



REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL COM A UTILIZAÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CAL

Suelen Silva Figueiredo Andrade (*), Larissa Santana Batista, Adrielly de Azevedo Santana, Mayla Estela Braga, Nathalia Leticia Silva de Moura

* Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), suelensfigueiredo@gmail.com

RESUMO

A indústria da construção civil é o maior consumidor de recursos naturais, gerando muitos impactos ambientais. Com isso, surge a necessidade de desenvolver novas técnicas de reutilização e reciclagem dos resíduos da construção civil para a fabricação de materiais alternativos com o intuito de incentivar o desenvolvimento sustentável. O tijolo solo-cal apresenta resistência a compressão semelhante aos tijolos convencionais, além de ser simples para ser produzido. Tornou-se viável a incorporação do entulho da construção civil aos tijolos solo-cal, podendo substituir parte da cal utilizada no material. É de fundamental importância avaliar a sua durabilidade. Essa pesquisa teve como objetivo avaliar a durabilidade de tijolos solo-cal incorporados com resíduos de demolição da construção civil. Foram confeccionados corpos-de-prova utilizando o traço 1:10 em proporção de cal:solo, e utilizado o resíduo em substituição parcial a cal, nas proporções de 25%, 50% e 75% para períodos de cura de 28, 60 e 90 dias. Os materiais utilizados foram submetidos a uma caracterização físico-mineralógica através dos seguintes ensaios: granulometria por peneiramento e difração a laser, análise química, análise termodiferencial, análise termogravimétrica e difração de raios X. Utilizou-se o método do envelhecimento acelerado para o estudo da durabilidade através da avaliação da resistência a compressão simples dos corpos-de-prova, ao longo dos ciclos de molhagem e secagem. Os resultados mostraram que o aumento do teor de resíduo incorporado ao solo-cal afeta a durabilidade, e em percentuais superiores a 50% compromete o comportamento mecânico. Além disso, os percentuais moderados poderão ser viáveis a incorporação dos resíduos de demolição em tijolos solo-cal para aplicação na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: tijolo solo-cal, resíduo de demolição e durabilidade.

ABSTRACT

The construction industry is the largest consumer of natural resources, generating many environmental impacts. Thus, the need arises to develop new techniques for reusing and recycling construction waste for the manufacture of alternative materials in order to encourage sustainable development. The soil-lime brick presents compressive strength similar to conventional bricks, besides being simple to be produced. The incorporation of construction waste to soil-lime bricks has become feasible and can replace part of the lime used in the material. It is of fundamental importance to evaluate its durability. This research aimed to evaluate the durability of soil-lime bricks incorporated with construction debris. Test specimens were made using a 1:10 lime:soil ratio, and the waste was used as partial replacement for lime, in the proportions of 25%, 50% and 75% for curing periods of 28, 60 and 90 days. The materials used were submitted to a physical-mineralogical characterization through the following tests: granulometry by sieving and laser diffraction, chemical analysis, thermodifferential analysis, thermogravimetric analysis, and X-ray diffraction. The accelerated aging method was used to study the durability by evaluating the simple compressive strength of the specimens throughout the wetting and drying cycles. The results showed that the increase in the amount of waste incorporated into the soil-lime affects durability, and in percentages higher than 50% compromises the mechanical behavior. Moreover, moderate percentages may be feasible to incorporate the demolition waste in soil-lime bricks for application in civil construction.

KEY WORDS: soil-lime brick, demolition waste and durability.



1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da industrialização e o crescimento acelerado das cidades, surge um dos maiores gargalos do modelo de industrialização, por fomentar a macrocefalia urbana, provocando problemas ambientais e sociais. Na construção civil, destaca-se o aumento na produção de resíduos de forma significativa, gerando graves impactos ambientais, causados pelo seu volume acumulado, além de deposições inadequadas.

Na prática, os resíduos sólidos da construção resumem-se a restos de materiais cerâmicos, argamassa e seus componentes. A construção civil mundial é umas das indústrias que mais consomem recursos naturais e ainda é responsável por cerca de 25% a 30% de gases lançados na atmosfera, segundo o Green Building Council Brasil. Nada mais justo que a indústria que mais consome recursos naturais recicle resíduos para que eles voltem a ser insumos de obra e, por consequência, reduza a extração de matéria-prima e poluição. E se não for suficiente, reciclar também ajuda a baixar custos da sua obra.

Pesquisas de novos materiais e métodos construtivos vêm sendo realizados com o intuito de aumentar a eficiência e o desempenho das edificações, buscando adequar a indústria da construção civil aos conceitos de sustentabilidade. Uma alternativa é a incorporação do resíduo da construção e demolição (RCD) ao tijolo solo-cal.

O tijolo solo-cal é um material de construção constituído de solo, cal e água. Essa composição é composta por diversas vantagens como a facilidade na produção, não exigindo uma mão de obra especializada, podendo ser feita utilizando-se equipamentos simples e de baixo custo, além de ter sua resistência à compressão semelhante à do tijolo convencional. Além disso, diferente dos tijolos tradicionais, em sua fabricação não é necessário que o tijolo passe pelo processo de cozimento, evitando que impactos sejam causados através desse processo de fabricação.

Porém, deve-se salientar que para se ter um tijolo solo-cal com baixo consumo de cal e de boa qualidade necessita-se de um solo com características adequadas. A cal tem pouco efeito em solos altamente orgânicos e também em solos com pouca ou nenhuma quantidade de argila. É mais eficiente em solos argilosos, podendo ser mais efetivo que o cimento em pedregulhos argilosos (INGLES & METCALFT, 1972 apud LOPES JUNIOR, 2007).

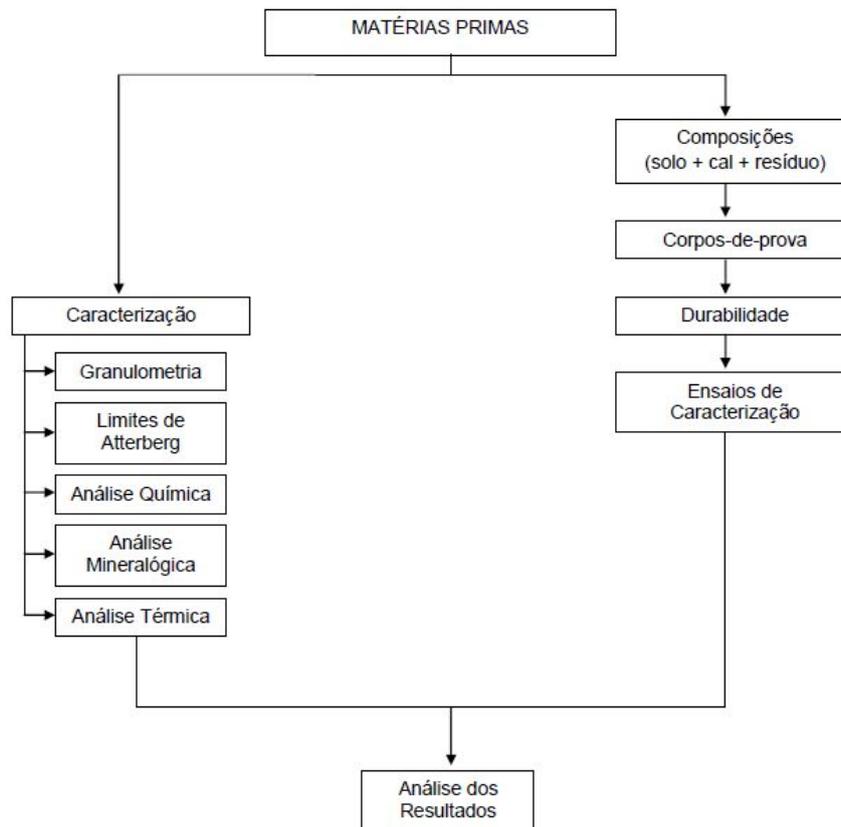
2. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo estudar a durabilidade de tijolos solo-cal, incorporados com resíduos de demolição para uso em construção civil. O estudo da durabilidade foi realizado utilizando-se o método do envelhecimento acelerado (molhagem e secagem), através das propriedades mecânicas, sendo estes parâmetros comparados com os valores de referência e normas da ABNT.

3. METODOLOGIA

Os materiais utilizados neste trabalho foram: resíduo da construção civil, proveniente da demolição do Laboratório de Solos I da UFCG/Campus I, Campina Grande, PB; solo argiloso proveniente de jazida próxima ao Condomínio Atmosfera, na BR-104, saída de Campina Grande para a cidade de Lagoa Seca, PB; cal hidratada conhecida comercialmente como “carbomil”, proveniente de fábrica em Limoeiro do Norte, CE, e água potável, fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba, para o abastecimento urbano. Em seguida, foram realizadas as etapas representadas no Fluxograma da Figura 1:

Figura 1 – Fluxograma das etapas realizadas na pesquisa



Fonte: Autor, 2011.

O resíduo de demolição, solo e a cal utilizados nesta pesquisa, foram caracterizados através dos seguintes métodos: análise granulométrica por peneiramento e difração a laser, limites de Atterberg, determinação da composição química, difração de raios X, análise termogravimétrica e termodiferencial.

Os corpos-de-prova foram moldados utilizando-se moldes cilíndricos, com dimensões básicas de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, tomando-se como referência a norma ABNT NBR 12024/92. O traço utilizado para a confecção desses corpos-de-prova foi de 1:10 (cal + resíduo:solo). O fator água/aglomerante foi de 1,98 e determinado através da umidade ótima de compactação. Foram confeccionados corpos-de-prova de referência, sem adição de resíduo e com incorporação de 25%, 50% e 75% de resíduo de demolição (RD) em substituição a parte do aglomerante (cal).

Após desmoldagem os corpos-de-prova foram colocados em sacos plásticos e etiquetados. Foi utilizado o processo de cura úmida, onde os corpos-de-prova ensacados foram colocados em tanques, cobertos por areia úmida e submetidos a períodos de cura de 28, 60 e 90 dias. Como mostrado na figura a seguir:

Figura 2- cura dos corpos de prova



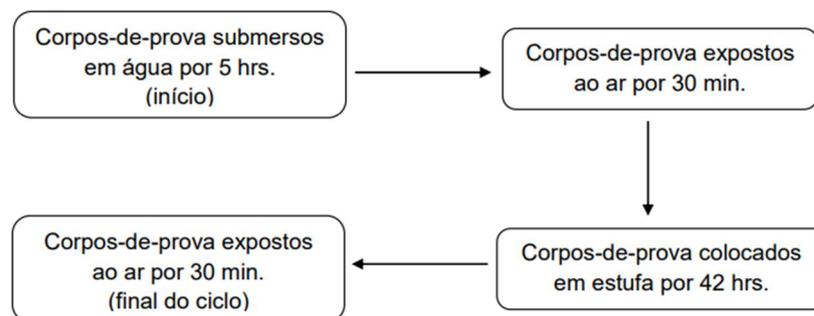
Fonte: Autor, 2011.

O estudo da durabilidade foi feito através do método de molhagem e secagem. Os corpos-de-prova moldados com solo-cal (referência) e os incorporados com 25%, 50% e 75% de resíduo em substituição ao aglomerante (cal) foram submetidos à análise. Para os períodos de cura de 28, 60 e 90 dias, foram moldados 56 corpos-de-prova por composição, representando 224 corpos-de-prova ensaiados por composição, num total de 672 para os três períodos de cura.



Adaptações/modificações na norma que estabelece os procedimentos do ensaio de durabilidade para solo-cimento, norma ABNT NBR 13554/96, foram realizadas baseadas no procedimento utilizado por Oliveira (2004) e Farias Filho (2007). Com esse ensaio objetiva-se avaliar a durabilidade de tijolos convencionais e alternativos, utilizando-se como indicador de degradação a resistência à compressão simples. A análise da durabilidade foi realizada nas seguintes etapas: 1. Esperou-se o período de cura dos corpos-de-prova; 2. Uma amostragem de 4 corpos-de-prova de cada composição foi retirada do tanque, secado em estufa por aproximadamente 5 horas a uma temperatura de 60°C e determinada a resistência média à compressão simples inicial. Outra amostragem com a mesma quantidade de corpos-de-prova foi deixada no tanque para realização do ensaio mecânico no final de todos os ciclos, representando a resistência média à compressão simples final; 3. Os corpos-de-prova restantes foram submetidos a 12 ciclos de molhagem e secagem, ao fim de cada ciclo uma amostra de 4 corpos-de-prova foi retirada e submetida ao ensaio de compressão simples, representando a resistência média à compressão simples do ciclo; 4. Por fim, os corpos-de-prova que estavam no tanque e não foram submetidos ao envelhecimento foram submetidos ao ensaio mecânico. Dessa forma, dentre os 56 corpos-de-prova representantes de cada composição nos períodos de cura estabelecidos, 8 representaram o comportamento do material quando não submetido ao fator de degradação (início e final) e os outros 48 foram submetidos ao ensaio de durabilidade, correspondente a 12 ciclos de molhagem e secagem, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Ciclo de molhagem e secagem



Fonte: Autor, 2011.

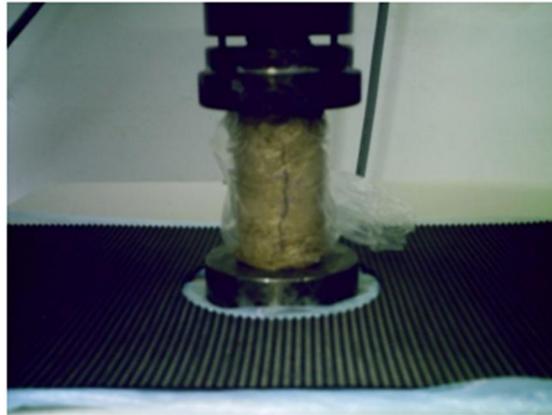
O método modificado de molhagem e secagem utilizado constituiu-se de 12 ciclos, onde cada ciclo correspondeu a: 5 horas de submersão dos corpos-de-prova em água; 30 minutos de exposição ao ar; 42 horas de secagem em estufa à temperatura de 60°C e 30 minutos de exposição ao ar dos corpos-de-prova (Fig.4); As Figuras 4 e 5 mostram os corpos-de-prova sendo submetidos ao processo de envelhecimento (molhagem e secagem) e ao ensaio de resistência a compressão simples (RCS).

Figura 4: Corpos-de-prova submetidos aos ciclos de molhagem e secagem



Fonte: Autor, 2011.

Figura 5: Corpo-de-prova submetido ao ensaio de RCS



Fonte: Autor, 2011.

O ensaio para determinar a resistência à compressão simples foi realizado nos corpos-de-prova, seguindo as prescrições indicadas pela NBR 12025 (ABNT, 1990). A prensa utilizada foi a SHIMADZU AG-IS com célula de 100 KN.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram estudadas a Resistência a Compressão Simples ao longo dos ciclos de molhagem e secagem para 28, 60 e 90 dias de cura.

A Tabela 1 apresenta os percentuais dos materiais que compõem o resíduo de demolição utilizado neste trabalho de pesquisa.

Tabela 1 – Materiais que compõem o resíduo de demolição

Materiais	Massa (%)
material cerâmico	32,64
Argamassa	36,34
Concreto	25,38
Revestimento	5,64

Fonte: Autor, 2011.

O resíduo é composto em maior quantidade de argamassas (36,3%) e materiais cerâmicos (32,6%). Este resultado pode estar relacionado à tipologia construtiva mais utilizada no Brasil, que é de alvenaria cerâmica com revestimento argamassado. A Tabela 2 apresenta os resultados da massa específica real e área específica das matérias-primas utilizadas neste trabalho de pesquisa.

Tabela 2 – Massa específica real e área específica das matérias primas

Amostras	Massa específica real (g/cm ³)	Área específica (m ² /g)
Solo	2,60	1,67
cal carbomil	2,26	1,40
Resíduo	2,56	0,40

Fonte: Autor, 2011.

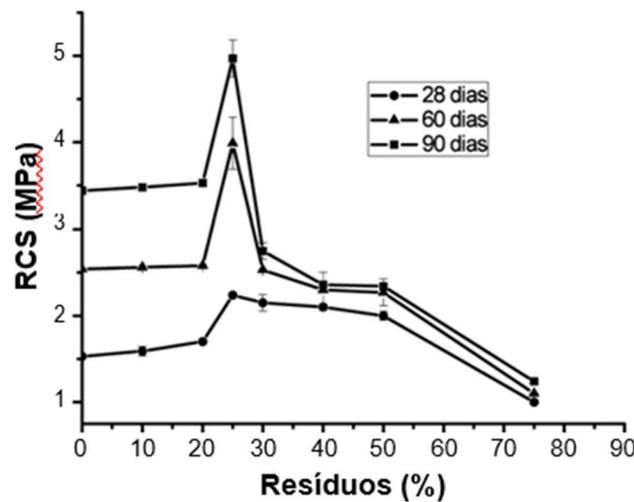
Os valores de massa específica real foram 2,60 g/cm³ para o solo, 2,26 g/cm³ para cal e 2,56 g/cm³ para o resíduo, estando este valor de acordo com a norma da ABNT NBR 6457, na qual a densidade real dos grãos varia de 2,60 g/cm³ a 2,80 g/cm³. Para área específica observa-se que as amostras apresentaram valores de 1,67 m²/g, 1,40 m²/g 0,40 m²/g para o solo, cal carbomil e o resíduo respectivamente, constatando que a maior finura é verificada para o solo em relação aos outros materiais. A superfície específica do resíduo de demolição apresentou valor 0,40 m²/g, estando este valor de acordo com os resultados dos resíduos estudados por J. Farias Filho, que variaram de 0,34 m²/g a 0,48 m²/g. Esta propriedade física influencia diretamente na superfície de contato e poderá permitir um aumento na atividade pozolânica e,



consequentemente, no comportamento mecânico das amostras. Este comportamento foi observado J Farias Filho no estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito.

A Fig. 6 apresenta resultados da resistência à compressão simples (RCS) dos corpos de prova solo-cal (referência) e incorporados com resíduo.

Figura 6 – Resistência à compressão simples (RCS) dos corpos de prova solo-cal e solo-cal-resíduo



Fonte: Autor, 2011.

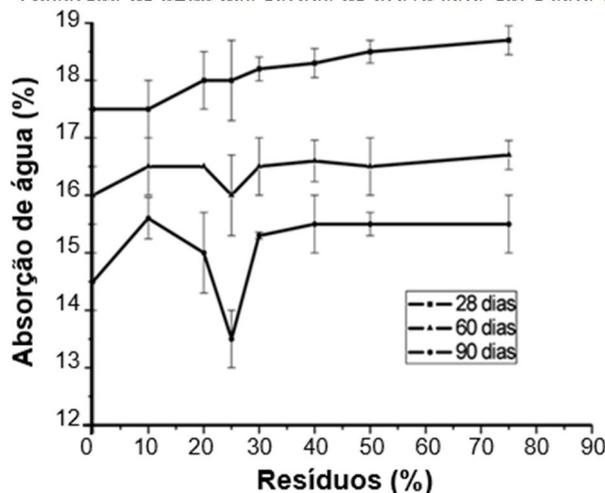
A resistência à compressão simples dos corpos de prova incorporados com 10%, 20%, 25%, 30%, 40% e 50% de resíduo de demolição aos 28 dias e com 10%, 20% e 25% de resíduo para os períodos de cura de 60 dias e 90 dias, conduziram a valores superiores aos de referência, sendo o valor máximo com 25% de resíduo de 2,24 MPa, 3,99 MPa e 4,97 MPa aos 28, 60 e 90 dias de cura respectivamente. A resistência à compressão simples dos corpos de prova incorporados com 20% e 25% de resíduo, para períodos de cura de 60 e 90 dias foram os que conduziram aos melhores resultados. De maneira geral os valores apresentados, identificam que o comportamento mecânico dos corpos de prova foi aumentado com o período de cura. Isto vem confirmar que quanto maior o tempo de cura maior a atividade pozolânica. Comparando os resultados com a norma da ABNT NBR 8491, verifica-se que todos os valores para 60 e 90 dias de cura foram superiores as especificações que é de 2,0 MPa, com exceção dos corpos de prova incorporados com 75% de resíduo em todos os períodos de cura.

Com relação especificamente a composição solo-cal incorporada com 50% do resíduo de demolição, com 28 dias permaneceu com a resistência dentro dos limites especificados pela norma ABNT NBR 10836/94. Com 60 dias apresentaram resistência bem próxima a exigida pela norma ABNT NBR 10836/94. E por fim, 90 dias apresentaram valores da RCS bem superiores ao exigido pela norma que é de 2,0 Mpa.

A Fig. 3 apresenta resultados de absorção de água dos corpos de prova sem resíduo de demolição (referência) e incorporados com resíduo.



Figura 7 – Absorção de água dos corpos de prova solo-cal e solo cal-resíduo



Fonte: Autor, 2011.

Para os corpos de prova de solo-cal incorporados com resíduo de demolição os valores de absorção de água se mantiveram abaixo do limite estabelecido pela norma ABNT NBR 10836/94 que é de 20%. A absorção de água tende a aumentar com a incorporação do resíduo e a diminuir com o tempo de cura.

5. CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

O objetivo desta pesquisa foi estudar a durabilidade de tijolos solo-cal incorporados com resíduos de demolição. A partir disso, pôde-se concluir que os corpos-de-prova solo-cal e incorporados com até 50% de resíduos de demolição apresentaram valores de RCS dentro das especificações da norma ABNT NBR 10836/94 e o estudo do envelhecimento iniciado aos 90 dias de cura apresentaram os melhores resultados, devido as reações pozolânicas com a cal serem lentas.

Com isso, percebe-se a importância e dificuldade de se estudar a durabilidade, principalmente o método do envelhecimento acelerado que favoreceu as reações pozolânicas em alguns casos. A incorporação de resíduos de demolição da construção civil em tijolos solo-cal sem função estrutural é satisfatória. O estudo mostrou que existe uma necessidade de um maior período para a cura deste material pois as reações químicas com materiais pozolânicos são lentas. Então, percebeu-se que das curas com 90 dias de envelhecimento foram obtidos melhores resultados, já que nesse período as reações já estavam estáveis.

Então, com todos os resultados percebe-se que a utilização de tijolos solo-cal sem função estrutural composta com resíduos da construção civil pode ser viável. Mas para isso, deve-se investir em pesquisas para que possa conhecer profundamente os comportamentos físico, mineralógico e mecânico desses materiais, para comprovar suas qualidades tecnológicas e junto com outros dados contribuir para estabelecer quantidades, formas e utilização desses materiais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio.** ABCP, São Paulo, SP, ET-35, 1956, 51p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA

_____. **NBR 6459:** Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7180:** Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7181:** Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7182:** Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 10004:** Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10832:** Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização da prensa manual. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 12025:** Solo-cimento – ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990.



_____. **NBR 13554**: Solo-cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, Rio de Janeiro, 1996.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de São Paulo. Ilha Solteira, 2006.

S. C. Angulo, V. M. John, Rev. Ci. Tecnol. Mater. Const. Civil **1**, 1 (2004) 22-32.

J. Farias Filho, G. A. Neves, H. S. Ferreira, J. W. B. do Nascimento, R. R. Menezes, L. F. L. Lucena, Land Contam. & Reclam. **18**, 4 (2011) 389-395