

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ESTABILIZAÇÃO POR SOLIDIFICAÇÃO A PARTIR DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE GRANITO EM MATRIZ CIMENTÍCIA VISANDO SUA UTILIZAÇÃO COMO CONSTITUINTE DE CONCRETO PARA PISOS

Mário Gomes da Silva Júnior (1); Ana Cristina Silva Muniz (2); André Luiz Fiquene de Brito
(3)

(1) *Universidade Federal de Campina Grande, mario.engquimica@gmail.com*

(2) *Universidade Federal de Campina Grande, anamuniz@deq.ufcg.edu.br*

(3) *Universidade Federal de Campina Grande, andrefiquene2009@hotmail.com*

RESUMO: A disposição de resíduos sólidos industriais de maneira inadequada em áreas não apropriadas incorre em danos ao meio ambiente e ao ser humano. Neste sentido, faz-se necessário pesquisar alternativas de tratamento para a posterior disposição e/ou utilização do produto final, sobretudo daquele que contém metais pesados. Dessa forma, o projeto teve como objetivo avaliar materiais estabilizados por solidificação após a incorporação do resíduo sólido de granito em matrizes cimentícias visando sua viabilidade como componente de concreto para pisos. O trabalho foi dividido nas seguintes etapas: Planejamento experimental, caracterização e classificação do resíduo, confecção dos corpos de provas e avaliação de integridade / durabilidade. O resíduo de granito foi classificado como não-perigoso e não-inerte - Classe II A e apresentou baixo teor de umidade, além de grande parcela de sólidos totais fixos. O ensaio de resistência à compressão mostrou melhores resultados para o tempo de cura de 28 dias. A influência dos níveis de incorporação foi bem menos efetiva no ensaio de capacidade de absorção de água. Sob saturação em água a integridade foi inferior ao limite mínimo permitido para concreto para piso simples e sob condições de secagem, a integridade foi superior a esse limite. O resíduo de granito mostrou-se então indicado como constituinte de concreto para pisos em condições limitadas, ou seja, em ambientes que não sofram ação direta de água.

Palavras-chave: Resíduo de Granito, Estabilização por Solidificação, Meio Ambiente.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Estabilização por Solidificação (E/S)

O objetivo maior da (E/S) consiste na redução da mobilidade dos contaminantes basicamente por duas vias (BRITO, 2007), sendo estas a retenção

física em uma matriz sólida e na transformação química de constituintes em uma forma menos solúvel ao meio.

A utilização da técnica de (E/S) promove uma menor superfície de contato entre o contaminante e o meio a partir da confecção de corpos de prova (CP's), de for

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

ma a resultar em uma menor transferência de massa na interface destes. Consiste então em uma forma de encapsulamento, limitando a emissão de contaminantes perigosos ou orgânicos a partir de sua retenção na forma de precipitados na superfície da matriz ou incorporados em seu interior.

A disposição de resíduos sólidos industriais de maneira inadequada em áreas não apropriadas incorre em danos ao meio ambiente. Neste sentido, faz-se necessário pesquisar alternativas de tratamento para a posterior disposição e/ou utilização do produto final, sobretudo daquele que contém metais pesados. Com a aplicação da (E/S), os resíduos classificados como Classe I (perigoso) podem ser convertidos para Classe II (não perigoso) apresentando menor toxicidade, solubilidade e lixiviabilidade.

1.2 Resíduos sólidos

De acordo com a ABNT NBR 10.004 (2004), os resíduos sólidos são classificados em duas classes: os perigosos (Classe I), que apresentam pelo menos uma das seguintes características: Inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade (determinada a partir da análise das concentrações dos componentes perigosos no ensaio de lixiviação) e patogenicidade. Os resíduos Classe II (não perigosos) são divididos em

dois sub-grupos: Classe II-A (não-inertes), que apresentam concentrações de contaminantes maiores que o permitido em meio neutro (água), determinado a partir do ensaio de solubilização, e a Classe II-B (inertes), onde seus contaminantes se solubilizam em água em níveis aceitáveis.

1.2.1 Resíduo de granito

O processo de beneficiamento de granito gera enormes quantidades de resíduos na forma de lama (MOREIRA et al, 2003). A quantidade de resíduos nas diferentes etapas de produção da indústria de granito atinge entre 20-25% de sua produção final (VIJAYALAKSHMI et al, 2013).

A deposição dos resíduos de granito em locais inadequados pode resultar em inúmeros problemas. Devido ao pó desse resíduo apresentar uma granulometria bem fina ele se torna bastante propenso a fácil dispersão. Ao meio ambiente isso pode ocasionar uma deposição desse material em rios e lagos contaminando esses ambientes e afetando também a fauna existente nesses meios.

A longo prazo a ocorrência do assoreamento também é possível. Quanto ao ser humano a inalação desse resíduo, car

acterístico em possuir em sua composição o Óxido de Silício (SiO_2), ou a sílica, que é extremamente tóxica, pode resultar em graves problemas respiratórios como a Silicose.

Como alternativa, o resíduo de granito pode ser útil dentro da construção civil devido a importantes aspectos como sua composição químico-mineralógica e natureza não plástica. Agregados de resíduos de granito podem ser usados para melhoria de propriedades mecânicas, trabalhabilidade e resistência química de misturas de concreto convencionais (HOJAMBERDIEV et al, 2010). Foi verificado por Moreira et al. (2003) que quanto ao efeito do resíduo em si, nota-se que adições de até 10% em peso de resíduo tendem a reduzir levemente os valores de retração linear. Isto indica que os corpos cerâmicos contendo resíduo apresentam melhor estabilidade dimensional. Verificou-se também (VIJAYALAKSHMI et al, 2013) que um teor de inclusão de até 15% de resíduo de granito não afeta as propriedades de resistência e durabilidade de estruturas de concreto, podendo ser usado em substituição ao agregado fino.

O projeto se propõe, portanto, em avaliar materiais estabilizados e solidificados após incorporação do resíduo sólido industrial de granito em matriz cimentícia para aplicação específica na

construção civil (constituente de concreto para piso) a partir da análise de sua integridade / durabilidade.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Gestão Ambiental e Tratamento de Resíduos (LABGER), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Química (UAEQ), situada no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil.

O trabalho foi dividido nas seguintes etapas: planejamento experimental, caracterização e classificação do resíduo de granito, confecção dos corpos de provas e avaliação de integridade / durabilidade.

2.1 Primeira Etapa: Planejamento experimental

Foi utilizado o planejamento experimental fatorial $F_1 \times F_2 \times 2$ repetições, permitindo a análise dos efeitos de dois fatores no experimento, sendo eles o percentual de resíduo incorporado em substituição ao agregado fino (0% (referência), 30% e 60%) e o tempo de cura (7 dias e 28 dias). Assim a matriz de entr

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

ada de dados é construída. A Tabela 1 indica um total de 12 experimentos, denominados A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2, E1, E2, F1 e F2. Pretendem-se melhores respostas quanto à influência dos fatores nos ensaios utilizados.

Tabela 1 – Matriz de entrada de dados para o planejamento F1 x F2 x 2 repetições

| Amostras | Fator Tempo de Cura | Fator Porcentagem de Resíduo | Variável Resposta (Y) |
|----------|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| A1 | 7 | 0% | Y1 |
| B1 | 7 | 30% | Y2 |
| C1 | 7 | 60% | Y3 |
| D1 | 28 | 0% | Y4 |
| E1 | 28 | 30% | Y5 |
| F1 | 28 | 60% | Y6 |
| A2 | 7 | 0% | Y7 |
| B2 | 7 | 30% | Y8 |
| C2 | 7 | 60% | Y9 |
| D2 | 28 | 0% | Y10 |
| E2 | 28 | 30% | Y11 |
| F2 | 28 | 60% | Y12 |

Fonte: Autor, 2016.

2.2 Segunda Etapa: Caracterização e classificação do resíduo sólido de granito.

A caracterização do resíduo consistiu na determinação dos seguintes

fatores / parâmetros: umidade e sólidos totais (voláteis e fixos), pH e concentração dos contaminantes a partir dos ensaios de lixiviação e solubilização. A seguir é comentada a metodologia utilizada nessa etapa do projeto.

2.2.1 Lixiviação e Solubilização

Ambos os ensaios objetivam a análise da capacidade de contaminação a partir da transferência de massa dos contaminantes presentes no resíduo para o meio. Nestas análises foram empregadas as metodologias propostas pela ABNT NBR 10.005 (2004) e ABNT NBR 10.006 (2004). Os métodos de lixiviação existentes são classificados em função da renovação da solução extratora, podendo ser do tipo dinâmico (com renovação) e estático (sem renovação), ou seja, lixiviação/extração (SPENCE & SHI, 2004). Na pesquisa foi utilizado o tipo estático (sem renovação do meio lixiviante). O ensaio de solubilização utiliza como solução extratora a água destilada, e permite a avaliação da capacidade de dispersão de contaminantes em ambientes menos agressivos quanto ao pH comparada com a situação proposta no ensaio de lixiviação.

2.2.2 Umidade e Sólidos Totais

A determinação dos sólidos totais (fix

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

os e voláteis) permite verificar respectivamente a massa percentual de resíduo; elementos que não se volatilizam numa temperatura de 550°C e teor de matéria orgânica presente no resíduo. Utilizou-se o método gravimétrico Standard Methods (1998).

2.2.3 Determinação de pH

A determinação do pH das amostras foi realizada a partir da utilização do método eletrométrico proposto pelo Standard Methods for the Examination Of Water And Wastewater (1992).

2.3 Terceira Etapa: Confeção dos corpos de prova

Foram confeccionados corpos de prova (CP's) contendo o resíduo de granito, cimento Portland do tipo CPII – E32, pedra britada, areia e água, obedecendo a seguinte proporção em massa (Cimento :Areia : Brita) - (1 : 1,91412 : 2,21427).

Foi adotado o protocolo de avaliação proposto por Brito (2007), que sugere como parâmetros básicos para realização dos ensaios em laboratórios um tempo de moldagem de 24 horas, dimensões dos moldes de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura e umidade relativa entre 50 e 100.

A Figura 1 mostra os materiais utilizados na confecção dos corpos de prova utilizados.

Figura 1– Materiais utilizados na confecção dos corpos de prova.



Fonte: Elaborada pelo autor.

2.4 Quarta Etapa: Avaliação de integridade / durabilidade

2.4.1 Ensaio de Resistência à compressão

Este ensaio obedeceu aos procedimentos recomendados pela ABNT NBR 7215 (1996).

A Figura 2 mostra o equipamento utilizado na realização do ensaio e a Figura 3 os corpos de provas (CP's) utilizados para todos os ensaios, inclusive neste.

Figura 2 - Equipamento utilizado no ensaio de

resistência à compressão



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3 - Corpos de provas utilizados no ensaio.



Fonte: Elaborada pelo autor.

2.4.2 Ensaio de Capacidade de Absorção de Água

Foi realizado conforme ABNT NBR 9.778 (1987). O resultado é expresso em valores percentuais a partir dos valores da massa do corpo de prova após saturação em água e a massa do corpo de prova seca em estufa antes de iniciar o ensaio.

2.4.3 Ensaio de Umidificação e Secagem

O ensaio de umidificação e secagem foi realizado com base no procedimento recomendado pelo WTC (1991). Neste ensaio, a amostra deve ser submetida a seis (06) ciclos de umidificação com água a $22\pm 3^{\circ}\text{C}$ e secagem em estufa sob temperatura de $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ e umidificação por 24 horas. O ensaio de umidificação e secagem é importante na verificação da durabilidade da matriz quando submetidas à mudanças de temperatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização e classificação do resíduo de Granito

Nas Tabelas 2 e 3 são mostrados os resultados obtidos após os ensaios de solubilização e lixiviação do resíduo de granito na forma bruta (antes do tratamento aplicado).

Tabela 2 - Resultados obtidos no ensaio de solubilização.

| Elemento | Solubilização (mg/Kg) | Solubilização (mg/L) | L.M.P. ¹ (mg/L) |
|----------|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| Manganês | 0,44 | 0,11 | 0,1 |
| Alumínio | < 0,4 | < 0,10 | 0,2 |

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

| | | | |
|--------|--------|---------|-------|
| Ferro | < 0,04 | < 0, 01 | 0,3 |
| Cádmio | < 0,02 | <0,005 | 0,005 |
| Cromo | < 0,04 | < 0,01 | 0,05 |
| Bário | < 0,4 | < 0,10 | 0,7 |

¹ Limite Máximo Permitido

Fonte: Autor, 2015

Tabela 3 - Resultados obtidos no ensaio de lixiviação.

| Elemento | Lixiviação (mg/Kg) | Lixiviação (mg/L) | L.M.P. ¹ (mg/L) |
|----------|--------------------|-------------------|----------------------------|
| Manganês | 65,6 | 3,28 | 10 |
| Alumínio | 30 | 1,50 | 20 |
| Ferro | 29,6 | 1,48 | 30 |
| Cádmio | 0,26 | 0,013 | 0,5 |
| Cromo | 1,2 | 0,06 | 5 |
| Bário | 9,4 | 0,47 | 70 |

¹ Limite Máximo Permitido

Fonte: Autor, 2015

A partir da Tabela 2 verifica-se que o resíduo de granito utilizado na pesquisa classifica-se como classe II-A (não-perigoso e não-inerte), devido a concentração de manganês está acima do máximo permitido no ensaio de solubilização. Todas as concentrações no ensaio de lixiviação encontraram-se menor que o máximo permitido.

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos na determinação dos seguintes parâmetros: teor de umidade, frações de

sólidos e o pH. Ambos os ensaios foram realizados em triplicata.

Tabela 4 - Caracterização dos resíduos de Granito.

| Parâmetros | Resíduo de Granito |
|-----------------------------------|--------------------|
| Teor de umidade (%) | 0,96 |
| Sólidos totais (%) | 99,04 |
| Sólidos voláteis (%) ¹ | 0,72 |
| Sólidos fixos (%) ¹ | 99,28 |
| pH | 7,66 |

¹ Valor em relação ao teor de sólidos totais

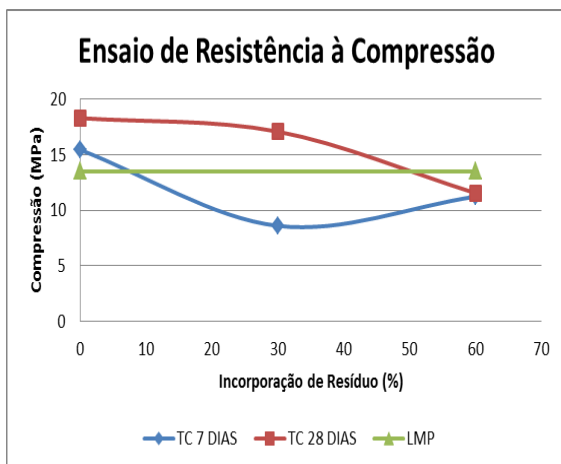
Fonte: Autor, 2015

A partir da Tabela 4 verifica-se que o resíduo apresenta um teor de umidade bem pequeno, o que favorece o uso deste em matrizes cimentícias e aplicações em geral dentro da construção civil quanto ao quesito de integridade do material ou aplicação na qual se pretende sua incorporação.

3.2 Resistência à Compressão

A Figura 4 mostra os resultados referentes ao ensaio de Resistência à Compressão.

Figura 4 - Resultados para o ensaio de Resistência à Compressão (para ambos tempos de cura)



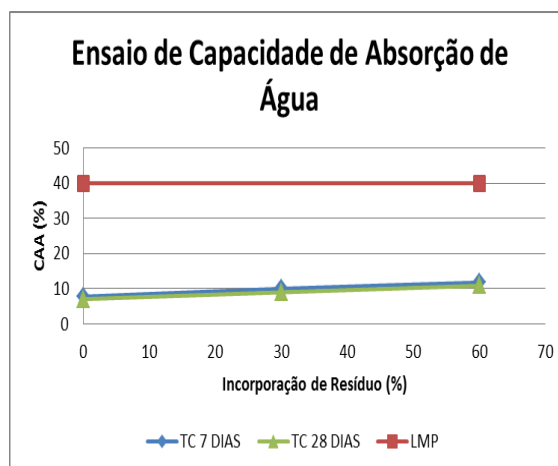
LMP: Limite Mínimo Permitido

Fonte: Autor, 2016

A partir da Figura 4 percebe-se que os tempos de cura retornaram respostas diferentes para o nível de 30% de incorporação. Para os demais níveis as respostas foram similares principalmente para 60%. As respostas do ensaio para o tempo de cura de 28 dias foram superiores ao tempo de cura de 7 dias. Observa-se para o tempo de cura de 7 dias a possibilidade de incorporação em até cerca de 8%, quando que com 28 dias mostrou-se possível a incorporação de até cerca de 50%, sabendo que o limite mínimo para o ensaio de modo a termos o possibilidade de incorporação para concretos para piso é de 13 Mpa, como indicado pela reta verde da Figura 4.

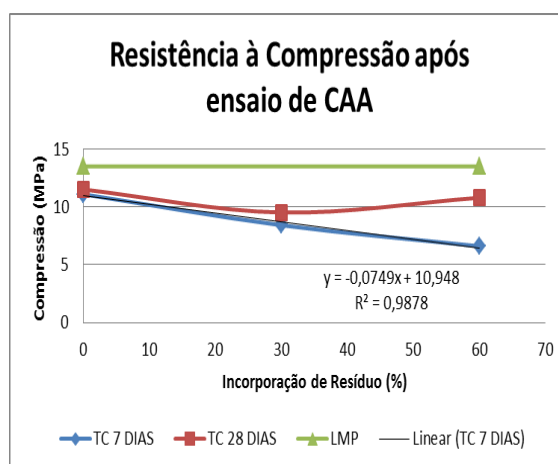
3.3 Capacidade de Absorção de Água

Figura 5 - Resultado do ensaio de capacidade de absorção de água para ambos tempos de cura.



Fonte: Autor, 2016

Figura 6 - Resultado do ensaio de resistência à compressão após o ensaio de capacidade de absorção de água.



Fonte: Autor, 2016

A partir da Figura 5 verifica-se que o tempo de cura de 7 dias apresentou respostas um pouco maiores que aquelas de

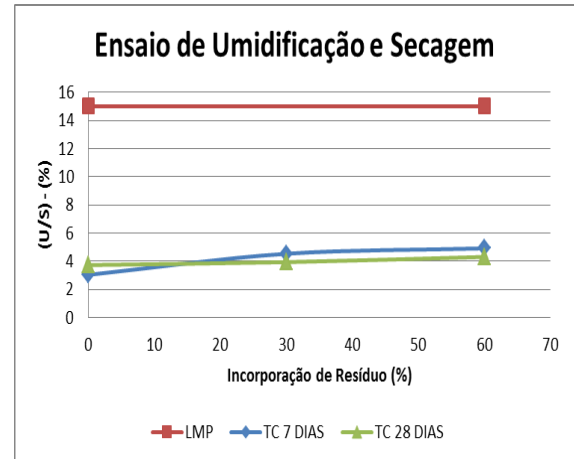
28 dias. Em ambos os tempos de cura observa-se uma relação inversamente proporcional, no sentido de que um maior teor de incorporação resulta em uma maior capacidade de absorção de água, porém essa alteração mostra-se ser bem pequena.

A partir da Figura 6 é evidenciado o efeito da diminuição da integridade do corpo de prova em condições de saturação em água. Todos os resultados foram inferiores ao LMP para pisos de concreto simples (13 MPa). Portanto é importante ressaltar o cuidado no sentido da viabilidade de utilização desse piso em áreas cobertas, sem possibilidade de encharcamento.

3.4 Ensaio de Umidificação e Secagem (U/S)

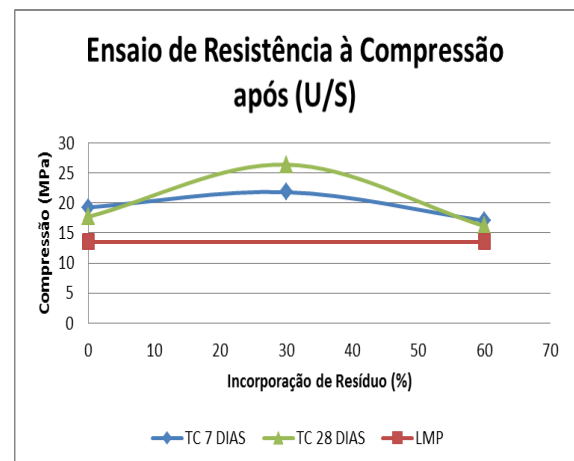
A Figura 7 mostra os resultados referentes ao ensaio de Umidificação e Secagem. A Figura 8 mostra o resultado do ensaio de resistência à compressão feito aos corpos de prova após o ensaio de umidificação e secagem (em condições de secagem).

Figura 7 - Resultado do ensaio de Umidificação e Secagem para ambos Tempo de Cura.



Fonte: Autor, 2016

Figura 8 - Resultado do ensaio de resistência à compressão após o ensaio de umidificação e secagem.



Fonte: Autor, 2016

A partir da Figura 7 verifica-se uma similaridade entre os resultados para os dois tempos de cura. Para o tempo de 7 dias verifica-se uma variação maior da resposta com a variação da nível de inc

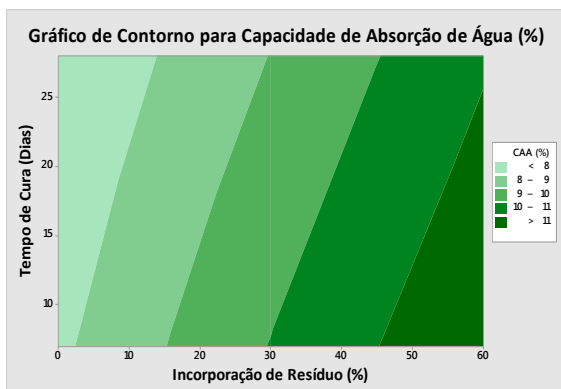
orporação quando comparado com o tempo de cura de 28 dias.

Todos os valores para ambos tempo de cura encontraram-se abaixo do limite máximo permitido para materiais solidificados e estabilizados (50%).

Verifica-se, a partir da Figura 8, que as respostas do ensaio de resistência à compressão aos corpos de prova secos foram maiores do que aquelas da Figura 3, com os corpos de prova em condições normais, sendo todos eles superiores ao LMP para pisos de concreto simples (13 MPa). Mostra-se então que diferentemente da condição de saturação em água, a condição de secagem favorece a integridade da matriz cimentícia.

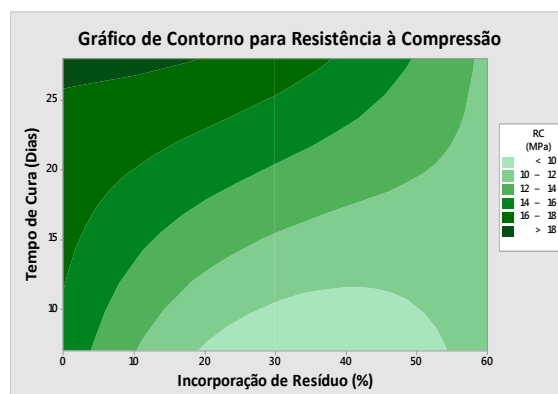
Nas Figuras 9, 10 e 11 são mostrados os gráficos de contorno desenvolvidos no software MINITAB® 17 referentes aos ensaios realizados.

Figura 9 - Gráfico de contorno para o ensaio de Capacidade de Absorção de Água.



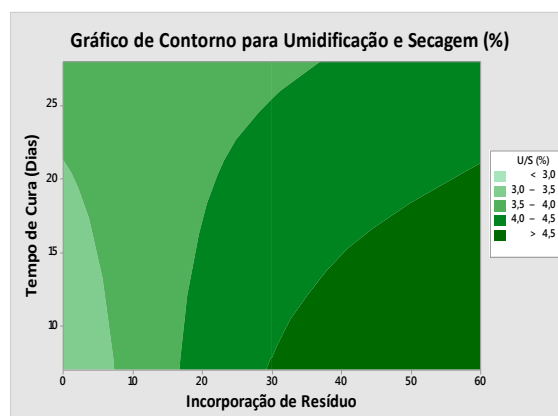
Fonte: Autor, 2016

Figura 10 - Gráfico de contorno para o ensaio de Resistência à Compressão.



Fonte: Autor, 2016

Figura 11 - Gráfico de contorno para o ensaio de Umidificação e Secagem.



Fonte: Autor, 2016

Nas Figuras 9, 10 e 11 podem ser verificados as regiões ou intervalos das variáveis Tempo de cura e Incorporação de resíduo de granito no agregado fino que retornam intervalos específicos para as respostas para cada um dos ensaios. A utilização dessa ferramenta gráfica pode ser bastante útil de análise da possibilidade de
util

ização do resíduo para outras aplicações que requerem diferentes níveis de integridade, avaliada a partir do ensaio de resistência à compressão.

4. CONCLUSÕES

1. O resíduo de Granito foi classificado como sendo da Classe II-A (não perigoso e não inerte);

2. O ensaio de resistência à compressão diferiu entre as respostas para os dois tempos de cura utilizados sendo o de 28 dias aquele que teve maiores respostas, e consequentemente a viabilidade de uma maior incorporação de granito para utilização em concretos simples para pisos. Verificou-se que sob saturação em água todas as respostas foram inferiores ao limite mínimo permitido e sob condições de secagem todas as respostas foram superiores ao limite mínimo permitido. Portanto, o granito mostra-se indicado a pisos que não sofra ação direta da água;

3. Os ensaios de capacidade de absorção de água e umidificação e secagem retornaram respostas inferiores aos limites máximos permissíveis para materiais estabilizados e solidificados.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7215: **Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 8p, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 9.778: **Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão.** Rio de Janeiro, 5p, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 10.004: **Resíduos Sólidos - Classificação.** CENWin, Versão Digital, ABNT NBR 10.004, 71p, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 10.005: **Procedimentos para obtenção de Extrato Lixiviado de Resíduos Sólidos.** CENWin, Versão Digital, 16p, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 10.006: **Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.** CENWin, Versão Digital, 3p, 2004c.

BRITO, A. L. F. **Protocolo de Avaliação de Materiais Resultantes da Estabilização por Solidificação.** Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis - SC, 2007.

MOREIRA J. M. S. et alii. **Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha.** Rio de Janeiro, 6p, 2003.

HOJAMBERDIEV M. et ali. **Utilization of muscovite granite waste in the manufacture of ceramic tiles,** 6p, 2010.

SHI, C.; SPENCE, R. **Designing of cement-based formula for solidification/stabilization of hazardous, radioactive, and mixed wastes.** *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 34, n. 4, p. 391-417, jul./ago. 2004.

WASTEWATER TECHNOLOGY CENTER - WTC-EC-EPS-3/HÁ/9. **Proposed evaluation protocol for cement-based stabilization/solidification wastes.** Canada: Environment Canada. 1991.

VIJALAKSHMI M. **Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste,** Tamil Nadu, Índia, 7p, 2013.