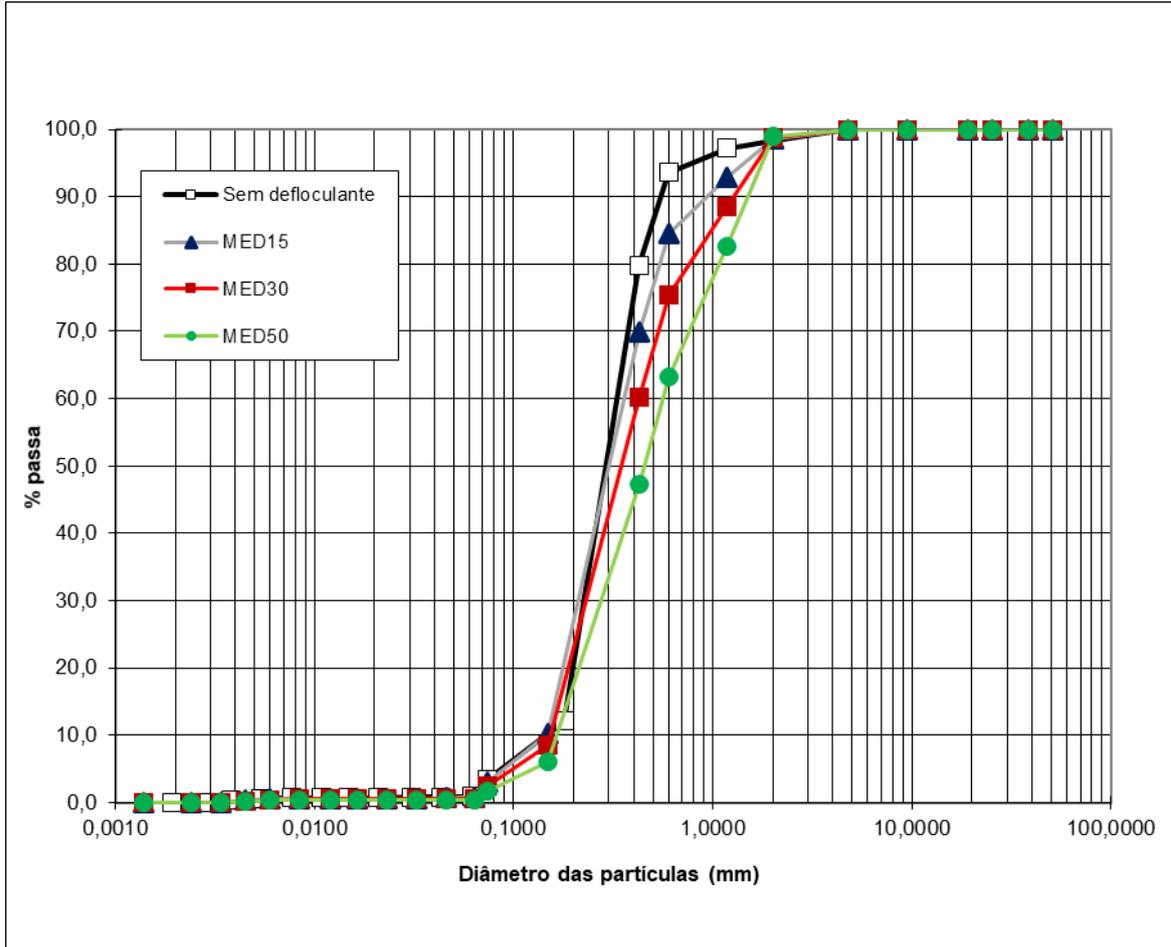


Figura B.2 – Curvas de distribuição granulométrica RCD médio
Fonte: Autores (2019)

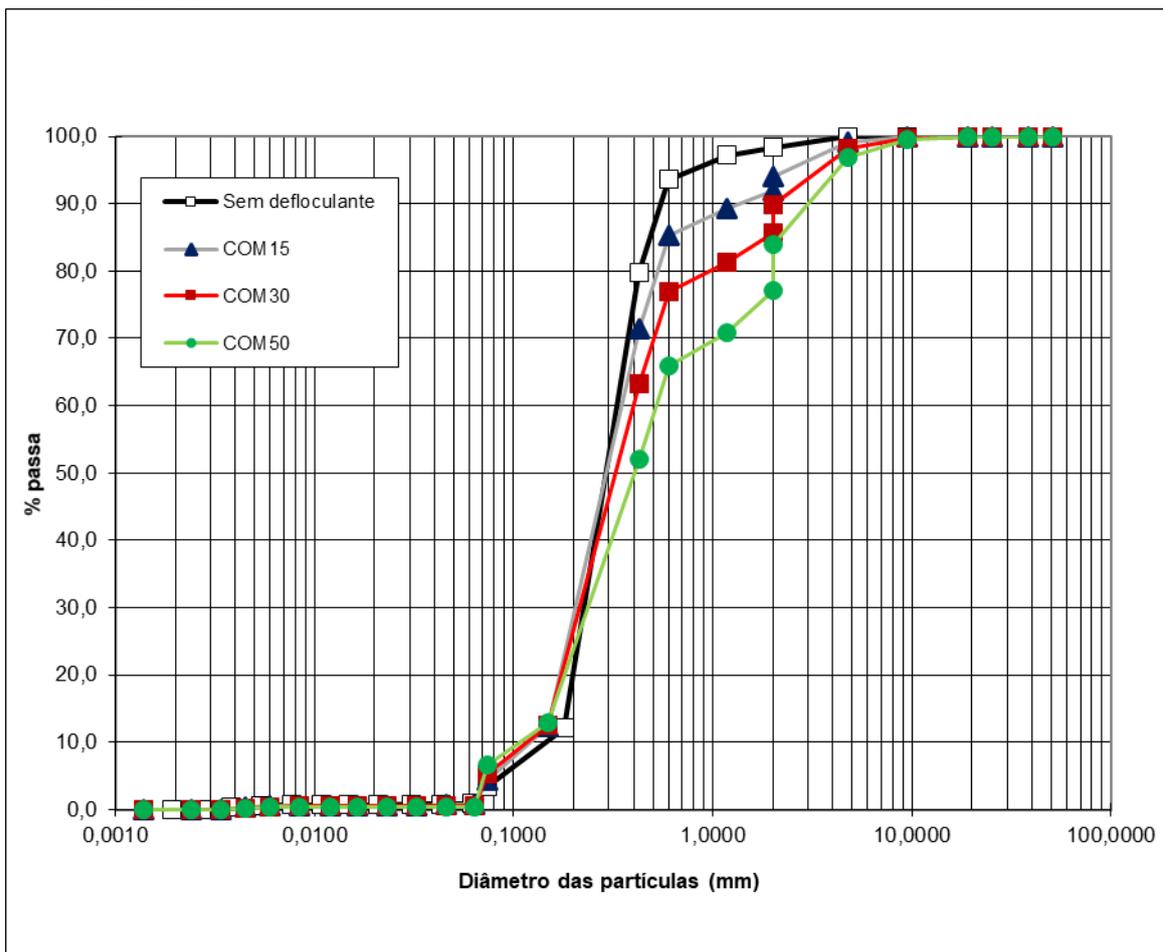


Figura B.3 – Curvas de distribuição granulométrica RCD completo
Fonte: Autores (2019)



UNIVERSIDADE
DE RIO VERDE

