



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

TESE DE DOUTORADO

**A UTILIZAÇÃO DE UMA CAMADA DE SOLO COMPACTADO COMO
REVESTIMENTO IMPERMEABILIZANTE DE FUNDO DE BACIAS DE
DISPOSIÇÃO DE LAMA VERMELHA PRODUZIDA EM BARCARENA-PA**

Tese apresentada por:

RISETE MARIA QUEIROZ LEÃO BRAGA

Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA)

Coorientador: Prof^ª. Dra. Maria Eugênia Gimenez Boscov (USP)

Belém
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

B813u Braga, Risete Maria Queiroz Leão

A utilização de uma camada de solo compactado como revestimento impermeabilizante de fundo de bacias de disposição de lama vermelha produzida em Barcarena-PA / Risete Maria Queiroz Leão Braga; Orientador: Marcondes Lima da Costa; Coorientador: Maria Eugênia Gimenez Boscov – 2010

xviii, 153 f. : il.

Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

1. Barreira impermeabilizante. 2. Transporte de poluentes. 3. Lama vermelha. 4. Ensaios de compatibilidade. 5. Barcarena (PA). I. Universidade Federal do Pará II. Costa, Marcondes Lima da, *orient.* III. Boscov, Maria Eugênia Gimenez, *coorient.* IV. Título.

CDD 20° ed.: 363.7285098115



Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**A UTILIZAÇÃO DE UMA CAMADA DE SOLO COMPACTADA
COMO REVESTIMENTO IMPERMEABILIZANTE DE FUNDO
DE BACIAS DE DISPOSIÇÃO DE LAMA VERMELHA
PRODUZIDA EM BARCARENA-PA**

TESE APRESENTADA POR

RISETE MARIA QUEIROZ LEÃO BRAGA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutora em
Ciências na Área de **GEOQUÍMICA E PETROLOGIA**

Data de Aprovação: **11 / 06 / 2010**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. MARCONDES LIMA DA COSTA
(Orientador-UFPA)

Prof. Dr. HENRIQUE KAHN
(Membro-USP)

Prof. Dr. ORENCIO MONJE VILAR
(Membro-USP)

Prof. Dr. OSCAR JESUS CHOQUE FERNANDEZ
(Membro-IFPA)

Prof. Dr. ROBERTO DE FREITAS NEVES
(Membro-UFPA)



Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**A UTILIZAÇÃO DE UMA CAMADA DE SOLO COMPACTADA
COMO REVESTIMENTO IMPERMEABILIZANTE DE FUNDO
DE BACIAS DE DISPOSIÇÃO DE LAMA VERMELHA
PRODUZIDA EM BARCARENA-PA**

TESE APRESENTADA POR

RISETE MARIA QUEIROZ LEÃO BRAGA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutora em
Ciências na Área de **GEOQUÍMICA E PETROLOGIA**

Data de Aprovação: **11 / 06 / 2010**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. MARCONDES LIMA DA COSTA
(Orientador-UFPA)

Prof. Dr. HENRIQUE KAHN
(Membro-USP)

Prof. Dr. ORENCIO MONJE VILAR
(Membro-USP)

Prof. Dr. OSCAR JESUS CHOQUE FERNANDEZ
(Membro-IFPA)

Prof. Dr. ROBERTO DE FREITAS NEVES
(Membro-UFPA)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

PARECER

Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de RISETE MARIA QUEIROZ LEÃO BRAGA

A banca examinadora da tese de doutorado de **RISETE MARIA QUEIROZ LEÃO BRAGA**, intitulada "A UTILIZAÇÃO DE UMA CAMADA DE SOLO COMPACTADO COMO REVESTIMENTO IMPERMEABILIZANTE DE FUNDO DE BACIAS DE DISPOSIÇÃO DE LAMA VERMELHA PRODUZIDA EM BARCARENA-PA", composta pelos Professores Doutores Marcondes Lima da Costa (Orientador-UFPA), Orencio Monje Vilar (USP), Henrique Kahn (USP), Oscar Jesus Choque Fernandez (IFPA) e Roberto de Freitas Neves (UFPA) após a apresentação oral e arguição da candidata, emite o seguinte parecer.

A candidata apresentou contribuição relevante ao conhecimento sobre o uso de camada de solos tropicais compactados para conter a contaminação potencial de resíduos tipo lama vermelha do processo Bayer. A apresentação oral foi clara, bem estruturada e de conteúdo relevante. Na arguição a candidata defendeu sua tese e as hipóteses nelas formuladas, bem como defendeu satisfatoriamente as várias questões gerais e específicas apresentadas.

Com base no exposto, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado.

Belém, 11 de junho de 2010.

Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (Orientador-UFPA)

Prof. Dr. Orencio Monje Vilar (USP)

Prof. Dr. Henrique Kahn (USP)

Prof. Dr. Oscar de Jesus Choque Fernandez (IFPA)

Prof. Dr. Roberto de Freitas Neves

RESUMO

As especificações técnicas e o estudo do transporte de massa em meios porosos para controle ambiental apontam à necessidade de uma barreira impermeabilizante de fundo, geralmente composta por uma geomembrana sobreposta a uma camada de solo compactado (“compacted clay liner”), para a disposição de resíduos sólidos em terreno natural. Em 1995, entrou em atividade no Pará a unidade industrial da Alumina do Norte do Brasil S/A, para produzir e comercializar alumina (Al_2O_3) para a Albrás Alumínio Brasileiro S/A. Os rejeitos dessa indústria, conhecidos como “lama vermelha” (LV), são gerados pela digestão da bauxita por soluções de hidróxido de sódio (Processo Bayer) e dispostos em bacias impermeabilizadas por geomembranas. A fase sólida da LV é constituída por hematita, anatásio e goethita (resíduos da bauxita) e sodalita (formada durante o processo). A fase líquida encontra-se inicialmente em pH 12 e é rica em sódio solúvel. Neste trabalho estudou-se a viabilidade técnica da utilização de um solo local no revestimento das bacias de disposição, considerando capacidade de impermeabilização e compatibilidade com a LV. A investigação experimental consistiu na caracterização física, química e mineralógica, e na determinação das propriedades geotécnicas (compactação, permeabilidade e colapso) e ambientais (lixiviação e difusão) do solo. O estudo mostrou que o solo utilizado equivale aos Latossolos Amarelos da Amazônia: é silto-arenoso, amarelo, composto predominantemente de quartzo, caulinita e menores concentrações de goethita/hematita e anatásio, e rico em SiO_2 e Al_2O_3 além de Fe_2O_3 e TiO_2 . O solo compactado apresentou coeficiente de permeabilidade menor que 10^{-9} m/s à água e a soluções de hidróxido de sódio nas concentrações de 1,23% e 5%. Análises por MEV/SED do solo compactado em contato com a LV por um ano identificaram a difusão de Na, aumentando em 1950% sua concentração no solo, ainda assim sem atingir valores que impliquem contaminação da água do solo. Os ensaios edométricos revelaram que o solo compactado na umidade ótima torna-se muito compressível quando percolado por soluções de NaOH, constatação confirmada por ensaios de potencial zeta, reometria, distribuição granulométrica e limites de consistência com diversas soluções, os quais evidenciaram a dispersão das partículas sólidas pelo hidróxido de sódio, acarretando alteração no comportamento mecânico do solo. Conclui-se que infiltrações de soluções cáusticas podem conduzir a uma diminuição do fator de segurança de barragens e “liners” em áreas de disposição de lama vermelha, quando as geomembranas apresentarem defeitos ou furos.

Palavras-chave: barreira impermeabilizante, transporte de poluentes, lama vermelha, sódio, compatibilidade, colapso

ABSTRACT

International technical specifications and the study of mass transport through porous media for environmental control point out to the need of bottom liners, usually composed of a geomembrane associated to a compacted clay liner (CCL), for waste disposal in soil. In 1995, an industrial unit of Alumina of Brasil S/A started activities in the state of Para, Brazil, to produce alumina, Al_2O_3 , for Albrás Alumínio do Brasil S/A. The wastes of this industry, known as "red mud", are generated by the digestion of bauxite by solutions of sodium hydroxide (Bayer process) and disposed in basins lined by geomembranes. The solid phase of red mud is constituted by hematite, anatase and goethite (residues of bauxite) and sodalite (formed during the industrial process); the liquid phase, initially at pH 12, is rich in soluble sodium. This research investigated the technical feasibility of the utilization of a local soil in the construction of a CCL for the disposal basins, considering its impermeabilization capacity and compatibility with the red mud. The experimental investigation consisted of the physical, chemical and mineralogical characterization and determination of geotechnical (compaction, permeability and collapse) and environmental properties (leaching and diffusion) of the soil. The study showed that the used soil is equivalent to Yellow Latosols of Amazonia: it is silt-sandy, yellow, composed predominantly of quartz, kaolinite and smaller concentrations of goethite/hematite and anatase, and therefore rich in SiO_2 and Al_2O_3 besides Fe_2O_3 and TiO_2 . The compacted soil, submitted to seepage of water and solutions of sodium hydroxide at concentrations of 1.23% and 5%, presented permeability coefficient smaller than 10^{-9} m/s. SEM/EDS analyses of the compacted soil in contact with red mud for over a year identified the diffusion of Na, which content in the soil increased 1950%, however without reaching limit contamination levels. Oedometric collapse tests revealed that the soil compacted in the optimum water content under Proctor standard effort becomes remarkably compressible when saturated with NaOH solutions, which was confirmed by zeta potential, rheometer, and characterization tests with NaOH solutions: solid particles are dispersed and consequently the geo-mechanical behavior of the soil alters by contact with NaOH solutions. The results lead to the conclusion that infiltration of caustic solutions can cause a decrease of the safety factor of dams and CCLs in red mud disposal areas, when geomembranes present defects or holes.

Key-words: compacted clay liners, contaminant transport, red mud, sodium, compatibility tests, collapse.