UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MARTA PEREIRA DA LUZ

APROVEITAMENTO DE FILER DE PEDREIRAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS URBANOS – AVALIAÇÃO TÉCNICA E SÓCIO-AMBIENTAL

Goiânia
2008

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

MARTA PEREIRA DA LUZ

APROVEITAMENTO DE FILER DE PEDREIRAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS URBANOS- AVALIAÇÃO TÉCNICA E SÓCIO-AMBIENTAL

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Ciências Ambientais – Universidade Federal de Goiás, para obtenção de título de Doutora em Ciências do Ambiente.
Área de concentração: Conservação, Desenvolvimento e Sociedade.
Orientadora: Prof[a]. Selma Simões de Castro, DSc.
Co-orientadora: Prof [a]. Lilian Ribeiro de Rezende, DSc.

Goiânia
2008

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

(GPT/BC/UFG)

Luz, Marta Pereira da.

L979a Aproveitamento de filer de pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos [manuscrito]: avaliação técnica e sócio-ambiental / Marta Pereira da Luz. – 2008.

103 f.: il., figs.

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Selma Simões de Castro. Co-orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Lílian Ribeiro de Rezende.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, 2008.

Bibliografia.

1. Resíduos industriais – Goiânia (GO) 2. Filer 3. Educação Ambiental 4. Resíduos Sólidos I. Castro, Selma Simões de II. Rezende, Lílian Ribeiro III. Universidade Federal de Goiás. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. **Programa de Doutorado em Ciências Ambientais** IV. Título.

CDU: 628.4(817.3)

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Membros da Banca Examinadora de Defesa Pública de Tese de Doutorado em Ciências Ambientais, realizada em 27 de novembro de 2008, às 08 h e 30 min.

Prof.ª Dr.ª Selma Simões de Castro - UFG

Prof.ª Dr.ª Agustina Rosa Echeverría - UFG

Prof. Dr. Carlos Hiroo Saito - UnB

Prof. ª Dr.ª Liedi Légi Bariani Bernucci - USP

Prof. Dr. João Carlos de Oliveira - Cefet-GO

Campus Samambaia – Bloco ICB IV – Caixa Postal 131 – CEP: 74001-970 – Goiânia-GO – Brasil
Tel/Fax.: (0__62) 521-1024 – E-mail: secciamb@prppg.ufg.br – Home Page: http://www.ufg.br/ciamb

"Buscai em primeiro lugar o Reino de Deus e a sua justiça e todas estas coisas vos serão dadas em acréscimo".
(Mateus 6:33)

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais: José e Antônia,
e a minha querida irmã Cláudia.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade da vida, da saúde e do conhecimento.

À professora Selma Simões de Castro pela dedicação, oportunidade da realização desta tese, pelas palavras de conforto nos momentos difíceis, pelo companheirismo, e por acreditar neste trabalho.

À professora Agustina Rosa Echeverría pela dedicação, pela amizade e por me proporcionar conhecimentos em uma nova área, uma pessoa que deveria ser pública pelos grandes conhecimentos que possui na área de ensino.

À professora Lilian Ribeiro de Rezende, pela dedicação e disposição em ajudar em todos os momentos, uma pessoa admirável. Lara, me desculpe por manter a sua mãe ocupada nesse momento inicial de sua vida!

À Professora Liedi Légi Bariani Bernucci pelo exemplo de profissionalismo que me inspira.

Quatro mulheres fortes!

Ao meu estimado padrinho Sr. Francisco Batista Nepomuceno e a querida Jú pelo carinho, apoio nos momentos difíceis de minha vida e pelo exemplo de caráter que representam.

Ao doce Bernardo pelo companheirismo, carinho e atenção.

Aos grandes amigos: José João, Gi, Rossi, Juliano Monteiro, Gilberto Labor, Lucas Céleri, Giovani Batalione, Kátia, Kleber, meus queridos alunos da UCG e tantas outras pessoas queridas que me acompanham, mesmo que a distância nos separe geograficamente.

Ao aluno de mestrado Weliton pelo companheirismo, calma e força durante a execução do trecho experimental.

Ao Noé, secretário do Ciamb, pelo apoio, simpatia e agilidade, empregado em todos os momentos que o solicitei.

Ao laboratório de Tecnologia de Pavimentos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo por nos conceder o uso do laboratório. Especiais agradecimentos aos técnicos Edson Moura e Erasmo.

À Furnas e todos os funcionários que viabilizaram parte da etapa laboratorial.

Ao Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Goiânia (DERMU), em nome de Leandro, Jonício e Mauro Miranda pelo apoio e patrocínio do trecho experimental.

Ao Sindicato das Indústrias de Mineração – SINDIBRITA, em nome de Flávio Rassi, Jorge, Wilson e Salim, pelo apoio durante o trabalho.

Aos alunos Saul, Márcia, Diego e Thiago, pelo empenho e dedicação na realização do trecho experimental.

RESUMO

A geração de resíduos industriais tem merecido destaque crescente na Ciência e Tecnologia devido à problemática causada pelo seu armazenamento ou descarte inadequado, que pode trazer conseqüências negativas para o trabalhador, interno a empresa, e à população circunvizinha, além de gerar passivo ambiental. Medidas que internalizem tais passivos para o sistema produtor são necessárias, mas não suficientes para a mudança em larga escala, no que se refere ao gerenciamento sustentável dos resíduos sólidos. Para tanto, há a necessidade premente de soluções técnicas e participativas.Técnicas, de forma a permitir a viabilização do aproveitamento ou minimização da geração do resíduo, e participativas, de forma a minimizar as conseqüências negativas sobre as comunidades e entidades que direta ou indiretamente fazem parte desse processo. Neste contexto foi estudado o resíduo do setor de mineração de pedra britada da Região Metropolitana de Goiânia, importante provedor de recursos para o desenvolvimento econômico da região, além de grande gerador de resíduos oriundos de seu processo. A pesquisa iniciou-se pela caracterização físico-química de seu principal resíduo: o filer, ressaltando os efeitos na saúde em geral, e pela avaliação da forma como o trabalhador dessas empresas se relaciona com a questão ambiental nesse contexto em que vivem. Para tanto, foi aplicado formulário contendo questões que permitiram concluir que o perfil desta mão-de-obra é extremamente carente de informações que lhes garantam conhecimento para colaborar com aspectos legais diretamente relacionados com a sua atividade. Pôde-se observar ainda que metodologias específicas de Educação Ambiental precisam ser aplicadas para atender a esses casos. Foi ainda detectado que de fato o acúmulo do filer pode trazer prejuízos à sociedade sobre o aspecto da saúde, em função de suas características físico-químicas, dentre as quais se destaca a alta concentração de sílica. Com esses dados justificou-se a necessidade e a importância de se conseguir uma solução técnica para diminuir o quantitativo desse resíduo, optando-se então por testar diversas misturas de solo natural e filer, com base em análises laboratoriais embasadas em mecânica dos solos, com o objetivo de aplicar o filer em pavimentação rodoviária, pois esta atividade absorve altas quantidades de material em suas camadas constituintes e tem atraído diversos pesquisadores que tentam novas alternativas de uso para resíduos industriais de natureza diversa. Nesta fase foram feitos ensaios de: caracterização, CBR, triaxial dinâmico, permeabilidade e compressão simples com dosagens variadas de solo argiloso laterítico com o filer. A partir dos resultados desses ensaios foi possível estabelecer que as dosagens de 30 % de filer dosado ao solo compactado na energia modificada e 20% de filer dosado ao solo compactado na energia intermediária podem ser aplicados, respectivamente, em base e sub-base de pavimentos flexíveis urbanos sujeitos a baixo volume de tráfego. O resultado do módulo de resiliência sinaliza para a necessidade de prudência na aplicação do filer, pois as cargas repetidas do ensaio mostraram que as amostras que se apresentaram adequadas no ensaio estático de CBR podem sofrer processos que podem conduzir a perda de resistência mecânica. Após a determinação, em laboratório, das dosagens mais apropriadas para aplicação em pavimentação de solo-filer foi executado trecho experimental com este material. A análise de seu comportamento foi feita utilizando-se os seguintes ensaios de campo: frasco de areia, *speedy*, penetrômetro dinâmico de cone, prova de carga sobre placa e viga Benkelman. Os resultados desses ensaios foram comparados com os obtidos em trecho executado no mesmo local, com solo-brita e cascalho laterítico, ditos materiais convencionais. Pôde-se concluir que o comportamento mecânico do trecho experimental executado com misturas solo-filer adéquam-se às condições estabelecidas pelas normas técnicas vigentes de pavimentação até o momento em que foram monitoradas, sendo que o seu comportamento mecânico é comparável com o obtido utilizando materiais convencionais.

Palavras-chave: Filer. Educação Ambiental. Pavimentação. Resíduos sólidos. Meio ambiente.

ABSTRACT

The generation of industrial waste has been the object of increasing attention in the field of Science and Technology because of the problems which arise when it is stored and inadequately disposed of. This can have negative consequences for the worker, the company and for the neighboring population. In addition it can generate liabilities for the environment. Measures which internalize such liabilities for the productive system are necessary, but not sufficient to bring about large scale changes in what concerns the sustainable management of solid waste. Therefore, there is an urgent need for technical and participative solutions. Technical solutions would make it viable to reuse or reduce the generation of waste, while participative solutions would reduce the negative consequences for communities and bodies who directly or indirectly are part of this process. In this context, waste from the quarrying of crushed stone was studied in the metropolitan Region of Goiânia. Quarrying is an important source of resources for the economic development of the region but it is also a great generator of solid waste. The research began with the physical and chemical characterization of filler, which forms the greatest volume of solid waste, resulting from quarrying and focused on its general effects on health. It also evaluated how the workers in these companies relate to the environmental issue in this context in which they live. A survey with questions was distributed and from the answers it could be concluded that the profile of these workers is extremely lacking in information which would provide them with information to deal with legal aspects directly related to their activity. Furthermore, it could be seen that specific methodologies in Environmental Education are needed to attend to these cases. It was also detected that the accumulation of filler can be harmful to society in terms of health. This is because of its physical and chemical characteristics, and in particular its considerable concentration of silica. These facts justify the need to find a technical solution to reduce the quantity of this waste. Hence it was decided to test different blends of natural soil and filler, using laboratory tests based on soil mechanics, with a view to investigating the possibility of using filler in road pavement, as it absorbs enormous quantities of material in its constituent layers and has attracted the attention of researchers in an effort to find new alternative uses for the different types of industrial waste. At this phase, tests were carried out for characterization, CBR, dynamic triaxial tests, permeability, compressive strength using varied quantities of lateritic clay soil as filler. From the results of these tests it was possible to claim that proportions of 30% filler added to compacted soil with modified energy and 20% filler added to compacted soil with intermediate energy can be used for base and sub base purposes, respectively, in flexible urban pavements with light traffic. The result of the resilience module points to the need for prudence in the use of filler, as repeated loads of filler in the test showed that the samples which were most appropriate in the CBR Statistical Test can undergo processes leading to a loss of mechanical resistance. After deciding in the laboratory on the most appropriate proportions of soil-filler for use in pavements, an experimental track was built using this material. An analysis of its behavior was done using the following field tests: sand flagon test, speedy, dynamic cone penetration, loading plate and Benkelman beam. The results of these tests were compared with those obtained from a track built in the same location with soil-crushed rock and lateritic gravel, both considered conventional material. It could be concluded that the mechanical behavior of the experimental track built with soil-filler blends are adequate for the conditions established by the technical norm in force up until the moment they were monitored, since its mechanical behavior is comparable to that obtained when using conventional materials.

Keywords: Filler. Environmental Education. Pavement. Solid Wastes. Environment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 11

2 ARTIGOS..... 15

2.1 O TRABALHADOR DA INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA E O SEU AMBIENTE PRODUTIVO: DIAGNÓSTICO PARA A SUGESTÃO DE METODOLOGIAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL..... 16

2.2 Laboratory Analysis of the viability of soil-filler blends in pavements..... 39

2.3 COMPORTAMENTO DE UM TRECHO EXPERIMENTAL EXECUTADO COM FILER DE PEDREIRA..... 69

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 99

4 ANEXOS..... 101

1 INTRODUÇÃO

O eixo Goiânia-Brasília constitui-se no terceiro mercado consumidor de produtos resultantes do processo de britagem no país. Goiânia, com uma população de cerca de 1,4 milhões de habitantes, consome atualmente aproximadamente 100.000 metros cúbicos de pedra britada por mês, embora tenha potencial para consumir até 250.000 metros cúbicos. Segundo dados da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil (ANEPAC, 2004) existem hoje nesta região 10 produtores de brita distribuídos na periferia de Goiânia, em Aparecida de Goiânia e Goianira.

Com esses dados fica evidente a necessidade de solucionar os problemas gerados pelo acúmulo de resíduos advindos do processo de lavagem da brita, já que atualmente, dada a pouca incorporação desses resíduos em outros processos industriais, as empresas são obrigadas a manter o material armazenado em sua área, o que acarreta uma série de inconvenientes, tais como: poluição visual, poluição atmosférica, poluição hídrica e problemas de saúde ao trabalhador e população circunvizinha.

Considerando-se a problemática de busca de uma solução técnica alternativa para o aproveitamento de resíduo de pedreira de brita, o filer, a presente tese partiu da hipótese de que sua mistura com solo laterítico local poderia ser viável e ao mesmo tempo importante para a questão da saúde da comunidade envolvida com o mesmo, acompanhando a tendência mundial atual de busca de novas alternativas sócio-ambientalmente sustentáveis para empreendimentos que geram passivos ambientais e afetam a segurança e a saúde da comunidade.

Testar o aproveitamento do resíduo de pedreira e, por outro, sua aplicação à pavimentação rodoviária, é meta relevante na configuração tecnológica atual, visto que essa atividade absorve grandes quantidades de material para construção civil e pavimentação urbana, notadamente em regiões metropolitanas em franco crescimento como é o caso da Região Metropolitana de Goiânia (RMG). Além disso, esse aproveitamento do filer pode contribuir para que se reduza a poluição por resíduos sólidos antes considerados inúteis, relacionados a passivo ambiental, tornando-os uma espécie de “nova” matéria-prima, promovendo-os no status econômico e ambiental.

A busca das alternativas a essas questões do resíduo traduziram-se no objetivo geral deste trabalho que visa estabelecer uma nova alternativa técnica para o aproveitamento do filer em pavimentação urbana flexível de baixo volume de tráfego, como subsídio para um empreendimento sustentável.

Tendo-se em vista os aspectos de detalhe que envolve o estudo, algumas questões específicas se mostraram relevantes para ordenar as etapas da pesquisa, a saber: Quais são os danos que o filer causa à pessoa humana em especial ao trabalhador das pedreiras e comunidade do seu entorno imediato? Quanto ao seu aproveitamento, dentre várias opções a serem testadas, ele pode ser aproveitado como matéria-prima em pavimentação flexível urbana de baixo tráfego? Nesse sentido, o filer apresenta características que permitem sua mistura a solo local de modo a viabilizar essa aplicação? Qual é solo mais adequado? Quais são os parâmetros para a avaliação dessas misturas em laboratório? A mistura ideal em condições de laboratório, aplicada em pista experimental é durável? O pavimento suporta a carga planejada sem deformações comprometedoras? Se sim, essa nova alternativa apontaria na direção de sustentabilidade sócio-ambiental do empreendimento?

Tais questões se tornaram os objetivos específicos da pesquisa, a saber: a) caracterizar o filer e o solo para estabelecer alternativas de misturas possíveis a serem testadas quanto ao comportamento de estabilidade e resistência; b) obter os parâmetros de mistura ideal de solo-filer para a pavimentação prosposta; c) construir trecho em pista experimental com a mistura ideal em seqüência de trechos convencionais (brita e cascalho) para fins de teste específico e comparado em condições de campo, mediante monitoramento de estabilidade e resistência dos trechos.

Em conseqüência, como estratégia metodológica, partiu-se da seleção de uma área apropriada para implantação da pista experimental e do princípio de parcerias para viabilizar técnica e operacionalmente a pesquisa em laboratório e em campo, e, subsequentemente, procedeu-se aos estudos técnicos relativos às misturas.

A seleção da área para construção de pista experimental baseou-se no critério de proximidade de pedreira que contivesse empilhamento significativo de filer e interesse em se tornar parceira da pesquisa, além de proximidade de jazida de solo laterítico em condições de exploração para o fornecimento de solo. Selecionou-se, assim, uma pedreira na Região Metropolitana de Goiânia após entendimentos de cooperação e procedeu-se a acordos com Furnas Centrais Elétricas para a realização de ensaios de mecânica de solos; com a CEASA (Centrais de Abastecimento de Goiás S/A), proprietário da área que contém a jazida do solo laterítico considerado ideal para a mistura, com base na literatura consultada; com a Prefeitura de Goiânia, através de sua divisão DERMU (Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Goiânia), como parceira na construção do pavimento experimental além de outros proprietários do local para cooperação.

Os trabalhos foram iniciados pela caracterização do perfil sócio-econômico-cultural do trabalhador do setor de produção das empresas mineradoras localizadas na Região Metropolitana de Goiânia (RMG), com o fim de avaliar como estes trabalhadores se relacionam com as questões ambientais no contexto em que estão inseridos. A partir desse diagnóstico foram estabelecidas críticas e ponderações sobre os resultados dos processos de Educação Ambiental presentes ou ausentes nas empresas mineradoras da RMG e as suas conseqüências sobre os trabalhadores. Paralelamente, foram feitos estudos técnicos de avaliação do aproveitamento do filer através do conhecimento de sua composição e avaliação de dano potencial à saúde, com base em determinações laboratoriais e revisão de literatura. Essa fase resultou no primeiro artigo apresentado na presente tese.

Em seguida procedeu-se à continuidade dos estudos técnicos desta feita já com base na proposta de mistura de solo-filer para compor base e sub-base de pavimentos de capa asfáltica. Dois conjuntos de atividades foram desenvolvidas. O primeiro em laboratório geotécnico de mecânica de solos, onde diversas proporções de misturas solo x filer foram testadas, segundo parâmetros de caracterização e resistência tendo-se por referência as normas vigentes para pavimentação urbana flexível da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Para essa etapa da pesquisa procedeu-se a entendimentos com a Escola Politécnica da USP – Laboratório de laboratório de Tecnologia da Pavimentação para realização dos ensaios sobre as amostras dosadas segundo a realidade implementada em campo. Os resultados dessa fase são apresentados e discutidos no segundo artigo desta tese.

Identificada a mistura ideal, nas condições de pesquisa, procedeu-se ao segundo e último conjunto de atividades, as quais envolveram a construção da pista experimental e seu monitoramento durante cerca de um ano (abrangendo uma estação chuvosa, momento em que as águas pluviais representam grande impacto ambiental em regiões tropicais subúmidas, como é o caso do cerrado). Foi construída uma pista, próxima à CEASA, contendo trecho (200m) com solo x filer seguido de outros trechos construídos segundo métodos convencionais para fins de comparação, totalizando cerca de 800 m de pista, sendo que tanto a construção como o monitoramento desse trechos convencionais foram feitos em equipe visando outros trabalhos acadêmicos. Os resultados desse conjunto de atividades estão apresentados e discutidos no terceiro artigo desta tese, onde os referidos trabalhos são também citados.

Optou-se por apresentar a tese na forma de artigos, que constituem a essência dos resultados obtidos na pesquisa, a saber:

- Artigo 1 – “O trabalhador da indústria da mineração da Região Metropolitana de Goiânia e o seu ambiente produtivo: diagnóstico para a sugestão de metodologias de Educação Ambiental”: Revista *Ambiente e Sociedade*[*]

- Artigo 2 – “Laboratory Analysis of the viability of soil-filler blends in pavements”: Revista *Soils and Rocks*[*].

- Artigo 3 – “Comportamento de um trecho experimental executado com filer de pedreira”: Revista *Geotecnia* *.

* todos periódicos Qualis Nacional A conforme avaliação feita pela CAPES/2007.

2 ARTIGOS

O TRABALHADOR DA INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA E O SEU AMBIENTE PRODUTIVO: DIAGNÓSTICO PARA A SUGESTÃO DE METODOLOGIAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Marta Pereira da Luz[1]
Agustina Rosa Echeverría[2]
Selma Simões de Castro[3]
Poliana Lucila Oliveira[4]

RESUMO

O presente artigo aborda a relação do trabalhador do setor de mineração da Região Metropolitana de Goiânia (RMG) com seu ambiente produtivo. Para tal fez-se a caracterização físico-química do principal resíduo deste setor, o filer. Posteriormente foi aplicado formulário junto aos trabalhadores da área de produção avaliando o seu perfil sócio-econômico-cultural, de saúde e a sua relação com a problemática ambiental. Desta forma foi possível tecer ponderações sobre a Educação Ambiental nestas empresas.

Palavras-chave: mineração, segurança do trabalhador, Educação Ambiental, resíduo de mineração.

ABSTRACT

This article treats of the relationship of quarry workers in the Metropolitan Region of Goiânia (MRG) with their productive environment, and to do so it undertook a physical and chemical characterization of the principal waste in this sector, filler. Workers in the production field then filled out a questionnaire to evaluate their economic, cultural and health profiles and their relationship with environmental issues. This made it possible to draw up considerations on Environmental Education in these companies.

Keywords: quarrying, worker safety, Environmental Education, quarry waste.

[1]Marta Pereira da Luz, Mestre, Universidade Federal de Goiás, Doutoranda do Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Campus Samambaia - Bloco ICB4, Caixa Postal 131, CEP.: 74001-970, Goiânia-GO, e-mail: marta.eng@ucg.br.
[2]Agustina Rosa Echeverría, Professora Efetiva, Doutora, Universidade Federal de Goiás, Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Samambaia - Bloco ICB4, Caixa Postal 131, CEP.: 74001-970, Goiânia-GO, e-mail: agustina@quimica.ufg.br.
[3]Selma Simões de Castro, Professora Titular, Doutora, Universidade Federal de Goiás, Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Campus Samambaia - Bloco ICB4, Caixa Postal 131, CEP.: 74001-970, Goiânia-GO, e-mail: selma@iesa.ufg.br.
[4]Poliana Lucila Oliveira, acadêmica do curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal de Goiás, Instituto de Química. Campus II 74001-970. Goiânia-GO, e-mail: poli-lucila@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos naturais pelo ser humano ocorre continuamente desde a sua existência, já que deles depende para se alimentar, para depositar os seus dejetos e para usufruir de condições adequadas para a sua manutenção no planeta. No entanto, utilizar esses recursos determina modificações no meio em que estes se distribuem. Assim sendo, ao longo do tempo o ser humano, por concepções de ambiente e de sua relação com ele (SAUVÉ, 2001), por limitações de conhecimento ou de tecnologia entre outros motivos, vem causando problemas ao ambiente – poluição da água, poluição do ar, ruído, acúmulo de resíduos sólidos e outros efeitos resultantes da sua ação (SEWELL, 1978).

Atualmente, a geração de resíduos industriais tem tido destaque em função da sua capacidade de gerar problemas ambientais pelo seu descarte inadequado, devido à carência de alternativas técnicas e economicamente viáveis para o seu aproveitamento. Por essa razão, medidas que internalizem os custos ambientais para "dentro do ambiente produtor" são necessárias, mas não suficientes para a mudança do comportamento em larga escala no que se refere ao tratamento dos resíduos sólidos industriais.

Assim, uma lista de opções para a implementação de políticas ambientalmente sustentáveis, no que concerne à destinação de resíduos provenientes de atividades industriais, deve incluir a aplicação de leis, além de instrumentos econômicos e sociais, tais como infra-estrutura, informação, educação e desenvolvimento tecnológico (BRANDSMA; EPPEL, 1997).

O eixo Goiânia-Brasília constitui-se no terceiro mercado consumidor de produtos resultantes do processo de britagem no país. Goiânia, com uma população de cerca de 1,4 milhões de habitantes, consome atualmente aproximadamente 100.000 metros cúbicos de pedra britada por mês, embora tenha potencial para consumir até 250.000 metros cúbicos. Segundo dados da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil (ANEPAC, 2004) existem hoje nesta região 10 produtores de brita distribuídos na periferia de Goiânia, em Aparecida de Goiânia e Goianira.

Com esses dados fica evidente a necessidade de solucionar os problemas gerados pelo acúmulo de resíduos advindos do processo de lavagem da brita, já que atualmente, dada a pouca incorporação desses resíduos em outros processos industriais, as empresas são obrigadas a manter o material armazenado em sua área, o que acarreta uma série de inconvenientes, tais como: poluição visual, poluição atmosférica, poluição hídrica, indisposição com a circunvizinhança e ocupação indevida do terreno.

Tendo-se em vista tais os aspectos, objetiva-se com este trabalho estabelecer o perfil sócio-econômico-cultural do trabalhador do setor de produção das empresas mineradoras localizadas na Região Metropolitana de Goiânia (RMG), bem como avaliar como estes trabalhadores se relacionam com as questões ambientais no contexto em que estão inseridos. A partir desse diagnóstico serão estabelecidas críticas e ponderações sobre os resultados dos processos de Educação Ambiental presentes ou ausentes nas empresas mineradoras da RMG e as suas conseqüências sobre os trabalhadores.

Como informação complementar, conjuntamente a esta análise, estudos técnicos de avaliação do aproveitamento do filer foram feitos, com base em proposta de mistura de solo-filer para compor base e sub-base de pavimentos de capa asfáltica, em pista experimental visando, por um lado, testar o aproveitamento do resíduo e, por outro, sua aplicação à pavimentação rodoviária, o que é relevante na configuração tecnológica atual, visto que a esta atividade absorve grandes quantidades de material. Além disso, esse aproveitamento do filer pode contribuir para que se reduza a poluição por resíduos sólidos antes considerados inúteis, tornando-os uma espécie de matéria-prima.

2 A MINERAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A atividade mineradora sempre foi conhecida pela sua grande importância como geradora de fontes de energia e de fornecimento de insumos necessários para a manutenção do desenvolvimento econômico e tecnológico, tal como o conhecemos hoje. Portanto, trata-se de uma atividade necessária, porém são também conhecidos os problemas ambientais gerados por esta atividade.

Uma atividade causar passivos ambientais não significa que a mesma deva ser banida, mas sim avaliada segundo uma lógica de desenvolvimento que considere a sustentabilidade dessa atividade. Para isto é necessário discutir o próprio conceito de sustentabilidade que vem sendo desenvolvido ao logo do tempo em eventos oficiais e por organismos de reconhecido valor acadêmico, conforme brevemente descrito a seguir.

O Relatório de Brundtland, de 1987, da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (WCED, 1987) deu impulso decisivo neste campo de discussão que vinha sendo desenvolvido desde o final da década de 70 e dá a seguinte definição: “desenvolvimento que corresponde às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades”. Montibeller (2004) em análise desse relatório e as suas ponderações sobre desenvolvimento sustentável observa que o termo constitui desenvolvimento, porque não se reduz a um simples

crescimento quantitativo; ao contrário, faz intervir a qualidade das relações humanas com o ambiente natural e a necessidade de conciliar a evolução dos valores socioculturais com a rejeição de todo processo que leva à perda de identidade cultural. É sustentável porque deve responder à eqüidade intrageracional e à intergeracional.

Amazonas (2001) que também analisa e critica o Relatório Brundtland comenta que para que o desenvolvimento seja efetivo, deve dar-se envolvendo Economia, Ecologia e Eqüidade Social, não apenas o crescimento deve ser compatível com a proteção ambiental, como também não é possível que este se dê em um só país ou apenas para uma parcela da população.

Outros autores discutem estes aspectos em seus trabalhos, confirmando essa observação de Amazonas (2001), dentre eles se destacam: Sachs (2007), Victor *et al.* (1995), Perrings (1986), Bansal(2000), Barbieri (2006), Bellen (2003, 2006), Browder (1989) e Brown (2003) .

Glico (1987) faz menção à importância de processos participativos populares para que o desenvolvimento sustentável ocorra, pois a presença de bases sólidas de convencimento popular faz com que ações efetivas ocorram nas esferas necessárias, tanto populares quanto políticas.

Outro documento importante é a declaração do Rio, ou Carta da Terra (CARTA DA TERRA, 1992) que é um documento protocolar, desenvolvido na Rio 92, onde são definidos 27 (vinte e sete) princípios, que deveriam nortear, no futuro/presente, segundo o autor, a construção do desenvolvimento sustentável.

Dentre estes princípios, Barreto (2001a) ressalta o princípio 16, que estabelece a necessidade da internalização dos custos ambientais e o uso de instrumentos econômicos para adaptar o mercado. Os princípios 12, 13, 14, 17, 18 e 19, destacam-se também, por tratar de questões relacionadas aos impactos ambientais, seus efeitos transfronteiriços e respectivas conseqüências no âmbito do direito, tanto interno como internacional.

A mineração, embora sendo uma das primeiras atividades impulsionadas pelo desenvolvimento intelectual humano, tem sido, segundo Borges e Martinez (2001), uma das menos aceitas dentro do novo arcabouço conceitual do desenvolvimento sustentável.

Para que se mantenha a sustentabilidade necessária do sistema de extrativismo mineral, o setor, desde a pesquisa até a lavra, segundo Barreto (2001b), deve atentar para: os riscos e a proteção dos impactos ambientais; o monitoramento e a recuperação das áreas degradadas, de forma progressiva e contínua; o compartimento de benefícios econômicos com a sociedade nacional, em especial as comunidades locais; o uso futuro da área minerada; a

máxima integração do projeto mineiro com o desenvolvimento das comunidades vizinhas; o aproveitamento dos resíduos gerados com a atividade e o esclarecimento da mão-de-obra envolvida acerca da atividade em todas as esferas.

Faz-se necessária, para tanto, a compreensão das percepções e expectativas dos atores sociais relacionados com a mineração, em todos os níveis, o que somente é possível a partir do desenvolvimento de processos participativos no âmbito da sociedade.

Desta forma, segundo Borges e Martinez (2001), o Estado, fundamental no processo de adaptação da mineração às exigências do desenvolvimento sustentável, deve atuar não só nos campos regulatórios, fiscal e tecnológico, mas também como mediador do diálogo entre as diversas esferas sociais, buscando, em especial, compreender e proteger os interesses de minorias menos favorecidas.

As empresas, ainda segundo Borges e Martinez (2001), por sua vez, devem contribuir, da mesma forma, para melhorar a percepção pública dos custos ambientais e dos benefícios de suas atividades, aproximando-se - principalmente no nível local - com transparência, além de, é claro, investir continuamente na melhoria tecnológica, com vistas a reduzir os impactos de sua atividade sobre o meio ambiente.

Na Figura 1 são apresentados os dados oficiais do número de trabalhadores da indústria extrativa mineral no Brasil. Contudo, quando se considera a variável informalidade, presente principalmente na pequena e média mineração, particularmente no setor de agregados para a construção civil, esse número poderá duplicar, tendo em vista que cerca de 90% da mão-de-obra é informal, de acordo com o levantamento de 1999 da Organização Internacional do Trabalho (OIT).

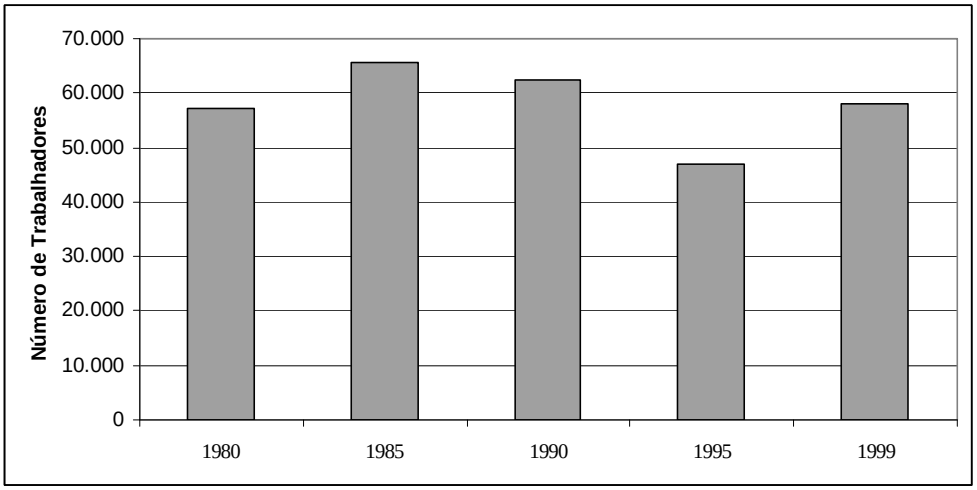


Figura 1 – Empregados em minas brasileiras, 1980 a 1999 (modificado de BARRETO, 2001b).

O ramo de mineração de agregados da construção civil possui como principal peculiaridade, a necessidade de se desenvolver dentro do espaço urbano, pois como se trata de materiais de valor agregado muito baixo, o transporte incide fortemente sobre o seu valor final e este precisa ser minimizado. Isso gera enormes conflitos com a população vizinha: problemas ambientais de poeira, ruído, vibrações, ultralançamentos, controle de efluentes, trânsito contínuo de veículos pesados, etc.

Segundo Barreto (2001b) a proximidade dessas minerações com os núcleos urbanos faz com que os impactos negativos gerados durante os processos de explotação repercutam fortemente nas comunidades locais. Acresça-se o fato de algumas empresas, independentemente do porte, atuarem em situação irregular, criando impactos negativos de toda ordem e prejudicando a imagem pública da atividade. Outros problemas da mineração em áreas urbanas, citados pela autora são a quase inexistência de comunicação/interação com a comunidade e com os órgãos gestores públicos locais; o preparo deficiente dos pequenos empresários, e também, o diminuto apoio técnico financeiro para os mesmos por parte de órgãos governamentais. Foi também constatado por Barreto (2001b) que existem conseqüências negativas de cunho social, de saúde ocupacional e ambiental causadas pela atividade.

2.1 Tecnologias limpas

Tecnologia limpa é um processo aplicado que, por sua natureza, reduz a produção de efluentes ou outros resíduos, maximiza a qualidade do produto, bem como o uso de matérias-primas e energia (GIANETTI e ALMEIDA, 2006). Assim, esse tipo de tecnologia é, de certa forma, uma resposta para a exigência social e legislativa em relação ao tema poluição.

A manutenção e a elevação da qualidade ambiental das cidades são uma responsabilidade de vários órgãos governamentais de ação federal, estadual e municipal; das instituições privadas, ao cumprir a legislação ambiental; e da comunidade, ao acionar os instrumentos legais de participação comunitária para a observação dos seus direitos constitucionais (DIAS, 2003).

A idéia de aperfeiçoar processos, categorizar todas as operações de uma indústria e acompanhar todos os passos de fabricação de um produto acaba, inevitavelmente levando a um conhecimento profundo de cada sistema, permitindo, principalmente, o planejamento de ações de longo prazo.

Nesse contexto, a analogia entre sistemas industriais e ecossistemas vem ganhando força e levando a considerações sobre as interações do sistema com o meio ambiente. Apesar

de haver algumas reservas com relação à metáfora biológica, devido às especificidades do meio antrópico e do meio biológico, os conceitos que utilizam essa metáfora – Metabolismo Industrial e Ecologia Industrial – contribuem, de forma significativa, para um avanço diante do problema da poluição (GIANETTI e ALMEIDA, 2006).

Fenzl e Monteiro (2000) citam o exemplo da implantação da indústria siderúrgica na região norte do Brasil, onde para a produção de uma tonelada de ferro-gusa, utiliza-se 875 kg de carvão ou 2.600 kg de madeira seca, o que corresponde à devastação de 600 m² de floresta nativa, incluindo flora e fauna. Além da produção de carvão resultar em grande dispersão de material e energia, um grande volume de gases é despejado na atmosfera. Devido ao baixo preço do carvão, os resíduos da produção não são removidos e conseqüentemente, são também causa de emissão de gases, poluição ambiental e deterioração da região. Contudo, os resultados econômicos desse processo pouco eficiente são considerados "positivos" para o empresário que explora o recurso, mas, convém ressaltar que os custos do impacto ambiental são transferidos para a sociedade da região, a qual é obrigada a conviver com os passivos ambientais do processo.

Tudo isto mostra que esclarecimentos a respeito do universo produtivo são fundamentais para permitir à sociedade e ao trabalhador acesso ao conhecimento sobre a entropia instalada no local em que população e meio produtivo dividem e compartilham de ambientes comuns, numa clara perspectiva de contribuir para o controle dos efeitos negativos dessa atividade.

2.2 A Educação ambiental

Como já assinalado, desde a sua origem a espécie humana atua sobre os recursos naturais, alterando o meio ambiente. Essa capacidade de alterar o meio ambiente aumentou nas décadas de 50 e 60 devido ao uso indiscriminado de tecnologias e a partir de então se tornaram nítidos os efeitos negativos produzidos na qualidade de vida ambiental e humana.

Desde 1962 os movimentos ambientalistas cresceram e passaram a se posicionar arduamente na reivindicação de uma melhoria na relação ser humano – natureza. Nesse contexto foram importantes o lançamento do livro "Primavera Silenciosa" de Rachel Carson, em 1962; o relatório conhecido como "Limites do Crescimento" do grupo de estudiosos do denominado Clube de Roma, em 1972; a Conferência de Estocolmo com a Declaração sobre Ambiente Humano e o Plano de Ação Mundial, em 1972; o Encontro de Belgrado que gerou a Carta de Belgrado, em 1975; a conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental,

conhecida como Conferência de Tbilisi, em 1977; a Conferência do Rio ou Rio 92, com a formulação da Agenda 21 e a continuidade desta última conhecida como Rio + 5 e Rio + 10.

As Nações Unidas, face à gravidade e a urgência dos problemas com que a humanidade hoje se debate e que se relacionam diretamente com a Educação Ambiental, instituiu a Década por uma Educação para o Futuro Sustentável (2005-2014), tendo a UNESCO sido designada como o órgão responsável pela sua promoção (OEI, 2008).

Convém ressaltar que dentre os documentos e eventos citados anteriormente destaca-se A Carta de Belgrado (SMA, 1994), pois esta trouxe como principais contribuições, princípios fundamentais que devem ser do conhecimento dos indivíduos ou empresas que visam a implementação de qualquer programa de Educação Ambiental que contemple ação, a saber: *Conscientização, Conhecimento, Atitudes, Habilidades, Capacidade de avaliação, Participação*. Vale destacar que esses princípios têm de ser abordados em conjunto para o logro dos objetivos dos programas de Educação Ambiental.

No Brasil a abordagem da Educação Ambiental no ensino formal é sinalizada para todos os níveis de ensino a partir das normativas legais derivadas da LDBEN (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional) de 1996 (BRASIL-LDBEN, 1996). São estas: os PCN (Parâmetros Curriculares Nacionais) para o ensino fundamental (BRASIL-PCN, 2008) e médio e as DCN (Diretrizes Curriculares Nacionais) para o ensino superior (BRASIL-DCN, 2001).

Ainda assim, muitos professores ainda não estão preparados para trabalhar a Educação Ambiental e os materiais instrucionais, - na sua maioria, apresentam os conteúdos de forma fragmentada, o que não contribui para um tratamento adequado da problemática ambiental -, contribuindo para que a participação dos cidadãos nas decisões relacionadas ao seu âmbito pessoal, social e político se torne desfavorecida, desde cedo, na sua formação básica e prossiga por todo o tempo seguinte.

2.3 Segurança do trabalhador

Os locais de trabalho devem garantir aos seres humanos instalações e condições salubres e adequadas, promovendo a saúde e prevenindo doenças.

Os principais problemas envolvendo a saúde e a segurança dos indivíduos nos ambientes de trabalho são as doenças profissionais e os acidentes de trabalho. Entre os fatores que contribuem para desencadear as doenças profissionais e os acidentes de trabalho, destacam-se as condições de vida, as relações de trabalho e o próprio processo de trabalho. Portanto, cabe às empresas oferecer medidas de controle e prevenção de acidentes de trabalho

e doenças profissionais a seus funcionários e tomar cuidados específicos com a comunidade, legal e socialmente (KOLLURU, 1996).

Segundo Carvalho e Oliveira (2005) podem-se compreender as condições gerais de vida de duas formas distintas: as de ordem coletiva, oferecidas pelo Estado, e as de ordem particular, obtidas pelo trabalhador de acordo com seu nível salarial ou renda familiar. As condições de vida coletivas contribuem para o surgimento de enfermidades, como verminoses, hipertensão, estresse e fadiga, entre outras. Já as condições particulares de vida interferem no desenvolvimento de doenças carenciais e mortalidade infantil, entre outras.

Além dos trabalhadores, é freqüente a comunidade também estar exposta a riscos oriundos das empresas por meio da poluição ambiental, que inclui desde a concentração de poeiras e fumaças no ar e o lançamento de resíduos líquidos ou sólidos na água ou no solo, até a produção de ruídos acima dos limites de tolerância ou a exalação de odores desagradáveis (LEIDEL *et al*., 1975).

Segundo Mendes e Dias (1991) a tecnologia industrial evoluiu de forma acelerada, traduzida pelo desenvolvimento de novos processos industriais, novos equipamentos e pela síntese de novos produtos químicos, simultaneamente ao rearranjo de uma nova divisão internacional do trabalho. Entre muitos outros desdobramentos deste processo, desvela-se a relativa impotência da medicina do trabalho para intervir sobre os problemas de saúde causados pelos processos de produção, já que a mesma pouco pode intervir na relação empregado-empregador.

Um movimento social renovado surgiu no final da década de 80, início da década de 90 nos países industrializados do mundo ocidental e este processo levou, em alguns países, à exigência da participação dos trabalhadores nas decisões sobre questões de saúde e segurança.

Como resposta ao movimento social e dos trabalhadores, novas políticas sociais tomaram a roupagem de lei, introduzindo significativas mudanças na legislação do trabalho e, em especial, nos aspectos de saúde e segurança do trabalhador. Assim, por exemplo, na Itália, a Lei 300, de 20 de maio de 1970, mais conhecida como "Estatuto dos Trabalhadores", incorporou princípios fundamentais da agenda do movimento de trabalhadores, tais como a não delegação da vigilância da saúde ao Estado, a não monetização do risco, a validação do saber dos trabalhadores e a realização de estudos e investigações independentes, o acompanhamento da fiscalização, e o melhoramento das condições e dos ambientes de trabalho.

Conquistas básicas de natureza semelhante, com algumas peculiaridades próprias de contextos político - sociais distintos foram também sendo alcançados pelos trabalhadores

norte-americanos (a partir da nova lei de 1970), ingleses (a partir de 1974), suecos (a partir de 1974), franceses (a partir de 1976), noruegueses (1977), canadenses (1978), entre outros.

Já no Brasil Germani (2002) ressalta que a indústria mineral apresentou nos períodos de 1995 a 1997 o mais alto coeficiente de mortalidade, quando comparado com outras atividades econômicas, e será necessário reverter o quadro por meio de maior atenção dos profissionais, especialmente analisando as situações potencialmente de maior risco.

Medeiros (2003) em seu estudo sobre a proposta de um modelo de gestão integrada de qualidade, meio ambiente, segurança e saúde ocupacional para o desenvolvimento sustentável do setor de mineração observou que um sistema de gestão integrada, voltado para o desenvolvimento sustentável, pode ser uma importante ferramenta para o aumento da competitividade da empresa no ambiente organizacional atual que é de constante evolução.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente pesquisa constou de duas etapas: a primeira de caracterização físico-química do filer coletado em quatro pedreiras na RMG com o objetivo de conhecer seu potencial de impacto na saúde humana e a segunda de aplicação de formulário junto aos funcionários dos setores de produção de duas dessas pedreiras, com vistas a avaliar seu conhecimento relativo ao processo de mineração e suas conseqüências.

As pedreiras analisadas localizam-se na RMG. O mercado consumidor atendido por estas pedreiras corresponde a toda a RMG e cidades do interior próximas às mesmas, isto se deve ao baixo valor agregado do produto, o qual é bastante influenciado pelas distâncias de transporte. A exclusão de duas das pedreiras da segunda parte da pesquisa deveu-se a uma delas ter resíduo com rocha de origem diferente das encontradas nas outras pedreiras tendo, portanto, outras especificidades em seu processo e a outra devido ao não interesse por parte dos responsáveis pela empresa de colaborar com a pesquisa.

A primeira etapa, de caracterização físico-química do filer, foi feita por análise qualitativa utilizando as seguintes metodologias: perda ao fogo (ABNT, 2004a), determinação da sílica (ABCP, 1991), determinação de álcalis totais, óxidos de: magnésio, ferro, alumínio, cálcio, sódio e potássio (ABNT, 2004b), análise química por meio do espectrômetro de fluorescência de raios-X (BIRKS, 1969) e análise granulométrica (ABNT, 1984).

Na segunda etapa, por constituírem um número relativamente pequeno, foram entrevistados todos os funcionários das duas pedreiras analisadas que desenvolveram as suas atividades na área da produção, sendo esta composta por: detonação, transporte e britagem.

Na primeira pedreira que será denominada de pedreira D, trabalham no setor de produção 23 pessoas. Na segunda pedreira que será denominada de pedreira A, neste mesmo setor trabalham 13 pessoas.

Quanto ao formulário aplicado junto aos trabalhadores seguiu-se as normas estabelecidas pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Goiás (CNS, 1996), à qual coube a sua avaliação metodológica, sendo posteriormente submetido também à autorização da empresa e do próprio funcionário entrevistado. O formulário utilizado foi aplicado no primeiro semestre de 2008, em horário e local estabelecidos pelas empresas participantes.

Para o diagnóstico do perfil do trabalhador do setor produtivo foram selecionadas as pedreiras A e D, conforme critério de seleção já exposto. O formulário aplicado nessas duas pedreiras conteve 18 questões entre abertas, fechadas e mistas, tratando de aspectos sócio-econômicos dos trabalhadores (idade, escolaridade, número de filhos e renda); aspectos diretamente relacionados ao meio produtivo (função desempenhada, contato de familiares com o meio produtivo, tempo de trabalho na empresa); aspectos relacionados à saúde e à segurança do trabalhador (emprego anterior, equipamentos de proteção utilizados, problemas de saúde diagnosticado, sintomas) e aspectos relacionados ao meio ambiente e Educação Ambiental (participação em cursos e palestras, programas de cunho ambiental dos quais participam ou participaram, conhecimentos gerais na área ambiental, veículos de comunicação utilizados como fontes de informação, problemas ambientais identificados na empresa segundo a opinião do trabalhador).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização do filer

Na Figura 2 são apresentados os resultados da análise quantitativa de amostras de filer de quatro pedreiras da RMG que permitem constatar que as amostras são quimicamente semelhantes, constituídas de SiO_2 e Al_2O_3, e supor que se trata de silicatos.

Com o objetivo de verificar a presença de elementos não analisados no procedimento anterior, fez-se a análise qualitativa por meio de espectrômetro de fluorescência de raios-X e obteve-se os resultados mostrados na Tabela 1. Com este resultado pôde-se observar que as amostras também pouco diferem quimicamente, sendo a amostra C a que possui menos elementos em comum com as outras amostras.

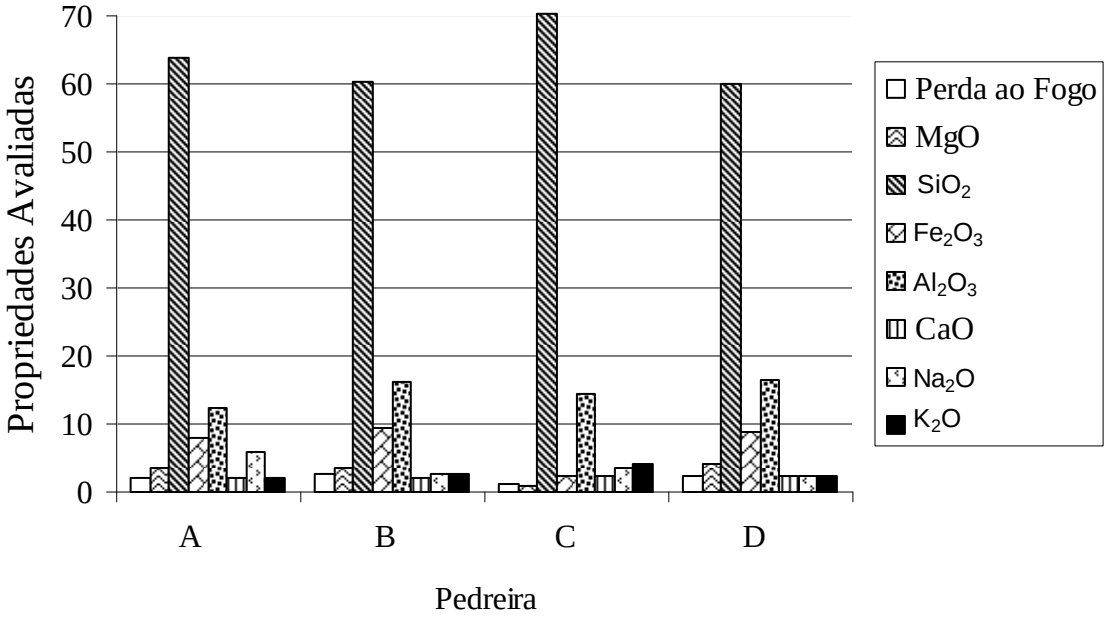


Figura 2 - Resultados da análise quantitativa de quatro pedreiras da RMG

Tabela 1 – Comparação dos elementos químicos comuns às amostras analisadas

Amostras	**Pedreira**			
Elementos	**A**	**B**	**C**	**D**
Oxigênio, Boro, Flúor, Silício, Alumínio, Ferro, Magnésio, Potássio, Cálcio, Titânio, Fósforo, Enxofre, Manganês	X	X	X	X
Zirconio	X	X	-	X
Estrôncio	X	X	X	X
Cobalto	X	-	-	-
Níquel	X	X	-	X
Zinco	X	X	-	X
Cromo	-	X	-	X
Rubídio	-	X	X	-
Bário	-	-	X	-

Essa diferença, segundo as duas análises realizadas, corroboraram a característica de rocha explorada, de tipo cristalina, rica em silicatos, nesse caso o micaxisto, rico em micas e quartzo. Assim, o filer é constituído basicamente de sílica.

4.2 Toxicologia dos elementos encontrados

Com o objetivo de melhor avaliar as implicâncias para a saúde do trabalhador dos elementos químicos presentes nas amostras avaliadas elaborou-se a Tabela 2 que relaciona os elementos observados nas amostras coletadas nas pedreiras da RMG, com a respectiva toxicologia, forma física e de contato. Os elementos químicos presentes exclusivamente nas

pedreiras B e C não foram citados na Tabela 1, pois os trabalhadores das mesmas não participaram da etapa seguinte da pesquisa.

Comparando-se as substâncias químicas obtidas nas análises de caracterização físico-química qualitativa do filer presente em todas as mineradoras, principal resíduo do processo de mineração na RMG, avaliou-se se o mesmo pode repercutir sua ação sobre os indivíduos internos à empresa (funcionários) e externos a esta (circunvizinhança).

Os dados referentes a este mérito na Legislação Federal, representada pela resolução do CONAMA nº 003 de 28 de junho de 1990 (AGÊNCIA AMBIENTAL, 2006) pôde-se observar que a Legislação Federal é praticamente omissa nos detalhamentos de regras para a emissão das substâncias químicas detectadas. Nesse sentido, a legislação é pouco específica frente à ampla gama de substâncias que podem estar presentes no ar modificado por processos de antropização. Os resultados obtidos das análises feitas nas amostras de filer das pedreiras são um bom exemplo disto, já que são listadas 19 substâncias químicas diferentes e a legislação contempla apenas denominações genéricas classificadas como: partículas totais em suspensão, fumaça, partícula inaláveis, e dióxido de enxofre, os demais são omitidos ou tratados de forma generalizada, segundo a classificação anterior. Na Tabela 2 é apresentada a toxicologia de componentes comuns em mineração, destacando-se os principais encontrados na pedreiras analisadas. Nota-se que a concentração máxima permitida para seres humanos não é indicada para numerosos elementos.

Tabela 2 – Caracterização dos elementos químicos encontrados quanto à toxicologia

Elemento	**Pedreira Encontrada**	**Forma Física/Exposição**	**Toxicologia**	**Concentração Máxima para Humanos**
Cromo	B, D	Pó/Inalação	Dermatites, úlceras da mucosa nasal, renites, perfuração do tímpano, câncer, tosse, dor de cabeça.	11 a 0,15 mg/m³
Zinco	A, B, D	Fumaça ou pó/Inalação	Irritação da garganta, resfriados, fadiga, dor de cabeça, visão embaçada, vômitos.	3 a 15mg/m³, para exposição ocupacional de mais de 35 anos. 12 minutos de exposição para 600mg/m³
Zircônio	A,B,D	Sólido/Inalação	Baixa toxidade. Pode causar granulomas na pele.	-
Cobalto	A	Pó ou Fumaça/Inalação	Processo intersticial fibrático, pneumonitis hipersensível, síndrome obstrutiva nas vias aéreas.	-

Elemento	Pedreira Encontrada	Forma Física/Exposição	Toxicologia	Concentração Máxima para Humanos
Níquel	A, B, D	Pó/Inalação	Sensibilização de dermatites nos ombros, pálpebras, pescoço e face. Asma, hipersensibilidade pneumonitis, pneumoniosis, irritação nasal, perfuração do septo nasal, perda da sensação de cheiro, aumento da incidência de câncer entre os trabalhadores.	-
Manganês	A, B, C, D	Pó/Inalação	Afeta o sistema nervoso central	Pesada exposição no período de 6 meses a 3 anos
Enxofre	A, B, C, D	Gás/Inalação	Irritação nos olhos, membranas mucosas e pele, edema pulmonar e paralisias respiratórias	-
Fósforo	A, B, C, D	Pó/Inalação	Irritação nos olhos e pele	-
Titânio	A, B, C, D	Pó/Inalação	Irritante pulmonar, leve fibrose, irritante pulmonar	-
Cálcio	A, B, C, D	Pó/Inalação	Irritante para os olhos, membranas mucosas e pele	-
Magnésio	A, B, C, D	Fumaça/Inalação	Irritante para os olhos e nariz	-
Ferro	A, B, C, D	Fumaça/Inalação	Pneumoconiose benigna ou fibrótica	-
Alumínio	A, B, C, D	Pó/Inalação	Dermatites, desordens digestivas, mal de Alzheimer (ainda não se tem comprovação), danos no sistema nervoso central, surdez	-
Estrôncio	A, B, C, D	Pó/Inalação	-	-
Potássio	A, B, C, D	Pó/Inalação	Sensibilização e ulceração nasal, sensibilização da pele, irritação nos olhos	-
Silício	A, B, C, D	Pó/Inalação	Silicose, fadiga, tosse seca, perda de apetite	-
Sódio	A, B, C, D	Pó/Inalação	Irritação respiratória, irritação na pele, irritação nos olhos, náusea, dores de cabeça, hipocalcimia	-

Fonte: Hathaway *et al*. (1991)

Visto o exposto na Tabela 2, frente à possível repercussão das substâncias químicas encontradas nas pedreiras para a saúde humana, mais especificamente, pode-se dizer que os funcionários estariam potencialmente sujeitos à inalação do filer se desprotegidos, o que poderia causar silicose, fadiga, tosse seca, perda de apetite, irritação respiratória, da pele e dos olhos, náusea, dores de cabeça, hipocalcimia. Todavia, a Legislação Federal pode ser considerada insatisfatória.

Quanto à Legislação Estadual representada pelo Decreto nº 1.745 de 06 de dezembro de 1979 (AGÊNCIA AMBIENTAL, 2006) ela não difere da Legislação Federal exceto por faixas mais restritivas de tolerância a partículas em suspensão e dióxido de enxofre.

Tudo isto mostra que há necessidade urgente de pesquisas que estudem o grau de tolerância do organismo humano a estas substâncias, para que indicadores específicos sejam incorporados aos instrumentos legais de defesa da sociedade. Segundo Dias (2003) a população deve se manter atenta à qualidade do ar, pois por várias vezes esse patrimônio é ameaçado pela ação irresponsável tanto de empresas como do governo.

4.3 Diagnóstico do perfil do trabalhador

A análise das respostas dadas aos formulários permitiu constata que: as funções desempenhadas pelos funcionários da área de produção das empresas A e D avaliadas são: apontador, borracheiro, desmontador, eletricista, encarregado de britagem, encarregado de produção, funileiro, marteleteiro, mecânico, motorista, operador de bomba, operador de britadeira, operador de escavadeira, operador de painel, operador de perfuratriz, soldador, executor de serviços gerais e torneiro mecânico.

A faixa etária predominante desses funcionários é de 31 a 40 anos de idade, a maior parte com curso fundamental incompleto e alguns que não chegaram a freqüentar a escola, sendo estes últimos analfabetos.

A maioria têm entre 1 e 2 filhos e a renda familiar é de 1 a 2 salários mínimos. Embora a renda familiar seja baixa, a mineração na RMG é uma importante geradora de empregos para indivíduos de baixa escolarização.

Barreto (2001b) em suas análises mostra que este número, em estatísticas oficiais, não demonstra a realidade do setor, pois alguns ainda trabalham na informalidade. Nas empresas avaliadas não foi constatada informalidade, pois todos os funcionários disseram ter Carteira de Trabalho e Previdência Social (CTPS) assinada, no entanto ressaltaram que o valor declarado na carteira é inferior ao que de fato recebem pela realização de seus serviços.

Pôde-se observar que a rotatividade nas empresas analisadas é relativamente alta, com faixa predominante de permanência dos trabalhadores de 3 a 4 anos na empresa. Considera-se esta faixa pequena em função do tempo de funcionamento das empresas que é em torno de 30 anos.

As atividades que os funcionários desempenhavam antes de trabalharem na empresa são bastante diversificadas, sendo as citadas: ajudante de laboratório, borracheiro, caseiro,

desmontador, eletromecânico, funileiro, marteleteiro, motorista, operador de pá mecânica, executor de serviços gerais, soldador, supervisor comercial, trabalhador braçal, torneiro mecânico, garçom, lavrador, supervisor de obras, servente e vigilante. Notou-se que poucos permaneceram na mesma função que executam hoje na empresa. Esta "rotatividade" do trabalhador brasileiro neste setor dificulta processos participativos como os que ocorreram em países da Europa na década de setenta e que conduziu à configuração mais adequada das leis à realidade do trabalhador.

Nos dados relacionados à segurança do trabalho e à utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs), observou-se que os equipamentos utilizados são: máscara, luvas, botas, cinto de segurança, capacete, roupa especial de proteção, óculos e protetor auricular. Apenas dois funcionários da empresa A relataram não utilizar qualquer EPI. A empresa D possui, além de melhor organização espacial, todos os funcionários uniformizados, o que não ocorre na pedreira A, a qual possui aparente desorganização, refeitório descuidado, não oferecendo local com condições adequadas de higiene, iluminação e disposição de resíduos em geral. Já a empresa D possui refeitório bem organizado e prática adequada de organização e disposição final de seus resíduos. No próprio uniforme desta empresa há frase que remete positivamente o funcionário a participar de campanhas de Educação Ambiental.

Os EPIs predominantes em todas as funções nas duas empresas são: protetor auricular, capacete, bota, luva e máscara, o que já era esperado por se tratar de empresas que possuem como principais passivos a poeira e os ruídos, ao mesmo tempo em que se trata de atividade fisicamente pesada e que, portanto, necessita de uniformização adequada para proteger o indivíduo de possíveis acidentes de trabalho.

Germani (2002) relata que toda a eficiência do processo de conscientização do trabalhador para a utilização de EPIs pode ser verificada efetivamente através dos exames médicos que devem regularmente ocorrer nas empresas. Segundo o autor é tamanha a problemática neste tipo de procedimento que os funcionários tentam sempre dizer que não tem qualquer problema de saúde, mesmo que o tenham, para evitar problemas como a demissão ou afastamento, prejudicando a atuação do profissional da área da saúde. Este temor do trabalhador em se manifestar frente à realidade que vive na empresa, por receio de ser punido com a demissão fragiliza qualquer tentativa de reivindicação por melhores salários ou condições de trabalho.

A maior parte dos funcionários relatou não possuir qualquer problema de saúde já diagnosticado, mas admitem sentir irritação nos olhos, dores no corpo, irritação na pele e dor

de cabeça. Dos que admitiram os sintomas anteriormente citados, alguns fizeram questão de enfatizar que isto *não tem nada a ver com a atividade que realizam na empresa*.

As respostas obtidas às perguntas sobre possíveis problemas de saúde, nas quais os funcionários se preocupam em ressaltar a ausência de problemas de saúde e de afirmar que a atividade na empresa em nada reflete sobre o seu bem estar, podem ter ocorrido devido ao receio de serem de alguma forma penalizados por admitirem isto, visto que para a atividade que exercem, em sua maioria, o indivíduo está exposto a riscos físicos, e segundo Carvalho e Oliveira (2005) este tipo de condição contribui para problemas coletivos de saúde como fadiga, hipertensão, estresse, admitido apenas por pequena parte dos entrevistados. Tal comportamento mostra a falta de confiança do empregado no empresário e a insegurança e o temor na abordagem dos problemas laborais.

Ainda discutindo-se sobre a saúde do trabalhador, dentre os que declararam algum tipo de sintoma, mesmo garantindo, na maior parte dos casos, que isto em nada se relaciona com a sua atividade na empresa, pôde-se observar que estes são os mesmos levantados anteriormente no que se refere à caracterização e análise físico-química do filer.

A participação em processos de coleta seletiva na empresa A é bem reduzido, sendo que os que participam fazem isto de forma individualizada em sua comunidade, externa à empresa. A empresa A não possui qualquer programa interno de coleta seletiva dos resíduos que produz ou que manipula. Já a empresa D possui programa de coleta seletiva, com a presença de recipientes específicos para a realização dessa separação ao longo de toda a empresa.

Segundo Gianetti e Almeida (2006) o interesse por parte das empresas em participar de metodologias de produção contemplando as chamadas Tecnologias Limpas depende de uma série de fatores que devem ser por estes ponderados, tais como custos de implantação, retorno, incentivos, etc. Para uma ponderação desses retornos e para se conseguir melhor avaliar impactos sociais e ambientais há a necessidade de um detalhado conhecimento do meio produtivo e de suas externalidades. O que se percebe é que essas ponderações na maioria dos casos não são feitas, pois os problemas ambientais e sociais causados pelas empresas repercutem sobre a sociedade e é a própria sociedade que arca com os custos disto. As empresas ao não serem exigidas nem penalizadas pelas suas responsabilidades ambientais não participam de programas ambientais e educativos.

A participação efetiva da sociedade no sentido de modificar a legislação vigente pressupõe cidadãos com conhecimento, consciência e capacidade de intervenção na realidade social. Para tanto, procurou-se neste estudo avaliar o interesse e o grau de informação sobre o

tema meio ambiente de trabalhadores diretamente envolvidos com essa problemática. Perguntou-se, por exemplo, se os mesmos já ouviram falar sobre o aquecimento global, e em caso afirmativo que relatassem o que já ouviram falar sobre o assunto. A maioria dos funcionários admitiu ter ouvido falar sobre o tema, mas não soube dar explicações sobre o assunto, argumentando que não se lembravam.

Quanto à participação em palestras de Educação Ambiental, na pedreira A, a maioria dos funcionários relatou não ter participado, pois elas não são oferecidas pela empresa. Na pedreira D metade dos funcionários disse não participar de palestras de Educação Ambiental.

A empresa D de fato oferece palestras de Educação Ambiental, o que foi informado pelos responsáveis, mas pelos relatos dos funcionários pôde-se concluir que os mesmos não têm participado por falta de interesse, e os que têm participado não demonstram conhecimento sobre os assuntos expostos.

Quanto aos cursos de capacitação profissional a metade dos funcionários da pedreira A disse participar deste tipo de atividade, sendo que os que não participam alegam que a empresa não oferece os cursos. Na pedreira D a maioria dos funcionários disse não participar de cursos de capacitação e alegam que a empresa também não oferece os cursos. Isto nos leva a concluir que os cursos de capacitação profissional não fazem parte da cultura do trabalhador desta área do setor produtivo.

A respeito do veículo de comunicação mais utilizado pelos funcionários foram avaliados: televisão, rádio, jornal impresso, revista e internet. Pôde-se observar grande exclusão digital, com pouquíssimos funcionários que utilizam a internet, sendo que a maioria tem como principal veículo de comunicação a televisão e o rádio. Isto demonstra a necessidade de veículos de comunicação mais difundidos como a televisão e o rádio incorporem mais programações educativas.

Neste trabalho afirma-se que identificar o perfil sócio-econômico-cultural do trabalhador configura-se como um passo importante para a sinalização de metodologias de educação em geral e de instrução em particular. Nos casos aqui estudados certamente tem de se considerar que os funcionários têm baixa escolaridade, sendo alguns analfabetos, portanto não têm o hábito da leitura e preferem veículos de comunicação que os isentem dela, como a televisão. É importante lembrar que mesmo assistindo televisão os funcionários não se mostraram informados sobre temas como o aquecimento global, por exemplo, o que pode ser resultado do desinteresse sobre o tema ou da inadequação da forma como o conteúdo tem sido exposto pelos meios de comunicação de massas.

Os funcionários consideram que os principais problemas ambientais da empresa em que trabalham são: ruído e poeira. Os funcionários da pedreira A relataram que a mesma não possui cuidados com o meio ambiente e ressaltam também o impacto sobre a flora e fauna. Já os funcionários da pedreira D relataram que a empresa tem cuidados e preocupações com a questão ambiental e que isto é bastante positivo.

5 CONCLUSÕES

A nossa pesquisa revela o quanto a baixa escolarização do trabalhador brasileiro se reflete na realidade do mundo do trabalho. O desconhecimento da dimensão dos problemas ambientais, das omissões, na legislação, sobre os efeitos que à saúde do trabalhador acarretam as atividades da mineração, colocam o trabalhador desta atividade produtiva, altamente poluidora, em situação de fragilidade perante os problemas por ela criados.

Os trabalhadores se sentem intimidados em relatar problemas relacionados com a saúde e o receio pelo desemprego ou sanções faz com que a realidade não seja tratada como tal, dificultando a possibilidade de implementação de melhorias no ambiente de trabalho, e adequação às leis. Tal comportamento interfere ainda sobre a possibilidade da existência de processos participativos, necessários para se construir melhorias sociais.

As ações ambientais positivas realizadas pelas empresas ocorrem por que em alguns setores há legislação específica e fiscalização. Quando isto não ocorre, as questões ambientais em geral são negligenciadas. Em função disso o trabalhador fica exposto a processos ineficientes de controle de poluição, principalmente a ruídos e poeira, afetando assim a sua segurança, mesmo com a utilização de EPIs, pois não há fiscalização nem estudos sobre a real eficiência e utilização desses equipamentos.

O acesso à informação por parte dos funcionários e da comunidade local é passo fundamental para que mudanças possam ocorrer neste setor, pois apenas dessa forma a legislação poderá passar a atender de forma mais realista à atividade analisada.

A pouca especificidade das legislações federal e estadual no referente à poluição atmosférica faz com o empregador negligencie o controle das emissões expondo os trabalhadores a situações insalubres.

O problema social relacionado com a falta de emprego e a dificuldade que pessoas de baixa qualificação têm de ingressar no mercado de trabalho faz com que o trabalhador evite admitir problemas de saúde e insatisfação quanto às condições de trabalho. Isto somado à não

observância e cumprimento das leis trás conseqüências sérias como problemas de saúde, não atualização das leis, degradação social, entre outros.

Defende-se, neste trabalho, que a natureza complexa do problema aqui exposto demandará, para sua resolução, ações igualmente complexas e que entendendo a Educação Ambiental como uma educação de caráter político, ela poderá contribuir para que os princípios preconizados pela Carta de Belgrado, ainda na década de setenta, se tornem realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. Manual de procedimentos ABCP – **Análise química de cimentos e matérias-primas** – 03/1991, São Paulo – SP, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181 - **Solo – análise granulométrica**. Rio de Janeiro – RJ, 1984.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 18/2004 – Cimento Portland – **Análise química – Determinação de perda ao fogo**, Rio de Janeiro – RJ, 2004a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 11-2/2004 – Cimento Portland – **Análise Química – Determinação de óxidos principais por complexometria** –Parte2, Rio de Janeiro – RJ, 2004b.

AGÊNCIA AMBIENTAL – Legislação Federal – **Resolução/ Conama/n° 003** de 28 de junho de 1990, Disponível em:< www.agenciambiental.go.gov.br>, acesso em: 12/07/2006.

AGÊNCIA AMBIENTAL – Legislação Estadual - **DECRETO n.º 1.745**, de 06 de dezembro de 1979, Disponível em:< www.agenciaambiental.go.gov.br>, acesso em: 12/07/2006.

AMAZONAS, M.C. **Valor e meio ambiente: elementos para uma abordagem evolucionista**. Tese de Doutorado. Unicamp, Campinas – SP, 2001, 267p.

ANEPAC. Areia & Brita. **Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil**. Publicação Trimestral. 42p. São Paulo – SP, 2004, 42p.

BANSAL, P.; ROTH, K. Why companies go green: a model of ecological responsiveness. **Academy of Management Journal**, v.43, n.4, 2000, p.717-36.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial**: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo - SP: Saraiva, 2006.

BARRETO, M. A. **Desenvolvimento sustentável: uma abordagem conceitual. Ensaios sobre a sustentabilidade da mineração no Brasil**. CETEM/MCT. Rio de Janeiro – RJ, 2001a, 130 p.

BARRETO, M. A. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. CETEM/MCT. Rio de Janeiro – RJ, 2001b, 215 p.

BELLEN, H.M. Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. **Ambiente e Sociedade**, v.7, n.1, jan./jun, 2003.

BELLEN, H.M. 2006. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. 2ed. Rio de JaneiroRJ: FGV, 2006.

BIRKS, L. S. **X-Ray Spectrochemical Analysis**; vol.11; 2a ed.; Interscience Publishers; Nova York, 1969, cap.07 e 08.

BORGES, L.F. & MARTINEZ, J.E.A. **Mineração e desenvolvimento sustentável – A visão do Brasil. Ensaios sobre a sustentabilidade da mineração no Brasil**. CETEM/MCT. Rio de Janeiro-RJ., 2001, p. 31 – 42.

BRANDSMA, E. H. & EPPEL, J. **Produção e consumo sustentáveis: Um enfoque internacional. Artigo publicado no livro: Mudando os padrões de produção e consumo**. Editora: Ibama, Brasília – DF., 1997, p. 111-123.

BRASIL – LDBEN. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional.** Brasília, DF, 1996.

BRASIL – DCN. **Diretrizes Curriculares Nacionais.** Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. Resolução CNE/CES nº 4, de 7 de novembro de 2001. Brasília, DF, 2001. http://www.zinder.com.br/legislacao/dcn.htm, acessado em 14 de dezembro de 2008.

BRASIL – PCN. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ministério da Educação e do Desporto.Versão agosto de 1996. http://www.zinder.com.br/legislacao/pcn-fund.htm, acessado em 14 de dezembro de 2008.

BROWDER, J. O. **Fragile lands of Latin America**: strategies for sustainable develpment. Boulder: Westview. 301p. (Westview Special Studies in Social, Political and Economic Development), 1989.

BROWN, L. **Eco-economia**. Salvador: Earth Policy Institute, Universidade Livre da Mata Atlântica. 437p. Disponível em: <http://www.ethos.org.br.>, acessado em 15 de setembro de 2008, 2003.

CARTA DA TERRA. **Conferência Mundial dos Povos Indígenas sobre território, meio ambiente e desenvolvimento**. Rio 92. 26 p. Rio de Janeiro – RJ, 1992, 26p.

CARVALHO, A. R.; OLIVEIRA, M. V. C. **Princípios básicos do saneamento do meio**. 6ª edição. Editora SENAC. São Paulo – SP, 2005, 211p.

CNS. **Diretrizes e Normas Regulamentadoras de Pesquisas Envolvendo Seres Humanos**. Conselho Nacional de Saúde. Resolução 196/96 de 10 de outubro de 1996, Brasília – DF, 1996).

DIAS, G. F. **Educação ambiental: princípios e práticas**. 8ª edição, Editora Gaia, São Paulo – SP, 2003, 551p.

GERMANI, D. J**.** **A mineração no Brasil. Relatório final**. PNUD (Plano de Desenvolvimento das Nações Unidas para o Desenvolvimento). Rio de Janeiro – RJ, 2002.

HATHAWAY, G.J. (1991). ***Chemical Hazards of the Workplace***. 3ª Edição.

KOLLURU, R.V. **Risk assesment and management handbook for environmental, health and safety professionals**. New York: McGraw-Hill, 1996.

LEIDEL, N.A.; BUSCH, K.A.; CROUSE, W.E. **Exposure measurement action level and occupational environmental variability**. Cincinnati: Nacional Institute for Occupational Safety and Health, 1975.

MENDES, R.; DIAS, E. C. **Da medicina do trabalho à saúde do trabalhador**. Revista Saúde Pública. São Paulo – SP, 1991, p.341-9.

PERRINGS, C. **Conservation of mass and instability in a dynamic economy-environment system,** Journal of Environmental Economics and Manegement, 13, 199-211, 1986.

FENZL, J.; MONTEIRO, M. **Gaia**, vol. 3, 2000, p. 239.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. B. A. **Ecologia Industrial: conceitos, ferramentas e aplicações.** Editora Edgard Blücher. São Paulo – SP, 2006, 109 p.

GLIGO, N. **Consideración en torno a evaluaciones e indicadores para la gestión ambiental.** En: THUMSTER, G., S. OLIVERI y H. SENJENOVICH (COORD.) Sistemas ambientales. Planificación y desarrollo. Ediciones SIAP, Programa Latinoamericano de Sistemas Ambientales (PLASA) Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. México, D.F., 1987, p. 89.

MEDEIROS, E. B. **Um modelo de gestão integrada de qualidade, meio ambiente, segurança e saúde ocupacional para o desenvolvimento sustentável :** setor de mineração.Orientador Gregório Jean Varvakis Rados – Florianópolis - SC, 2003, 151 p.

MONTIBELLER, G. **O mito do desenvolvimento sustentável. Meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias**. Editora UFSC. 2ª edição revisada. Florianópolis – SC. 2004, 306 p.

OEI. **Organización de Estados Ibero-americanos para La Educación**, 2008. Disponível em: <http://www.oei.es/decada>, acesso em: 16 de agosto de 2008.

SACHS, I. Rumo à ecossocioeconomia: Teoria e prática do desenvolvimento. Editora Cortez. São Paulo – SP, 2007, p. 109-122

SAUVÈZ, L. **Educação Ambiental e desenvolvimento sustentável: uma análise complexa**, 2001. Disponível em: http://www.ufmt.br/revista/arquivo, Acesso em 09/03/2001. 23p.

SEWELL, H. G. **Administração e controle da qualidade ambiental**. Tradução e Adaptação Eng. Gildo Magalhães dos Santos Filho. Editora Pedagógica e Universitária Ltda., São Paulo – SP, 1978, p. 231-252.

SMA - Secretaria do Meio Ambiente. **Educação Ambiental e desenvolvimento** : documentos oficiais, Coordenadoria de Educação Ambiental, São Paulo, 1994. Disponível em: http://www.ufpa.br/npadc/gpeea/DocsEA, acesso em 20 de janeiro de 2007.

VICTOR, P.A.; HANNA, J.E.; KUBURSI,A. **How strong is weak sustainability.** Economie Apliquée, no 2, 1995, p.75-94.

WCED (World Commission on Environment an Development). **Our Common Future** (The Brundland Report). Oxford University Press, Oxford. Em português: Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso Futuro Comum, FGV, Rio de Janeiro – RJ, 1988.

Laboratory Analysis of the viability of soil-filler blends in pavements

Marta Pereira da Luz, Selma Simões de Castro, Lilian Ribeiro de Rezende

Abstract. This study sets out to present alternatives for cutting down on the quantity of waste stored in stone quarries of the metropolitan area of Goiânia, and also to allow for the substitution of natural materials in pavement. In order to achieve this, the following laboratory tests were carried out on samples blended with filler-soil: grain-size distribution, Atterberg limits, CBR with intermediary and modified compaction energies, X-ray diffratometry, permeability, compressive strength and dynamic triaxial tests. From the CBR values it could be concluded that the blend molded in optimum moisture and maximum dry density with 15, 20, 30 and 40% filler, with intermediary energy, can be reused as a sub-base for light and medium traffic pavements. For the base layer, a 30% filler addition must be used with modified energy. The repeated load test showed that an increase in compaction energy increases the resilient modulus of the soil, but the addition of filler reduces the resilient modulus The results of laboratory tests show that mixes of soil with a maximum of 30% filler could be used for low-traffic pavement base materials.

Keywords: pavement, waste, soil-filler, laboratory tests.

Marta Pereira da Luz, Mestre, Universidade Federal de Goiás, Doctoral Program in Environmental Science, Campus Samambaia - Bloco ICB4, Caixa Postal 131, CEP.: 74001-970, Goiânia-GO, e-mail: marta.eng@ucg.br.
Selma Simões de Castro, Titular Professor, Universidade Federal de Goiás, Doctoral Program in Environmental Sciences, Campus Samambaia - Bloco ICB4, Caixa Postal 131, CEP.: 74001-970, Goiânia-GO, e-mail: selma@iesa.ufg.br.
Lilian Ribeiro de Rezende, Assistant Professor, Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Departamento de Geotecnia, Praça Universitária, s/no, Setor Universitário, CEP.:74605-220 – Goiânia-GO, e-mail: lrezende@eec.ufg.br.

1.Introduction

The branch of quarrying civil construction aggregates has to be carried out within or very close to urban perimeters, because it produces materials of very low added value, its transport strongly influences its final value and this has to be reduced.

As well as being a low-cost source of raw materials answering the demands of civil construction, especially pavement and buildings in general, this type of activity contributes to reducing the housing shortage and to urban paving, is also a considerable generator of employment and income.

In contrast, however, quarrying in itself generates enormous conflicts with the neighboring population because of such environmental impacts as dust, noise, vibration, excess waste, effluent control and the constant movement of heavy traffic. Added to this is the fact that the activity per se usually disorganizes the already disorderly occupation of those already living in the surrounding area, which can further exacerbate environmental damage.

In addition to these factors, another worth mentioning is that related to the increasing build-up of refuse from this type of quarrying, in the form of waste, especially fines, of no immediate use or destination, which accumulate in company yards. These wastes can have socio-environmental impacts on their immediate or even longer-distance surroundings, associated with security and health, even of the workers themselves involved.

More and more research is being done in the scientific field in order to respond to the concerns of public and private business to find an outlet for residues for which there is no current demand in industry, and which go on accumulating in company yards, with all the inconvenience which that implies.

Consequently, in the question of the mitigation of impact and the elimination of waste, in particular, attempts at aggregation of materials to this activity could be of great value when they are technically, economically and environmentally viable, as this article intends to develop and present in relation to mica schist quarry filler.

2. Waste used in pavements

Gusmão *et al*. (2005) presented the first results of research into Construction and Demolition Wastes (RCDs) which is being done at the *Escola Politécnica* of the University of São Paulo since 2003. The authors noted that the grain size bands obtained from recycled material are similar to those found in natural materials, proving the viability of the use of recycled aggregates as a total or partial substitute for these materials.

Other authors have also carried out laboratory tests to check the applicability of civil construction wastes, in a soil-waste blend, as an alternative material for pavement. Oliveira *et al.* (2005), Ribeiro (2006) and Resplandes (2007) evaluated an experimental stretch of road in Goiânia, Goiás, and showed that the blend of soil and recycled aggregates provides adequate conditions for use in urban pavement; Ribeiro and Serra (2001) made blends from manual collections of white and red solid wastes, also in Goiânia; Carneiro *et al.*(2001) did studies with recycled aggregates obtained in Salvador; Kryckyj e Trichês (2000) studied solid waste in Florianópolis; Mota (2005) analyzed the physical aspects of the mechanical behavior of recycled aggregates in São Paulo, for use in base and sub-base layers and subgrade reinforcement and Leite (2007) studied the pavement of the new campus of the University of São Paulo (*USP Leste*) with recycled aggregates. All these studies succeeded in outlining methodologies for the reuse of civil construction wastes, when used wisely along with soil or even in its pure form for pavement.

As well as steel, siderurgical factories produce different waste materials, including fly ash and slag during production. This material has been tried for use in areas of civil and road construction. In Brazil, for every ton of steel produced in siderurgical industries, there are between 70 and 170 kg of fly ash and slag as waste matter. In order to use this material in road building, this siderurgical aggregate can be added to soil for use in the building of bases and sub-bases, stabilized by grain-size distribution. Parente *et al.* (2003) researched this field, presenting results of the *California Bearing Ratio* (CBR) and the Resilience Modulus (RM) of soils blended with fly ash, and concluded that once steelmaking fly ash has been subjected to a curing process through hydration and its capacity for expansion reduced to acceptable limits, it can be used as an aggregate for base and sub-base layers of pavement. From the economic viewpoint, the use of this siderurgical aggregate is advantageous since its acquisition costs four times less than the aggregate coming from the extraction of live rock. Rohde *et al.* (2001) undertook a study similar to that of Parente *et al.* (2003), and still using as an alternative the work of Rohde *et al.* (2001), the addition of other elements such as carburetor lime and heavy ash.

Another waste that the environmental question focuses on is phosphogypsum, because of the enormous qualities accumulated in the production of agricultural fertilizers.

Phosphogypsum is a solid waste from the production of phosphoric acid by the fertilizer industry. Silvestre *et al.* (2001) carried out tests to investigate the influence of the Portland type of cement on resistance to compressive strength and deformability of blends of phosphogypsum and cement for use in pavements. In this study it was concluded that the type

of cement does not have a predominant influence on the behavior of the blend, when compared with the effects of other variables. However, it is important to consider the type of cement, since in the long term, cement with high levels of trichalcite aluminate lead to a decrease in resistance and rigidity. Mesquita (2007) also carried out studies with phosphogymsum blends, waste from a mine in upstate Goiás, mixed with soil and noted that phosphogypsum alone could not be used in pavement, but when blended with fine tropical soils could be used for making reinforcement and sub-base layers.

Rezende (2003) studied an experimental stretch using fine soils from the Federal District region, blended with quarry waste. The author noted that the material that was studied presented a satisfactory initial performance but with time and the variation in moisture levels the parameters worsened.

Soares e Mendes (1999) debated the perspectives for the use of fines, resulting from stone crushing in pavement segments. Rezende (1999) evaluated the use of quarry waste from a Federal District Quarry in the base layer of a flexible pavement. Characterization, compaction, CBR, expansion and cyclic triaxial tests were done in a laboratory and this material was used on an experimental stretch of the DF-205 west highway. The technical viability of the blend was attested to by the author, with the restrictions of the universe that was studied, and it was still considered quite viable economically in regions located close to the quarries. Thomé *et al*.(2002) undertook research to investigate the viability of the use of waste from the semi-precious stone (amythest and agate) industry, in Rio Grande do Sul in soil stabilization. This study noted that the best blend, in terms of resistance, was that which contained 75% waste and 25% soil. The authors concluded that the waste was appropriate for use along with local soils, in layers of pavement structure or as a base for surface foundations.

This study sets out to investigate certain characteristics of the physical behavior of waste soil blends for use in highway pavement, since the waste evaluated in conjunction with soil, in this study, originated in the ablution of crushed stone from quarries situated in the Metropolitan Region of Goiânia (MRG).

Quarries undertake ablution of crushed stone to aggregate greater economic value because in the majority of cases ablution is demanded if it is to be used in civil construction. The waste resulting from this ablution accumulates in the yards of these companies, causing a series of environmental problems, such as water, soil and air pollution.

3. Materials and Methods

3.1. Selection of materials

3.1.1 Soil and filler

A careful choice was made of the materials used in the study in order to reach the proposed objectives. The type of soil studied was collected in a pit located within the precincts of the *Centrais de Abastecimento de Goiás S/A* (*Ceasa-GO*), at km 5.5 of the BR-060, latitude: 16º37'29,65" S and longitude: 49º12'4,75"W. The filler was collected from the waste landfill of a quarry located in the Metropolitan Region of Goiânia (MRG), representative of the waste generated by the crushed stone quarrying companies of MRG.

Figure 1 presents the location of the soil collection spot.

Figure 1 – Map of the location of the soil collection pit (GOOGLE, 2007)

The soil was chosen because it was a representative of the characteristics of the soils found in MRG, soils which are predominantly clayey. Other researchers have already used this soil in their studies, such as the study of the evaluation of the blend of soil and civil construction rubble, carried out by Oliveira *et al.* (2005a, 2005b), Silva (2004) and Silva *et al.* (2006), which will be useful for later comparisons.

The filler was chosen as it represents the predominant waste type of the MRG quarries, derived from micaxist rocks. Figure 2 (a) shows the collection point of the Ceasa soil at the moment of removing the sample. Figure 2 (b) shows the waste stored in large quantity in a MRG quarry, forming mounds in the area occupied by the company. The location of the quarry will not be identified to avoid undue commercial exploitation of this scientific study.

(a) (b)

Figure 2 – Locations of removal of the samples under study (a) Clayey soil; (b) Filler

3.1.2 Definition of samples

This study used 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 and 50 soil-filler blends to carry out the laboratory tests. These levels were chosen because of the interest in discovering the best blend for use in pavement. The first intervals used were 5%, which later became 10%, as it was seen that in blends above 20% this could be done without interfering in any relevant way in the results of the analysis. As the final level is 50%, poor cohesion of the material results if the addition of filler exceeds this proportion.

3.2 Characterization of laboratory parameters

3.2.1 Classification parameters

Soil has been studied by different branches of science and technology, such as agriculture, geology and engineering, as each of these fields has developed their own classifications for scientific or pragmatic ends.

In the field of civil engineering, with soil optimization in mind, genetic, pedological and geotechnical classifications have been used. With regard to genetic, pedological or geological classifications, it can be said that they are essentially scientific, concerned with the origin and evolution of soils (FORTES, 2005).

Among the geotechnical classifications one finds The Unified Soil Classification System (USCS) and the classification for highways, better known as the Highway Research Board (HRB).

It is worth noting that the above quoted geotechnical methodologies are limited when referring to tropical soils. With these limitations in mind, Nogami and Villibor (1995) developed a methodology known as *Miniatura Compactada Tropical* (MCT) specifically for compacted tropical soils. This methodology is based on a number of tests and procedures which reproduce the real conditions of compacted tropical soil layers measuring geotechnical properties which mirror in situ the behavior of tropical soils.

The MCT systematic developed by the above-mentioned authors from the 70s onwards is justified by these factors:

- Limitations of traditional procedures when characterizing and classifying soils based on grain-size distribution and consistency limits. These indices are incapable of and/or insufficient for distinguishing the principal types of tropical soils, lateritic and saprolitic, which have opposing properties, inappropriately called "wastes" in other countries.
- Experimental proof of good performance of bases made up of fine-grained lateritic soils and soil aggregated with a large percentage of fines (frequently going right through a 0.42mm mesh sieve) despite being considered inappropriate for pavement bases by traditional systematics.

Despite MCT methodology having been shown to be the most appropriate for tropical region soils, as is the case of the soil being studied here in this research and its respective blends, one must classify the materials according to traditional methodologies, as the majority of Brazil's laboratories do not have adequate equipment to undertake such a classification, while in general, they all have equipment to carry out traditional methodologies.

To carry out the classification tests, according to MCT, the procedures adopted are described in these norms: "Soils Compacted with Miniature Equipment – Determination of Density loss through Immersion", DNER – M 256-94 (DNER, 1994a); "Tropical Soil Classification according to MCT methodology", DNER M 258-94 (DNER, 1994b).

In this study, the selected samples were classified according to traditional systems (USCS and HRB) and the MCT methodology.

3.2.2. Solid density and Atterberg limits

The procedure used in carrying out the test for solid density was that recommended by the norm "Soil Grains screened through a 4.8mm mesh sieve – Density determination", NBR 6508 (ABNT, 1984).

According to Caputo (2000), this value depends on the particle's mineralogical constituent, which for the majority of soils varies from 2.65 to 2.85, decreasing for soils which contain a high level of organic material and increasing for soils rich in iron oxides.

To determine the Atterberg Limits the procedures described in the following test methods were used: "Soil – Determination of Liquidity Limit", NBR 6459 (ABNT, 1984) and Soil – Determination of Plasticity Limit", NBR 7180 (ABNT, 1984).

3.2.3 Grain-size distribution

The grain-size distibution analysis of the soil, soil-filler blends and filler was carried out using the large-fraction screening process (particles whose diameter is greater or equal to

0.074mm) and sedimentation for fine fragments (particles whose diameter is less than 0.074mm), or rather, the grain-size distribution analysis was done in conjunction. The procedures adopted followed the test method “Soil – Grain-size distribution Analysis”, NBR 6502 (ABNT, 1984).

3.3 Compaction test

The compaction tests were carried out according to NBR 7182 (ABNT, 1986) in order to find the correlation between the moisture level and the apparent dry density of a soil, when compacted with a certain energy. This test is used as a tool to control the compaction quality of roads, by determining the parameters for soil compaction at the project phase.

The tests were carried out with intermediary and modified energy because it was seen that the tests done with normal compaction energy did not present the necessary characteristics for the aggregation of the soil and filler materials. The compaction of the soil-filler blend was done with eight quantities of 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 and 50% for the quantity of filler, to find the best compaction degree for each blend. Proportions of 0 and 5% were not used as these levels proved to be difficult while those above 50% showed resistance levels which were inappropriate for use in pavement bases and sub-bases. In addition there was low cohesion of the soil and filler materials, because of the large proportion of filler in these cases.

From the results obtained in these compaction tests, with intermediary and modified energy the specimens were molded to carry out the next tests about to be described.

3.4 CBR Test

The CBR is obtained from the test which evaluates the mechanical resistance most used in Brazilian highways and in developing countries, because of its low cost, easy application and simple equipment. From this index, it is possible to calculate the pavement design using empirical methods, like that of the National Department for Roads.

The CBR test was carried out using intermediary and modified energies because the specimens received amounts in these proportions: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 and 50% for the quantity of filler. These proportions were used for the same reasons described in the compaction item.

In order to characterize the most appropriate samples for use in pavement, CBR tests were done with maximum moisture and maximum dry density for the above-mentioned proportions. The norm used for this test was NBR 9895 (ABNT, 1987).

The determination of material expansion, due to water absorption was done for each specimen molded at optimum moisture and maximum dry density.

According to Caputo (2000), it is considered that good subgrades expand less than 3%, materials for sub-bases expand less than 2% and those for bases less than 1%.

After the immersion process, penetration resistance in each specimen was measured by perforating the upper face of the sample, with a piston of approximately 5cm in diameter, at a penetration speed of 1.25mm/minute.

3.5 X-ray Diffratometry Test

When geological or pedological processes, characteristic of tropical zones, act on soils, they give them property and behavior peculiarities, when compared with non-tropical soils. Among these are lateritic soils, the objects of this study.

It is important to know the mineralogical constitution of soils to get a better understanding of their properties and behavior (NOGAMI and VILLIBOR, 1995).

To list the minerals that might possibly be found in the samples evaluated in this study a bibliographical survey was done where the works of Alves (2002), Brinatti (2001) and Nogami & Villibor (1995) were consulted.

The authors emphasized that the clay minerals found in latossol are hydrated in aluminium silicate and may also contain a small quantity of alkaline elements (K, Na, Li) and earth-colored alkali (Ca and Mg, principally). The clay minerals are generally classified according to their atomic structure:

1) Atomic structure type 1:1, a successive repetition of packs made up of a layer of silica tetrahedrons and a layer of aluminium octahedrons, and these packs are connected by a hydrogen-type atomic force, a connection which is considered strong.
    - Kaolinite group: tabular crystals;
    - Halloysite group: elongated crystals (tubular).
2) Atomic structure type 2:1, a successive repetition of packs made up of 2 layers of silica tetrahedrons and one of aluminum octahedrons (or magnesium). These packs are connected by exchangeable cations (in the case of illite) or, just Van der Waals forces of low intensity.
    - Montmorillonite group (or smectite): expansive, with structural units connected only by Van der Waals forces, allowing water molecules to penetrate its structure;
    - Illite group: non-expansive, mica with various degrees of hydration and some atomic substitutions, for that reason also known as hydromica or hydromuscovites.

3) Atomic structure in elongated layers: Attapulgite, Sepiolite e Paligorskite.

In general, the above-mentioned properties are highlighted in this order: kaolinite group, illite group and montmorillonite group. As a greater intensity of many of these properties is considered prejudicial for civil construction, the presence of soils with a high percentage of minerals of the mortmorillonite group is usually dreaded.

To identify the clay minerals present in the materials analyzed, an X-ray diffratometry test was used with samples whose CBR was shown to be appropriate for use in base and sub-base pavement, according to DNER (1996) specifications. The diffratometry measuring device used was the Rigaku Rotaflex, RU-200B model of *Furnas Centrais Elétricas SA*. These are some of the reasons for this choice of methodology for the mineralogical identification of the clays: the possibility of studying just one reflection of the clay minerals which can be maintained for between 2 and 3 minutes passing through the 2θ region, which corresponds to this reflection of the clay mineral being studied, since θ represents the X-ray diffraction angle. Going through the region of $2\theta = 2^0$ and $2\theta = 15^0$, in 15 minutes it is possible to detect the base reflections of the principal clay minerals; going through the region of $2\theta = 2^0$ and $2\theta = 30^0$, the reflections of the second order of clay minerals, the more intense reflections of the silicon oxides and aluminum hydroxide are also detected; even going through the reflection which allows for the differentiation, between di- and trioctahedral clay minerals (SANTOS, 1992).

According to Albers *et al.* (2001), when characterizing clay minerals, the use of the X-ray diffraction technique becomes even more indicated, because a chemical analysis would report the chemical elements present in the material, but not the form in which they are connected. The chemical analysis could then be associated to the rational analysis. However, the results obtained are not highly trustworthy, in addition to the fact that this procedure is not indicated for the identification of polymorphic phases. The similarity in the thermic behavior of the clay minerals also eliminates the isolated use of thermodifferential techniques, which are also slower and more costly.

3.6 Permeability Test

The property of soil allowing for water drainage through its void spaces is called permeability. In soils, the flow can be both laminar or turbulent. However, after making the necessary considerations, the flow is normally considered laminar. The flow depends on the type of soil, shape and size of the particles and the temperature of the water. The larger the particles, the greater the permeability. However, the permeability of grain-size distribution soils is greater than that of fine soils (CRAIG, 2007).

The study of the percolation of water in soils is very important because it involves a large number of practical problems, which can be grouped into three types:

1) In calculating water flow like, for example, when estimating the quantity of water which seeps into an excavation;
2) In the analysis of settlement, as settlement is frequently related to a reduction in the void space index, which occurs through the expulsion of water;
3) In stability studies, because effective tension depends on neutral pressure, which in turn, depends on the tensions caused by the water seepage (PINTO, 2002);
4) In Brazilian highways it is common to see problems related to inefficient drainage systems, making the soil's capacity to deal with water contact vital. This can be partly understood through the permeability coefficient.

The permeability coefficient (k) is the value which measures the capacity of the soil to allow water to pass through. The value of k is usually expressed as a product of a number raised to the negative power of ten. In this study these soil-filler proportions were analyzed: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 and 50% for the quantity of filler. The compaction energy used in the molding of specimens was intermediary energy, as this is considered closer to the reality in the field applied to geotechnical constructions, while technically, according to the laboratory tests modified energy could also be used. Normal energy was rejected as it did not present sufficient aggregation between the constituent material of the soil and the filler. The test was carried out according to the NBR 14545 (ABNT, 2000) norms.

3.7. Compressive Strength Test

Compressive strength corresponds to a type of triaxial strength, with principal tension (σ^3) zero. In this study these proportions of soil-filler were analyzed: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 and 50% for the quantity of filler. The compaction energy used in the molding of specimens was intermediary energy, as this is considered closest to the reality in the field applied to geotechnical works as in permeability test The test was carried out according to the ASTM D2166 (ASTM, 2004) norm, with the samples saturated.

The compacted sample was put between the two plates of a press. For a H height specimen a value of two or three times the value of its diameter was used. The load was then applied progressively, thereby making it possible to calculate the tension-strain curve of the analyzed samples.

Compressive strength tests allow for the calculation of the initial tangent module value (E_0) of each sample for the different proportions of filler. According to Takeda (2006), the E_0 calculated from the tension curves versus strain presents a close relationship with the dynamic

modules. According to Takeda (2006), the E_0 may represent well the conditions for the calculation of RM in a dynamic test, since it is calculated in the initial stretch of the tension curve versus strain. So with this result it is possible to get an approximation of an important indicator for pavement design, using the RM mechanistic method.

To obtain the initial tangent module the method proposed by Takeda (2006) was chosen. It supposes a tension curve versus strain hyperbole, described according to the Equation (1).

$$\frac{E_a}{\sigma_a} = a + b \times E_a \tag{1}$$

Where: E_a = axial strain, %;

σ_a = axial tension, kPa;

a and b = behavior parameters of the tendency line

Thus, the a and b parameters are obtained from the straight line which best adjusts to the test results and the initial tangent modules can be calculated through the Equation (2).

$$E_0 = \frac{1}{a} \tag{2}$$

Where: E_0 = initial tangent module;

a = behavior parameter of the tendency line

3.8. Dynamic Triaxial Test

The test to calculate the resilience modulus, the triaxial dynamic, was carried out at the laboratory of Pavement Technology at the Polytechnic School of the University of São Paulo in specimens in proportions whose CBR values pointed to a possible use in medium traffic pavement layers, according to the norms of the National Road Department (DNER,1996), presently, the National Department for Transport Infrastructure (DNIT).

The test was done in samples of optimum moisture obtained from the compaction test following the methodology of the DNER ME 131/94 (DNER, 1994d).

The specimens selected for the test were some of those seen to be viable for use in pavement, according to the DNER methodology for medium traffic pavements (DNER, 1996): 20% of filler with intermediary energy (as sub-base soil) and 30% filler with modified energy (as base filler). Samples of 100% soil with intermediary and modified energy were also analyzed, to provide a better comparison between the influences of the RM value and the inclusion of filler percentages.

The dynamic triaxial test allows for the calculation of the resilient modulus (RM) in laboratory, defined as:

$$RM = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \quad (3)$$

Where: RM = resilient modulus (kPa or kgf/cm²);

σ_d = deviation tension used repeatedly (= $\sigma_1 - \sigma_3$) (kPa or kgf/cm²);

ε_r = resilient axial strain corresponding to a certain number of deviation tension applications, where the axial resilient delocation is divided by the specimen height (mm/mm).

With the publication of a new methodology of pavement design by the American Association of State Highway and Transportation Officials in 1986 (AASHTO, 1986), the resilient materials modulus was recognized as being very important for the design of pavement structures. This method recommends substituting the CBR index and other material resistance values with the RM, based on these reasons, according to Bernucci (1995):

- It indicates a basic property of the material which can be used in the mechanistic analysis of multiple layers systems;
- It is an internationally accepted method to characterize materials for pavement projection and for the evaluation of their performance;
- There are techniques available to estimate the resilience modulus in the field with fast non-destructive tests.

To calculate the real RM values, a typical section of pavement made up of a 15cm base and a 15cm sub-base and traffic varying from light to medium was considered. Using the Elsyn 5 program, the values of the σ_3 tension for the base layer were calculated. With the value obtained for σ_3, the mathematical models obtained in the test were used and the final value of RM was calculated.

4. Results

This topic presents and analyzes the results obtained from the laboratory tests done in the research. Firstly, the tests necessary to characterize and classify soil, filler and soil-filler blends are discussed. Secondly, the tests related to material resistance in terms of CBR, permeability, compressive strength and resilient modulus are approached. These tests are important for an analysis of the technical viability of their use in pavement.

4.1 Specific Density and Atterberg limits

The values of liquidity and plasticity limits, plasticity index and specific density for the analyzed samples are presented in Table 1.

As can be seen from Table 1 and demonstrated in Figure 3, the addition of filler makes the specific density decrease in a relatively polynomial way.

Caputo (2000) comments that the specific density value tends to increase with the addition of iron oxides. The soil that was studied has this characteristic of containing iron oxides. This characteristic is reinforced by its lateritic character and reddish color, and as the filler is added, the material relatively reduces this level of iron, which has repercussions for the behavior of its decreasing density, as was seen.

Table 1 – Results of Atterberg limits (consistency) tests and specific density

Blend (% of Filler)	Liquidity Limits (%)	Plasticity Limits (%)	Plasticity Index (%)	Specific Density (kN/m³)
0	46	22	24	29.00
5	44	25	19	28.46
10	42	25	17	28.32
15	39	23	16	28.17
20	37	23	14	28.35
30	35	22	13	28.03
40	32	21	11	28.02
50	31	21	10	28.04
100	31	22	9	27.82

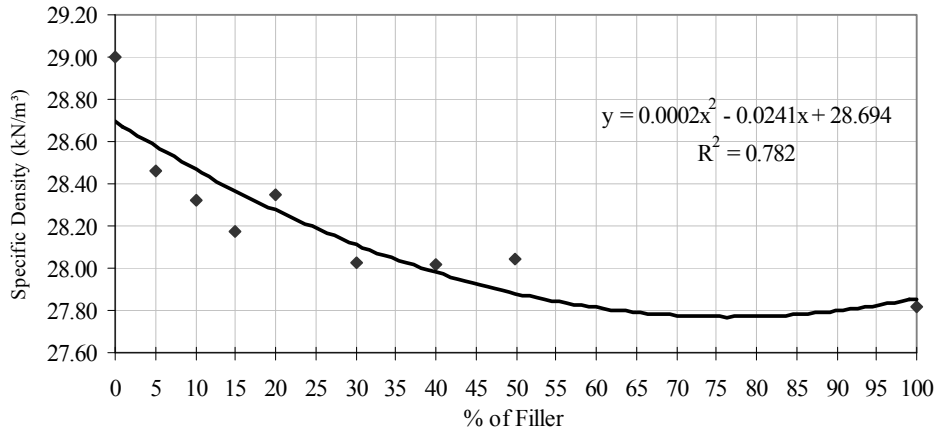


Figure 3 – Graph of the percentage filler versus specific density

Figure 4 shows the behavior of material in terms of plasticity index (PI). With the gradual addition of filler there is a decrease in PI, which could be explained by the reduction of the quantity of clay and the inclusion of a material of low aggregation and workability, constituted by the filler.

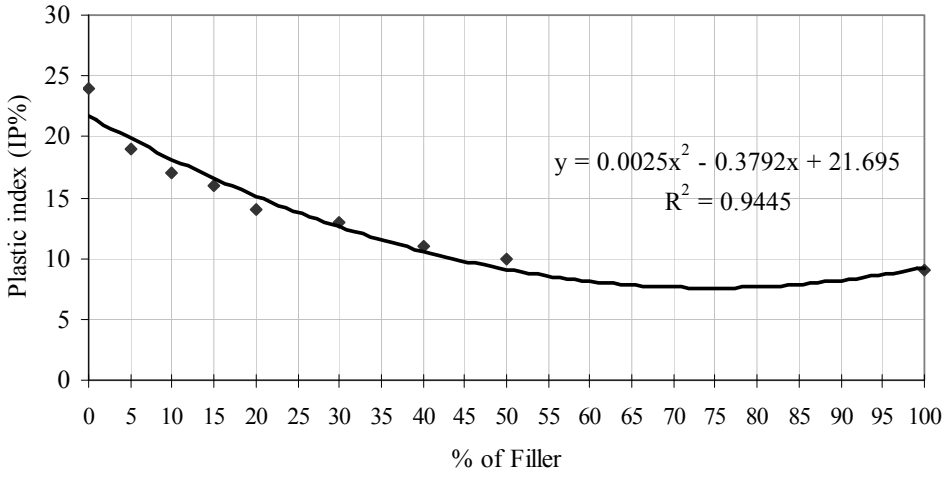


Figure 4 – Graph of the relation between filler and plasticity index

4.2 Grain-size distribution

Figure 5 presents the grain-size distribution curves of the soil, soil-filler blends and the filler that were studied. The materials do not conform to the grain-size distribution bands specified by the Pavement Manual (DNER, 1996), as they are not conventional materials. Table 2 presents the percentages of each fraction (clay, silt and sand) according to norm NBR 6502 (ABNT, 1984).

Table 2 – Grain-size composition of the soil, soil-filler blends and the filler that were studied according to norm NBR 6502 (ABNT, 1984)

	GRAIN-SIZE COMPOSITION		
Blends (%)	**CLAY(%)**	**SILT (%)**	**SAND (%)**
100 soil	34	14	52
95 soil + 5 filler	32	22	46
90 soil + 10 filler	32	24	44
85 soil + 15 filler	35	21	44
80 soil + 20 filler	32	26	42
70 soil + 30 filler	27	27	46
60 soil + 40 filler	28	26	46
50 soil + 50 filler	22	28	50
100 filler	2	46	52

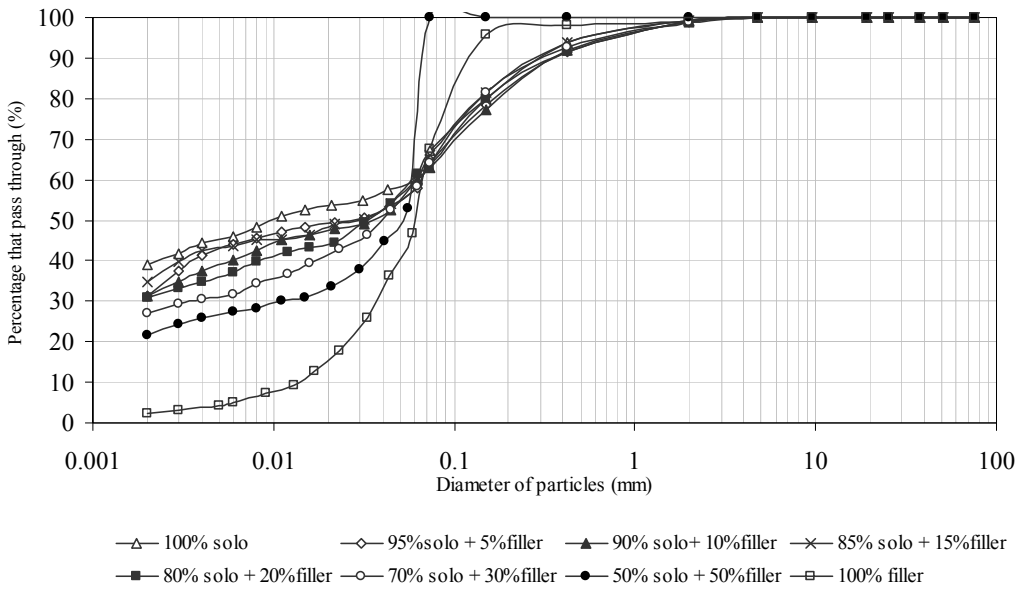


Figure 5 – Grain-size distribution curves of soil, soil-filler blends and filler

The soil, filler and soil-filler blends have behavior characteristics of fine material, as the pure soil is predominantly sandy-clayey constituted and the filler is predominantly sandy-silty. As the quantity of filler is increased, the material loses its important aggregation capacity provided by the presence of clay and this is decisive when their percentages are above 30%, as can be analyzed better in the items relating to resistance and compaction.

4.3 HRB, USCS and MCT Classification of materials

A summary of the classifications of the set of soil, filler and soil-filler blends studied is presented in Table 3:LG' = Lateritic clayey soil; NA = silts with mica grains, predominating non-lateritic; A-7-6 = Clayey soil; A-6 = Clayey soil; A-4 = Silty soil; CL = Low compressibility clay; ML = Low compressibility silt.

Table 3 – Sample Classification

BLEND (%)	CLASSIFICATION		
	HRB	USCS	MCT
100 soil	A-7-6	CL	LG'
95 soil + 5 filler	A-7-6	CL	LG'
90 soil + 10 filler	A-7-6	CL	LG'
85 soil + 15 filler	A-6	CL	LG'
80 soil + 20 filler	A-6	ML	LG'
70 soil + 30 filler	A-6	ML	LG'
60 soil + 40 filler	A-6	ML	NA
50 soil + 50 filler	A-4	ML	NA
100 filler	A-4	ML	NA

As presented in Table 3, soil without any addition is a lateritic clayed soil (LG´) according to the MCT classification, low compressibility clay according to the USCS and A-7-5 according to the HRB classification. With the gradual addition of filler to the blends, the grain-size distribution level of fine sand and silt present in the compositions increased. So, the blend changed from being a lateritic clay to a non-lateritic silt, with a predominance of mica grains. This change from lateritic to non-lateritic composition could indicate a loss of quality of the material in relation to its mechanical resistance as lateritic soils, in general, are considered more suitable for bearing the traffic loads of highway pavements.

4.4 Compaction Tests

Table 4 presents the values of optimum moisture (%) and maximum dry density (kN/m³), for the different soil-filler blends studied, resulting from the compaction test. From these results the specimens were molded for the CBR, permeability, compressive and dynamic triaxial strength tests, now described.

Figure 6 presents the graphs obtained from the compaction test of the different blends studied, with intermediary and modified energies. On analyzing the graph it can be seen that with an increase in energy the curves move to the left and upwards, as was expected.

Table 4 – Values of optimum moisture and maximum dry density, with intermediary and modified energy of specimens containing soil and soil-filler blends.

	Intermediary		**Modified**	
% de filler	**Optimum Moisture (%)**	**Maximum dry density (kN/m³)**	**Optimum Moisture (%)**	**Maximum dry density (kN/m³)**
0	18.2	17.45	17.8	18.00
5	18.6	17.53	17.4	18.25
10	17.8	17.91	17.0	18.50
15	17.2	18.15	16.0	18.77
20	16.5	18.03	15.3	18.90
30	16.5	17.9	14.8	18.75
40	18.0	17.4	15.3	18.43
50	17.5	16.92	15.4	18.01

IE = Intermediary Energy; ME = Modified Energy

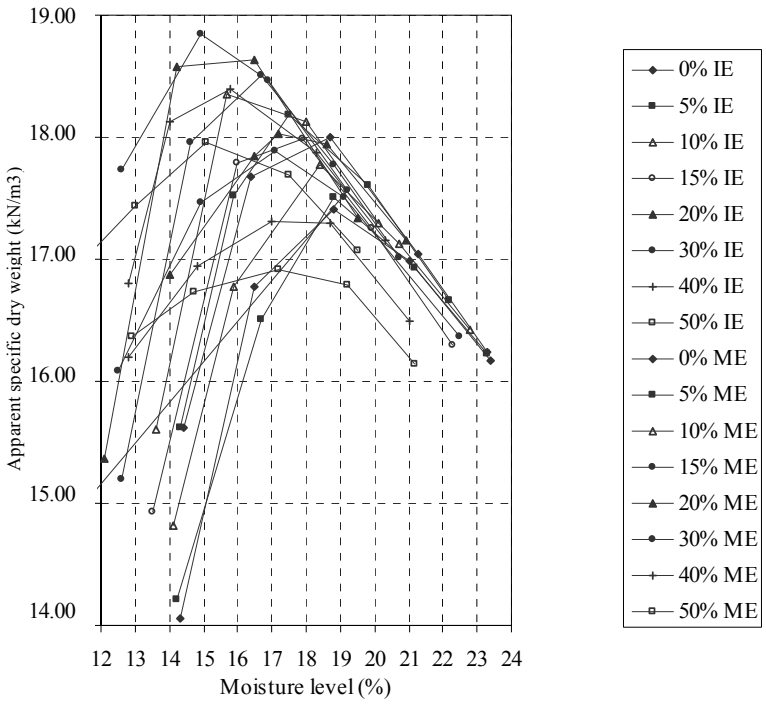


Figure 6 – Graph of compaction of soil-filler blends with intermediary (IE) and modified (ME) compaction energies.

Still in Figure 6, it can be seen that with intermediary energy the maximum dry density increases up to 15% filler and the optimum moisture diminished up to 20% filler. With modified energy the increase in maximum dry density occurs up to 20%, while the optimum moisture diminishes up to 30% filler. This behavior can be explained by the relation of structural re-arrangement of the materials to the degree that filler is added to the soil, as there is a limit for this behavior to be positive in terms of the mechanical resistance of the material, since the increase of filler implies a gradual reduction of certain clay minerals present in the soil. The consequences of such a phenomenon will have repercussions for the resistance of the material as will be shown in the item treating of the CBR.

4.5 CBR Test

From the results of the compaction test, optimum moisture and maximum dry density weight, the specimens for the CBR test were molded.

The CBR value is a guideline for the use of blends in highway pavement as base or sub-base material. And as such the material must fulfill the resistance norms demanded by DNER specifications (1996), the present National Department for Transport Infrastructure (DNIT), which are:

- For the sub-base, the CBR must be greater or equal to 20% and the expansion less than 1%;

- For the base, the CBR must be greater or equal to 80% for heavy duty traffic and greater or equal to 60% for medium traffic, with expansion less or equal to 0.5%.

  For all the blends analyzed the expansion values were less than 0.5%.

With regard to CBR values, in Figure 7 it can be seen that up to at least 10% incorporation of filler to the soil there was a reduction in resistance to penetration. From this point on there was an increase in the CBR value. For intermediary energy a 20% proportion presented a greater value and for modified energy a 30% proportion performed better. There was a reduction in CBR values for greater quantities of filler. These results confirm the prediction made of the behavior of materials in terms of resistance, based on the results of the compaction tests.

According to Figure 7, proportions of 15, 20, 30 and 40% of filler could be used with intermediary energy, as a sub-base layer for use in pavement, as the CBR in these cases must be greater than or equal to 20%. For the base layer a 30% proportion of filler could be exclusively used with modified energy, for pavements with a prediction of medium and light traffic ($5x10^6 \leq$ N (number of standard axle repetitions)$\leq 10^7$), since the CBR value for these cases must be equal or greater than 60%.

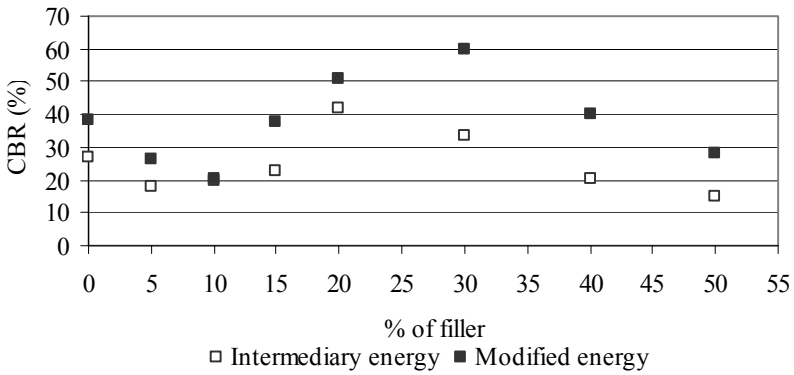


Figure 7 – Graph of CBR values with intermediary and modified energies, using different soil-filler proportions.

4.6 X-ray Diffratometry Test

From the results obtained in the CBR test it was decided what were the samples most appropriate for use in pavement, according to the DNER (1996), and these were the samples evaluated in the X-ray diffratometry test: 100 % soil, 80% soil + 20 % filler and 70 % soil and 30% filler, with intermediary and modified compaction energies.

In the 100% samples of pure soil, the presence of anorthite, montmorillonite, gibbsite, quartz, hematite, and kaolinite was detected. In the other samples examined the presence of muscovite, chlorite, anorthite, kaolinite, quartz and montmorillonite was seen. This shows that

the compositions have characteristics which do not totally coincide with what is seen in pure soil, as this is due to the inclusion of filler and the aggregation of clay minerals among themselves because of the compaction. The change of compaction energy did not imply any changes in the composition of the materials evaluated.

Among the clay minerals present both in the soil and blends are:

- Anorthite: unstable clay mineral, easily weathered;
- Montmorillonite: expansive, allowing for the entrance of water molecules, it is a clay mineral dreaded in civil construction, because of its high reactivity. In the samples tested, there were no significant expansions when the material was immersed in water for the CBR test;
- Quartz: mineral frequently found, predominant in sand and gravel fractions of soils, low reactivity;
- Kaolinite: appears in soils with silty and sandy grain-size distribution, principally in micas, frequently found in the clay fraction of lateritic soils, belonging to the family of clay minerals less colloidally active, with activity reduced still further when associated with oxides and iron hydrates Fe or A1.

Among those exclusively present in the soil are:

- Gibbsite: characteristic of lateritic soils;
- Hematite: iron anhydrous oxide with little known influences on the properties of clay fraction, except its red coloring.

With this characterization it could be seen that the lateritic property of pure soil is maintained with the presence of kaolinite and other clay minerals characteristic of this type of material, even with the inclusion of filler. Such behavior can be reinforced with the MCT classification, which is maintained up to the inclusion of 30% filler, with intermediary and modified energies. It should be stressed, however, that certain constitutional re-arrangements occur, modifying the characteristic of some clay minerals, as was the case of the gibbsite and hematite.

The variation in the behavior of the blends in regard to compaction and the CBR results could have occurred because of the constitutive modification of the materials which is changed to the extent that filler is added, to the point of even changing its lateritical classification to that of non-lateritical in cases with a greater addition of this material. This is perfectly understandable seeing that the clay minerals are important to guarantee an increase in soil resistance through chemical actions of structural arrangement, when the moisture and

compaction circumstances are appropriate. And the clay minerals found are responsible for this behavior confirming the theoretical referential raised.

4.7 Permeability Test

From the permeability test results, the permeability coefficient (k) can be calculated.

According to Figure 8, in the soil-filler blends of different proportions, it can be seen that the samples presented the behavior of fine sands and silts or a blend of both of these plus clay, since the permeability coefficient is between 10^{-2} and 10^{-6} m/s, thereby reinforcing the material characterization already determined.

With the increase of the percentage value of filler, an increase in permeability could be seen, which is expected since there is a consequent reduction in the level of clay present in a decisive manner in the soil.

Knowledge of permeability permits an analysis of the possible consequences of soil-water behavior when water enters the pavement, something not uncommon in Brazilian highways, because of recurring drainage problems. In this study it is maintained that an increase in the level of filler implies an increase in permeability, making the pavement more permeable to water.

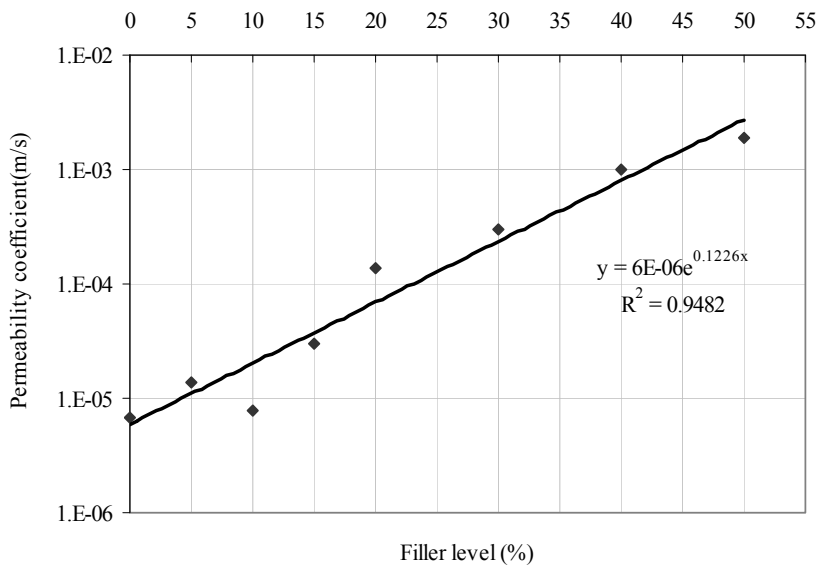


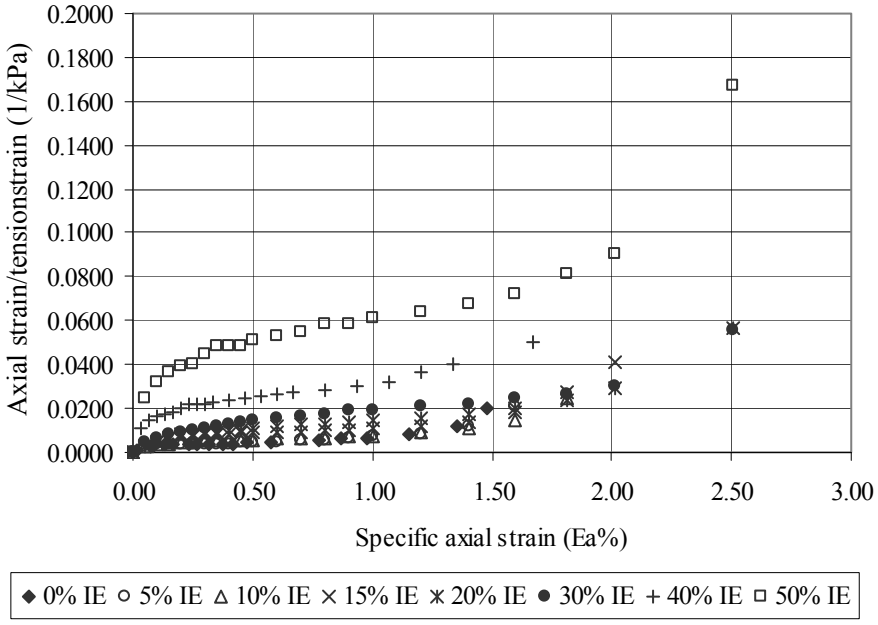
Figure 8 – Permeability Coefficient as a function of the Filler Level.

4.8 Compressive Strength Test

Figure 9 presents axial strain curves as a function of the relationship axial strains divided by axial tension, obtained by means of the compressive strength test. With these results it could be seen that to the extent that the percentages of fines increases, the curves move gradually from right to left and upwards, which represents a reduction of E_0.

According to Takeda (2006), with the reduction of the initial tangent module it is possible to foresee the resilient modulus, an important indicator for pavement design according to mechanistic criteria. The author got this correlation from tests done with samples of soil from upstate São Paulo.

Table 5 presents the results of E_0 obtained by means of Figure 9. As can be seen in this table, there are good correlation coefficients (above 77%) among the data analyzed, since the initial tangent module obtained diminishes with an increase in the filler increment.



IE – Intermediary Energy

Figure 9 – Specific axial strain *versus* axial strain/tension strain for different proportions of filler

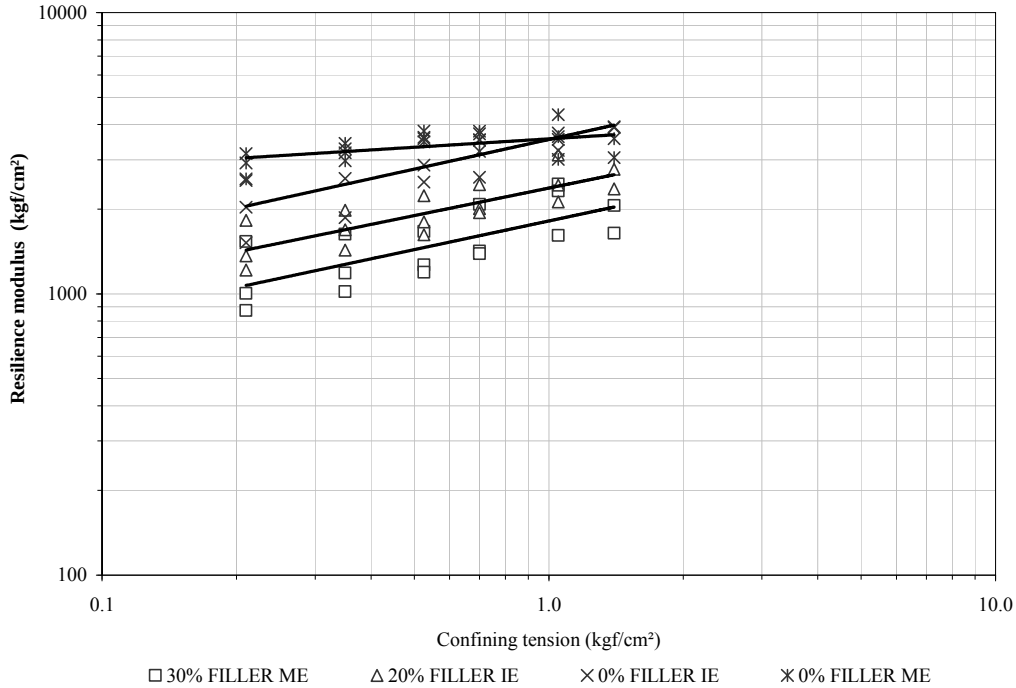
Table 5 – Initial Tangent module for different proportions of filler

% filler	Mathematical Model	R^2	a	E_0(MPa)
0	y=0.0086x+0.0007	77.31	0.0007	1.429
5	y=0.0073x+0.0014	99.96	0.0014	0.714
10	y=0.0088x+0.0013	80.27	0.0013	0.769
15	y=0.0131x+0.0019	77.86	0.0019	0.526
20	y=0.0152x+0.0021	83.61	0.0021	0.476
30	y=0.0152x+0.0049	88.24	0.0049	0.204
40	y=0.0208x+0.0131	87.98	0.0131	0.076
50	y=0.0403x+0.0249	81.42	0.0249	0.040

According to Takeda (2006) with an increase in the level of fines, an increase in the initial tangent module is expected. This fact was also seen in this study, as is presented in Table 5.

4.9 Dynamic Triaxial Test

With the results obtained in the dynamic triaxial test, as presented in Table 6 and Figure 10, it could be seen that the increase in compaction energy caused an increase in RM with the dislocation of the tendency line to the upper left part of the graph. The increase in the filler level and the consequent increase in the level of fines causes a loss of resistance, which could be proven by the dislocation of the tendency line to the upper right part of the graph. To calculate the final RM value, σ_3 of 10 MPa was considered, obtained from the analysis done with the Elsym 5 program.



IE = Intermediary Energy; ME = Modified Energy

Figure 10 – Results of resilience modulus of soil-filler blends

Table 6 – Models of behavior according to the resilience modulus

% of filler	Compaction Energy	Mathematical Model	R^2	RM (MPa)	CBR (%)
0	Intermediary	$MR = 3539 \times \sigma_3^{0.3499}$	0.6553	353.9	28
0	Modified	$MR = 3557 \times \sigma_3^{0.0992}$	0.2538	355.7	39
20	Intermediary	$MR = 2377 \times \sigma_3^{0.3249}$	0.681	237.7	51
30	Modified	$MR = 1816 \times \sigma_3^{0.3384}$	0.5285	181.6	60

And furthermore, according to Table 6, on comparing the RM and CBR values it can be seen that there are significant differences of response to resistance in the samples analyzed, with regard to the addition of filler.

The dynamic test showed that the resistance decreased by about 33% for the sample with a 20% addition of filler when compared with soil without the addition of filler in the same compaction conditions. For the 30% addition of filler when compared with the soil without addition of filler in the same compaction conditions, the loss of resistance was approximately 49%.

The statistical test showed that the resistance increased by about 82% for the sample with the 20% addition of filler when compared with the soil without an addition of filler in the same compaction conditions. For the 30% addition of filler when compared with the soil without the addition of filler in the same compaction energy, the increase was approximately 54%.

The universe of samples analyzed in both tests is very restricted to make any attempt at correlation. The difference in behavior is due to various factors:

- Test Methodology with 4 days of immersion after compaction at optimum moisture in the CRB test;
- RM test carried out 24 hours after the molding of the specimen, at optimum moisture compaction;
- Empirical characteristic of the CBR test;
- Differences in the application of loading of the samples between the tests.

Because of its mechanistic approach, the RM test gives a better representation of the reality of the pavement because of the traffic requirements to which it will be subjected throughout its working life, as well as the results of the tension-strain relation.

The response of the clay minerals with exposure to traffic and to the tensions arising out of these requirements, along with the moisture, may provide specific conditions of strain and resistance, which with the passage of time may jeopardize the pavement, since there are unstable and expansive clay minerals in the constitution of this material, as seen in the X-ray diffratometry.

Because of the small quantity of data evaluated, nothing can be affirmed in relation to the equivalence of the initial tangent module with the RM, as was suggested by Takeda (2006).

Finally, with the results obtained through RM a limited use of soil-filler blends can be envisaged. What would be more indicated would be their application in sub-base layers or the reinforcement of the subgrade for roads of light traffic volume.

5. Conclusions

Based on the results of the characterization test, it is held that the incorporation of filler to the lateritic soil studied caused a reduction in specific density and the plasticity index, given that the waste studied is material of low aggregation and little workability.

With the addition of filler, the material went from an A-7-6, CL and LG', to an A-4, ML and NA, which is justified by the increase in the level of silt and sand present in the filler, interfering with the laterite characteristic of the soil used in the blends.

In the compaction test it could be seen that with intermediary energy the maximum dry density and optimum moisture increased with the raising of proportions to 20%. For modified energy this increase occurred up to a 30% proportion. This behavior can be justified by the presence of clay minerals that respond to the compaction energy and optimum moisture present in the material. However, an excessive proportion of filler proportionately reduces the presence of clay minerals rich in iron and oxides, important for the development of resistance.

With regard to permeability, the values obtained for its respective coefficient varied from 10^{-2} to 10^{-6}, because with the increase in the level of filler incorporated into the soil an increase in this property occurred. From this fact it is possible to draw up guidelines for the choice of constructive techniques which are appropriate for the realities of these blends, as part of the mechanism of water movement in these materials is known.

With the results of the compressive strength test it was seen that the materials raise the initial tangent module with the addition of the level of clay, while the opposite happens with the addition of filler. Thus, the level of clay is an important determinant in what refers to the support capacity of the material, since according to Takeda (2006), the initial tangent module has a narrow and direct relation with the resilience modulus, and this latter is an important indicator for pavement mechanics at present. Such an affirmation cannot be made in this study due to the reduced number of samples for this type of analysis.

From the X-ray diffratometry tests, it was possible to identify the clay minerals present in the materials studied. It is held that the clay minerals present in laterite soils remain the same with the inclusion of filler, while some constitutional rearrangements may take place. These rearrangements could be responsible for the variations in behavior of the blends in terms of classifications, compaction parameters and CBR. In addition, it was proven that

despite the presence of montmorillonite in the samples being analyzed, it is held that no expansion problems were observed in the compacted specimens.

From the CBR values it could be concluded that the blends molded with optimum moisture and maximum dry density of 15, 20, 30 and 40% filler, with intermediary energy, can be used as sub-base material for light and medium traffic pavements, since the CBR is over 20%. For the base layer a quantity of 30% filler, with modified energy must be used, because with this proportion and energy the CBR reached approximately 60%, the minimum value demanded for this layer when traffic is medium or light, according to the empirical design method of the DNER (1996).

The data obtained from the dynamic triaxial test, contrary to the results obtained with the CBR, show that the addition of filler to the soil reduces its natural support capacity. This can be explained by the fact that the dynamic triaxial test considers the cyclical effects of traffic demands, which in the literature is considered as most representative of the reality of the pavements throughout their working life.

However, although the results of the CBR statistical test approve of the use of certain blends of filler-soil in pavement layers, the RM showed that the use of filler in the materials analyzed caused a poorer situation of mechanical resistance and strain than the soil compacted without the addition of filler. So, it could be used in pavement with the aim of reducing waste and the inconveniences this causes due to its closeness to urban centers, but not as a material of the best quality for use in pavement when compared with those traditionally used. In this study the use of soil-filler blends with a maximum of 30% waste, compacted with greater energies (intermediary or modified) is recommended for sub-base layers for reinforcement of the sub-grade for low volume traffic roads.

Referências

AASHTO (1986). AASHTO Guide for design of pavement structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.

ALBERS, A.P.F.; MELCHIADES, F.G.; MACHADO,R.; BALDO, J.B, BOSCHI, A.O. (2001). Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de Raios X. IN: 450 Congresso Brasileiro de Cerâmica, Anais, Florianópolis – SC, 201-11.

ALVES, M.E. (2002). Atributos mineralógicos e eletroquímicos, absorção e dissorção de sulfato em solos paulistas. Tese (doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 169 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459 (1984): Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro – RJ, 6p.

_____. NBR 6508 (1984): Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm - determinação da massa específica. Rio de Janeiro – RJ, 7p.

_____. NBR 7180 (1984): Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro – RJ, 3p.

_____. NBR 6502 (1984): Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro – RJ, 13p.

_____. NBR 9895 (1984) - Solo. Índice de Suporte Californiano. Rio de Janeiro-RJ, 14p.

_____. NBR 7182 (1986) - Solo. Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro-RJ, 10p.

_____. NBR 7185 (1986). Solo – Determinação da massa especifica aparente in situ com emprego do frasco de areia, NBR 7185, Rio de Janeiro, RJ, 7p.

_____. NBR 14545 (2000): Solo.Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro-RJ, 12p.

ASTM D 2166-00 (2004). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soils, Vol. 04.08, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, PA 19428, USA.*

BERNUCCI, L.L.B. (1995). Considerações sobre o dimensionamento de pavementos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. 237p. São Paulo – SP.

BRINATTI, A.M. (2001). Uso de espectroscopias e difração de Raios X aplicadas à caracterização mineralógica de solos. Instituto de Física de São Carlos. 194 p. São Carlos – SP.

CAPUTO, H.P. (2000). Mecânica dos solos e suas aplicações. Fundamentos. Volume 1. 6ª edição. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro, 234 p.

CARNEIRO, A. P., BURGOS, P. C., ALBERTE, E. P. V. (2001). Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos. Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção – Projeto Entulho Bom, A. P. Carneiro, I. A. S. Brum e J. C. CASSA (orgs.), Editora da Universidade Federal da Bahia – EDUFBA, Salvador, Bahia, p. 188-227.

CRAIG, R.F. (2007). Mecânica dos solos. Editora LTC. 7ª Edição. São Paulo – SP, 380p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1996). DNER – Manual de Pavimentação, 2ª Edição, Rio de Janeiro – RJ, 320p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1994a). DNER – ME 256/94. Solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão, Rio de Janeiro – RJ, 6p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1994b). DNER – ME 258/94. Solos compactados com equipamento miniatura – mini-MCV – método de ensaio, Rio de Janeiro – RJ, 14p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1994c). DNER – ME 228/94. Solos – compactação em equipamento miniatura – método de ensaio, Rio de Janeiro – RJ, 14p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1994d). DNER – ME 131/94. Solos – determinação do módulo de resiliência – método de ensaio, Rio de Janeiro – RJ, 8p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1996). DNER – Método de dimensionamento de pavimento flexível, Rio de Janeiro – RJ, 24p.

FORTES, R. M. (2005). Minicurso de metodologia MCT. Lenc Laboratório de Engenharia e Consultoria. Goiânia – GO, 60p.

GOOGLE (2007). Consulta ao *site* público, disponível em http://: www.google.com.br. Acessado em 20 de julho de 2007.

GUSMÃO, A.D.; CARNEIRO, F.P.; BARKOKÉBAS, B.; SOUZA, P.C.M.(2005). Reutilização e reciclagem de resíduos de construção e demolição em obras geotécnicas. 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. ABGE, Florianópolis, SC. p. 203 – 211.

KRYCKYJ, P. R. & TRICHÊS, G. (2000). *Use of civil construction waste in urban pavements: a feasibility study. 5th International Symposium on Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development. COD 142, ID 065,* Belo Horizonte – MG.

LEITE, F. (2007). Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 185p.

MESQUITA, G. M. (2007). Aplicação de misturas de fosfogesso e solos tropicais finos na pavimentação. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás. Goiânia - GO.142p.

MOTA, R. S. (2005). Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduos sólido da construção civil para aplicação de baixo volume de tráfego. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP, 134p.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1995). *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos.* São Paulo, Editora Vilibor. 213p.

OLIVEIRA, J.C.; REZENDE, L.R.; GUIMARÃES, R.C.; CARVALHO, J.C. (2005a). Variação dos Parâmetros de Compactação e CBR de Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil. 36a Reunião Anual de Pavimentação, Curitiba - PR.

OLIVEIRA, J.C.; REZENDE, L.R.; GUIMARÃES, R.C.; CARVALHO, J.C.; SILVA, A.L.A. (2005b). Avaliação do desempenho de um pavimento flexível com base e sub-base de agregados reciclados de resíduos sólidos da constrição civil (entulho) no município de Goiânia. Simpósio Internacional de Reciclagem de Pavimentos, São Paulo - SP.

PARENTE, E. B, BOAVISTA, A.H., SOARES, J. B. (2003). Estudo do comportamento mecânico de misturas de solo e escória de aciaria para aplicação na construção rodoviária na região metropolitana de Fortaleza. ANPET, Vol. 1. Rio de Janeiro – RJ.

RESPLANDES, H.M.S. Estudo ambiental e técnico da aplicação do agregado reciclado na estruturação de pavimentos flexível. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA. Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia –GO. 210p. 2007.

REZENDE. L.R. (1999). Técnicas alternativas para a construção de bases de pavimentos rodoviários. Dissertação de mestrado, G. DM-055 A/99, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília – DF, 169p.

REZENDE, L. R. (2003) Estudo do comportamento de materiais alternativos utilizados em estruturas de pavementos flexíveis. Tese apresentada na Universidade de Brasília. 372p. Brasília – DF.

RIBEIRO, F., SERRA, N. G. S. (2001). Utilização de entulho na pavimentação. Projeto Final para Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Goiás, Anápolis – GO, 104p.

ROHDE, L., CONSOLI, N.C., NÚNEZ, W. P. (2001). O uso da escória de aciaria como agregado para base e sub-base de pavimentos. Relatório de teses e dissertações em andamento. ANPET, Campinas – SP.

SANTOS, P.S. (1992). Ciência e tecnologia das argilas. 2ed., V.3 Editora Edgard Blucher Ltda. 1089p.

SILVA, A.L.A. (2004). Aplicação de resíduos sólidos da construção civil em base e sub-base de pavementos (Trabalho de conclusão de curso). Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Goiânia, GO.

SILVA, A.L.A.; GUIMARÃES, R.C.; MANSO, E.A.; REZENDE, L.R. (2006) Aplicação de Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil em Pista Testal de Goiânia. 13a Reunião Pavimentação Urbana, Maceió, AL, 12p.

SILVESTRE, O.B., PARREIRA, A. B., KOBAYASHI, A. R. K. (2001). Influência do tipo de cimento na resistência e deformabilidade das misturas de fosfogesso e cimento. ANPET, vol. 1, Rio de Janeiro – RJ.

SOARES, L. & MENDES, K.S. (1999). O aproveitamento de finos de pedreiras. Relatório Técnico, Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 17p.

TAKEDA, M. C. A (2006). Influência da variação da umidade pós-compactação no comportamento mecânico de solos de rodovias do interior paulista. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 276p.

THOMÉ, A., SCHNEIDER, I. A. H., ROSA, F. D. & CONSOLI, N. C. (2002). Caracterização geotécnica de um resíduo da indústria de pedras semi-preciosas e viabilidade de seu uso em estabilização de solos. XII COBRAMSEG: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo – SP. p.2:229-239.

VARGAS, M. (1977). Introdução à mecânica dos solos. Editora McGraw Hill do Brasil. São Paulo – SP, 509 p.

COMPORTAMENTO DE UM TRECHO EXPERIMENTAL EXECUTADO COM FILER DE PEDREIRA

BEHAVIOR OF AN EXPERIMENTAL TRACK BUILT WITH SOIL-FILLER

Marta Pereira da Luz*
Lilian Ribeiro de Rezende**
Selma Simões de Castro***

RESUMO – Com a finalidade de contribuir com uma solução para a problemática do acúmulo de resíduo de mineração presente na Região Metropolitana de Goiânia, este trabalho tem por objetivo avaliar a aplicação de resíduo de mineração, o filer, em pavimentação urbana. Para tanto, foi executado um trecho experimental com misturas de solo-filer na proporção de 20% de filer na sub-base e 30% na base, compactadas na energia Proctor intermediária e modificada, respectivamente. O trecho experimental foi avaliado por meio da realização dos seguintes ensaios de campo: grau de compactação, penetrômetro dinâmico de cone, prova de carga sobre placa e viga Benkelman. Os resultados obtidos na seção executada com a mistura foram comparados com os das seções executadas com cascalho e solo-brita. Pode-se concluir que o comportamento mecânico do trecho experimental executado com solo-filer adéqua-se às condições estabelecidas pelas normas vigentes de pavimentação, constituindo importante contribuição na diminuição do quantitativo deste resíduo.

Palavras – chave: Filer. Pavimentação. Meio ambiente.

SYNOPSIS – This study aimed to evaluate the application of quarry waste filler, in urban pavement in the hope of providing a solution to the issue of the accumulation of quarry waste in the Metropolitan Region of Goiânia. To do so, an experimental track was built with soil-filler blends in a proportion of 20% filler in the sub base and 30% in the base, compacted with intermediate and modified Proctor energy, respectively. The experimental track was evaluated through the following field tests: degree of compaction, dynamic cone penetration, loading plate and Benkelman beam. The results of these tests were compared with those obtained from a track built with gravel and soil-crushed rock. It can be concluded that the mechanical behavior of the experimental track built with soil-filler blends fulfils the conditions established by the pavement norms in force and thereby constitutes an important contribution in diminishing the quantity of this waste.

Keywords: Filler. Pavement. Environment.

* Mestre, Universidade Federal de Goiás, Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Campus Samambaia - Bloco ICB4, Caixa Postal 131, CEP.: 74001-970, Goiânia-GO, e-mail: marta.eng@ucg.br.

**Doutora, Professora Adjunta, Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Geotecnia e Construção Civil, e-mail: lrezende@eec.ufg.br.

***Doutora, Professora Titular, Universidade Federal de Goiás, Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, e-mail: selma@iesa.ufg.br.

1 - INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, a demanda por recursos naturais tem crescido vertiginosamente. Isto se deve não somente ao crescimento populacional propriamente dito, mas ao aumento do consumo e do padrão que se entende como qualidade de vida que é cada vez mais exigente. Com isto, reflexos nas condições ambientais tornam-se cada vez mais evidentes. A alta concentração de pessoas nos centros urbanos potencializa esta problemática e trás como resultado graves problemas, tais como: poluição e contaminação dos solos, do ar e das águas; enchentes e deslizamentos de encostas ligados ao uso inadequado do solo (aterros, ocupação de encostas e margens de rios, etc.); disposição e tratamento inadequado de resíduos sólidos, em especial os industriais. Segundo Batalione (2007), o uso de tecnologias e de materiais mais viáveis economicamente e ecologicamente está se tornando uma necessidade para o desenvolvimento sustentável mundial.

No que se refere à problemática causada pelo acúmulo de resíduos, alguns pesquisadores têm feito estudos para testar a viabilidade técnica de emprego destes materiais em pavimentação rodoviária, em especial em camadas de base e sub-base, por consumirem maior quantidade de material. Quando se constata a viabilidade técnica do material alternativo, pode-se contribuir para mitigar três problemáticas importantes: a primeira diz respeito à escassez de materiais granulares aceitos pelas especificações tradicionais para compor as camadas de sub-base e base de pavimentos flexíveis (REZENDE, 2003); a segunda refere-se à dificuldade imposta pela Legislação Ambiental (CONAMA n°10, 1990, em seu artigo I, e do decreto lei 227, UNIÃO, 1967) para a exploração de jazidas; e a terceira, e não menos importante, solucionar a problemática enfrentada por empresários quanto ao destino dado ao resíduo de processos industriais, que a cada dia se acumulam em terrenos vizinhos à empresa, gerando custos e externalidades diversas.

A compreensão do comportamento dos solos de regiões tropicais quando aplicados à pavimentação complementaram e auxiliaram na elaboração das metodologias de misturas solo-resíduo, tendo destaque nesta área os trabalhos de: Casagrande (1947), Nascimento *et al.* (1964), O'Reilly e Milard (1969), Asare-Darko (1984), Nogami *et al.* (1985), Aggarwal e Jafri (1987), Gicagha *et al.* (1987), Gidigasu *et al.* (1987), Medina e Mota (1989), Wambura *et al.* (1990), Nogami e Villibor (1994), Bernucci (1995) e Medina (1997).

Na engenharia rodoviária são muitos os projetos de pesquisa que apontam a viabilidade técnica e econômica do uso de agregados reciclados e de rejeitos, sejam eles oriundos da construção civil, indústria siderúrgica, usina termoelétrica, mineração e outras, conforme apresentados nos trabalhos de Fugimura *et al.* (1995), Silvestre *et al.* (2001), Consoli *et al.* (2002), Thomé *et al.* (2002), Parente *et al.* (2003), Alecrim e Pessa (2005), Gusmão *et al.* (2005), Pereira *et al.* (2005), Pissato e Soares (2005), Oliveira *et al.* (2005a, b), Sheidl *et al.* (2005), Batalione (2007), Araújo (2008), entre outros.

Tendo em vista as experiências anteriores obtidas nesses trabalhos citados, este artigo visa propor uma alternativa de utilização para o rejeito das mineradoras de brita da Região Metropolitana de Goiânia (RMG), através da avaliação técnica do emprego de misturas solo-filer em camadas de base e sub-base de pavimentos com médio tráfego de veículos. A proposta se justifica em função do eixo Goiânia-Brasília constituir-se no terceiro mercado consumidor de produtos resultantes do processo de britagem no país. Goiânia, com uma população de cerca de 1,4 milhões de habitantes, consome atualmente aproximadamente 100000 metros cúbicos de pedra britada por mês, embora tenha potencial para consumir até 250000 metros cúbicos, segundo dados da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil (ANEPAC, 2004). Com esses números torna-se evidente a necessidade de solucionar os problemas

gerados pelo acúmulo de resíduos advindos do processo de lavagem da brita, já que atualmente, dada a pouca incorporação desses resíduos em outros processos industriais, as empresas são obrigadas a manterem o material armazenado em sua área, o que acarreta uma série de inconvenientes, tais como: poluição visual, poluição atmosférica, poluição hídrica, indisposição com circunvizinhança e ocupação indevida do terreno.

Para se alcançar o objetivo da pesquisa, realizou-se a execução e o monitoramento de um trecho experimental de pavimento executado com dosagens de filer ao solo, em camadas de base e sub-base.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1- Seleção dos materiais

Foi selecionado para coleta um solo situado em uma jazida localizada dentro da área das Centrais de Abastecimento de Goiás S/A (Ceasa-GO), no km 5.5 da BR-060, latitude: 16º37'29.65" S e longitude: 49º12'4.75"W, próximo ao trecho experimental, e o filer foi coletado no aterro de resíduos de uma pedreira localizada da Região Metropolitana de Goiânia (RMG), representativa dos resíduos gerados pelas empresas mineradoras dessa região

Trata-se de solo residual maduro e representativo das características dos solos encontrados na RMG, tratando-se de um solo predominantemente argiloso. Outros pesquisadores já utilizaram esse tipo de solo em seus estudos, como a pesquisa sobre a avaliação da mistura solo-entulho da construção civil, realizado por Oliveira *et al.* (2005a, 2005b) e Silva *et al.* (2005), o que favorece futuras comparações.

Já o filer foi escolhido tendo-se em vista que este caracteriza o resíduo predominante nas pedreiras da RMG, que são derivados de rochas micaxísticas.

Esses materiais foram caracterizados por meio de ensaios laboratoriais e suas propriedades mecânicas determinadas por meio dos ensaios de CBR (*California Bearing Ratio)* e triaxial dinâmico. Diversas misturas solo-filer foram avaliadas, sendo que aquelas que apresentaram melhores resultados foram selecionadas para serem utilizadas na construção do trecho experimental. Neste caso, as misturas escolhidas foram a com 20% de filer compactada na energia Proctor intermediária e a com 30% de filer compactada na energia Proctor modificada.

2.2 - Trecho experimental

2.2. 1 - Dimensionamento

Com os resultados obtidos em laboratório foram definidos os materiais e as condições de aplicação dos mesmos na pista experimental. Com estes dados e conhecendo-se o tráfego atual da via (N) igual a $5x10^6$, foi realizado o dimensionamento do pavimento utilizando-se os métodos do extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), atualmente denominado de Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT).

A seção definida no dimensionamento está apresentada na Figura 1. A construção desse trecho experimental foi realizada pelo DERMU (Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Goiânia) sob a coordenação das autoras do presente artigo e de Araújo (2008). O laboratório do DERMU também forneceu os resultados do ensaio de CBR realizados com o material do subleito, sendo que o valor adotado para o projeto foi de 9%.

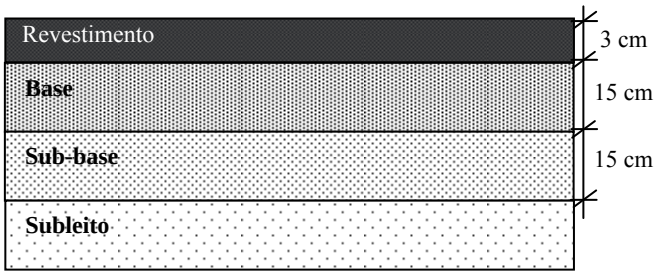


Figura 1 – Seção transversal do trecho experimental.

Para a obtenção dos volumes de material a ser empregado na execução do trecho estudado foram realizados os cálculos descritos a seguir.

Dados do Trecho Experimental Solo-filer:

- Extensão total: 100 m;
- Revestimento: 3 cm de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ);
- Subleito considerado com CBR médio de 9% obtido em laboratório, para o dimensionamento, segundo o método do DNIT;
- Espessura de base: 15 cm;
- Espessura da sub-base: 15 cm;
- Empolamento do material: 40%;
- Espessura total do pavimento (Hn) = 33cm;
- Largura estimada da pista = 7m.

Características do trecho:

* Base: 30% de filer, sendo a energia de compactação modificada, com CBR previsto em laboratório de 56%, e com $\gamma_{dmáx}$ = 18.75 kN/m³, w_{ot} = 14.8%;

*Sub-base: 20% de filer, sendo a energia de compactação intermediária, com CBR previsto em laboratório de 42%, e com $\gamma_{dmáx}$ = 18.03 kN/m³, w_{ot} = 16.5%.

Cálculo da massa de filer e solo para a camada de base:

$$1.875\frac{g}{cm^3} = \frac{m_{solo+filer}}{700\times 15\times 10000}$$

$$\Rightarrow m_{solo+filer} = 196.88t$$

$$m_{solo+filer}\times e = 196.88\times 1.40 = 275.63t$$

$$m_{solo} = 192.94t$$

$$m_{filer} = 82.69t$$

Cálculo da massa de filer e solo para a camada de sub-base:

$$1.803\frac{g}{cm^3} = \frac{m_{solo+filer}}{700\times15\times10000}$$
$$\Rightarrow m_{solo+filer} = 189.32t$$
$$m_{solo+filer}\times e = 189.32\times1.40 = 265.05t$$
$$m_{solo} = 212.04t$$
$$m_{filer} = 53.01t$$

Portanto, a massa total empregada nos 100 m de pista é de 404.98 t de solo e 135.70 t de filer.

2.2.2 - Localização

Com os dados de dimensionamento obtidos a partir dos ensaios laboratoriais, foi executado o trecho experimental de 400 m monitorados, sendo que o presente artigo analisa os 100 primeiros metros que foram executados com resíduo de micaxisto, o filer, proveniente da lavagem da brita, característico das pedreiras da RMG, como já exposto. Os 300 metros restantes foram avaliados por Araújo (2008), sendo este composto por trechos de: solo-brita, cascalho e solo-expurgo, sendo que este último foi denominado pelo autor como solo-pó de micaxisto. Os resultados de Araújo (2008) em relação aos trechos em que foram aplicados solo-brita e cascalho serão comparados com as características comportamentais do trecho executado com solo-filer.

Na Figura 2 está representada a localização da jazida de solo que compôs as camadas de base e sub-base do trecho executado, juntamente com filer. Na mesma figura ainda está a localização do trecho experimental, o qual se sedia na Rua Amélia Rosa, coordenadas 16° 37' 33.58" S e 49° 11' 50.75" W, bairro Sítio de Recreio Ipê, região nordeste de Goiânia-GO.

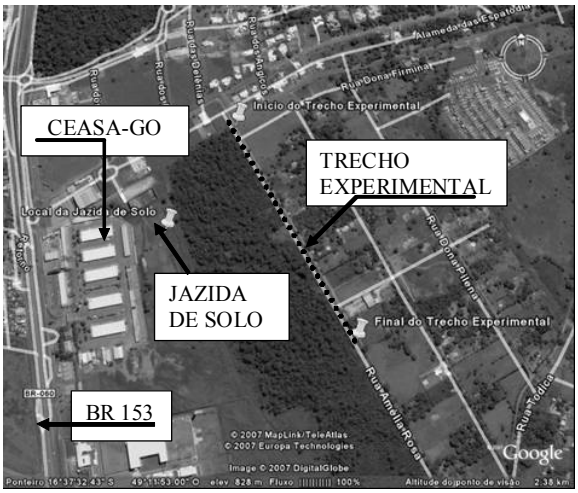


Figura 2 – Localização do Trecho experimental e da área de empréstimo

Na Figura 3 está a representação do trecho experimental dividido de acordo com o estaqueamento. No presente trabalho foram executados ensaios de campo nas estacas 1, 2, 3, 4 e 5, durante o processo executivo (entre os meses de julho e agosto de 2007), logo após o

encerramento de cada camada e após o período de chuva na região (em julho de 2008).

O trecho experimental não contou com qualquer tipo de dispositivo de drenagem, pois o DERMU, que forneceu equipamentos para a execução do trecho experimental, não possuia disponibilidade de recursos para a execução destes dispositivos até o segundo semestre do ano de 2008. No entanto, há perspectivas futuras para tal feito. O projeto atentou para a execução de inclinação de 2% no sentido eixo-bordo para permitir o escoamento da água pluvial para os bordos da pista e a área permeável subseqüente.

Nos resultados, o trecho de solo-filer será denominado trecho 1, o de solo-brita trecho 2 e o de cascalho laterítico trecho 3.

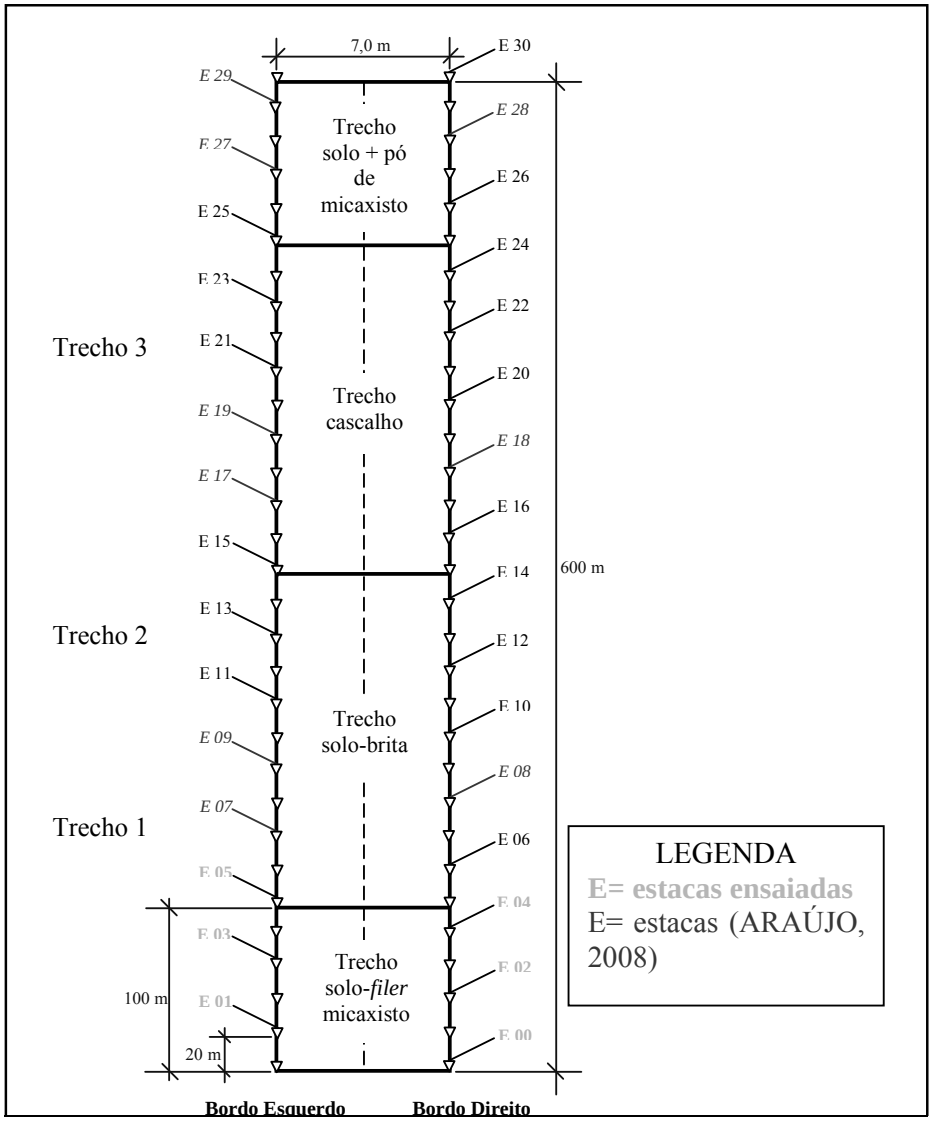


Figura 3 - Trecho experimental em planta, localizando os sub-trechos e as estacas que foram ensaiadas em cada um deles (modificado de ARAÚJO, 2008)

2.2.3 - Metodologia executiva

A execução do pavimento seguiu as etapas construtivas descritas nos tópicos seguintes:

- 1ª etapa: aquisição do material (Figura 4), sendo que o filer, em função de passar por sistema de tratamento via úmida, foi seco ao ar antes da aplicação na pista;
- 2ª etapa: preparação, regularização e compactação do subleito na energia Proctor normal (Figura 6);
- 3ª etapa: execução da sub-base (Figuras 6, 7 e 8), compactada na energia Proctor intermediária, utilizando a mistura de 20% de filer e 80% de solo, em peso, como materiais constituintes. Em seguida a mistura foi homogeneizada com grade de disco, e logo após foi umidecida com caminhão pipa e novamente homogeneizada com a grade. Após esse preparo a mistura foi compactada com um rolo pé-de-carneiro vibratório;
- 4ª etapa: execução da base, compactada na energia Proctor modificada, utilizando a mistura de 30% de filer e 70% de solo, em peso, como matéria prima (LUZ *et al*., 2008). A compactação desse material ocorreu utilizando a mesma metodologia empregada para a sub-base;
- 5ª etapa: trincamento e tratamento da base (Figura 9). Após a execução da base a mesma ficou exposta por um período de 48 horas visando o trincamento da mesma. Esse trincamento ocorre devido à perda de umidade da camada de solo, sendo também uma característica de solos argilosos. Depois do trincamento da base, foi realizado um tratamento dessa superfície por meio de um umidecimento seguido de raspagem com motoniveladora. Esse tratamento é necessário para o preenchimento das trincas. Todo esse procedimento visa um ganho de resistência da camada, conforme indica estudo de Nogami e Villibor (1995) e Rezende (2003);
- 6ª etapa: imprimação (Figura 10) da base com material betuminoso tipo CM-30, visando a impermeabilização e proteção das camadas do pavimento. A imprimação também foi empregada para conservação da umidade das camadas compactadas, de forma a evitar novos trincamentos;
- 7ª etapa: execução do revestimento no trecho com uma camada de 3 cm de Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ), compactado com rolo de aço liso (Figura.11).

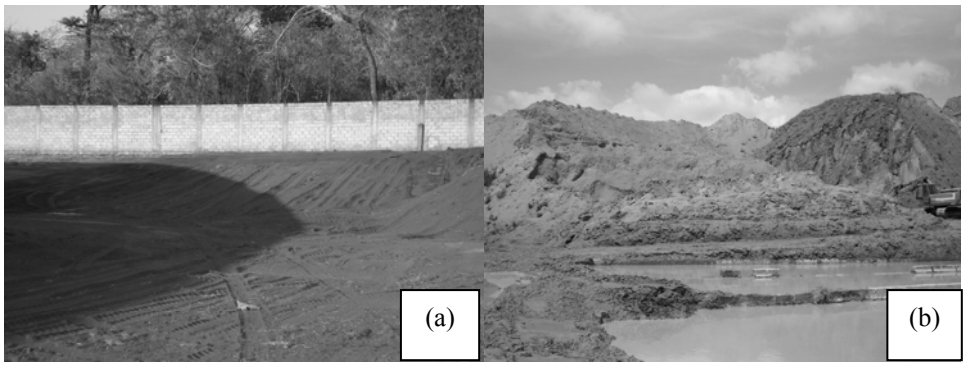


Figura 4 – Aquisição de material: (a) Vista da limpeza da área de empréstimo de solo; (b) Vista de local de armazenamento do resíduo estudado em pedreira representativa da RMG.

Figura 5 – Preparação e regularização do subleito do trecho experimental.

Figura 6 – Execução da sub-base e base: (a) Recepção e distribuição do solo ao longo do trecho; (b) Repartição das dosagens de 20% e 30%, em peso, do resíduo determinado em cálculo.

Figura 7 – Execução da sub-base e base: (a) Incorporação e homogeneização do resíduo estudado ao solo.

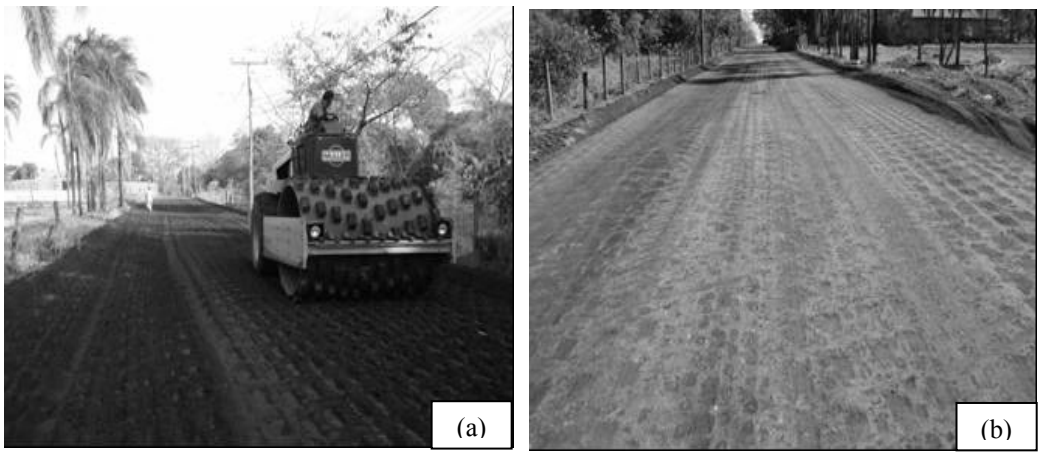


Figura 8 - Execução da sub-base e base: (a) Compactação da camada com o auxílio de um rolo pé-de-carneiro vibrador; (b) Aspecto da camada após a compactação (ARAÚJO, 2008).

Figura 9 – Aspecto da base compactada após o trincamento.

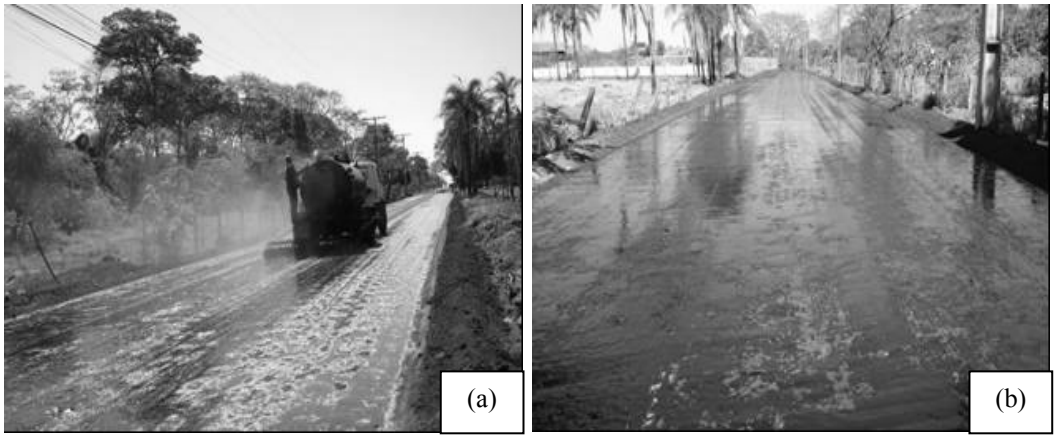


Figura 10 – Imprimação: (a) Aplicação de material betuminoso (CM-30) para impermeabilização do trecho; (b) Vista da pista após término da imprimação (ARAÚJO, 2008).

Figura 11 – Revestimento: (a) Aplicação de uma camada de três centímetros de revestimento do tipo CBUQ; (b) Compactação da massa asfáltica com rolo de aço liso (ARAÚJO, 2008).

2.2.4 - Ensaios de controle tecnológico do trecho experimental

O controle tecnológico do trecho experimental foi feito em cada camada do pavimento, na etapa de execução: subleito, sub-base e base. O objetivo do controle tecnológico foi garantir que as camadas que compõem o pavimento tenham grau de compactação de 100±0.5% e umidade ótima prevista em laboratório, na energia normal para o subleito e respectivamente intermediária e modificada, para as camadas de sub-base e base.

Para o controle do grau de compactação foi realizada a determinação da densidade das camadas compactadas pelo método do frasco de areia de acordo com a metodologia da NBR 7185 (ABNT,1986).

Para a determinação da umidade nas camadas do pavimento foi utilizado o método do S*peedy* (DNER, 1994b).

2.2.5 - Ensaios de monitoramento

Os ensaios de monitoramento foram feitos na etapa executiva nas camadas de subleito, sub-base e base, após a compactação e estabilização da camada. Na etapa pós-executiva, os ensaios foram feitos sobre o revestimento asfáltico.

Na etapa executiva foram realizados os ensaios de prova de carga sobre placa e Penetrômetro Dinâmico de Cone (*Dynamic Cone Penetration* - DCP), e na fase pós executiva foram feitos os ensaios de prova de carga sobre placa e viga Benkelman. O ensaio de viga Benkelman e DCP não foram feitos nas duas fases devido a problemas com o equipamento.

Os valores de umidade medidos no pavimento após a inclusão do revestimento asfáltico foi obtido quebrando-se esta camada, coletando-se a amostra e em laboratório foi determinada a sua umidade. No transporte das amostras houve bastante prudência no seu armazenamento para garantir que a umidade fosse mantida.

2.3.5.1 - PENETRÔMETRO DINÂMICO DE CONE (DCP)

O DCP é um instrumento que permite realizar ensaios de penetração dinâmica em estruturas de pavimentos cujas camadas são de materiais levemente cimentados, materiais granulares ou solos. Consiste, geralmente, em uma barra de aço de 16 mm de diâmetro, sendo que em sua extremidade há um cone de aço fixo com ângulo de 60º e 20 mm de diâmetro. Faz parte também do equipamento, um martelo de aço com peso de 8 kg, que ao deslizar por uma barra de 25 mm de diâmetro e uma altura de queda de 575 mm, introduz a barra de 16 mm juntamente com o cone no solo (TERTULIANO *et al*., 2007). Na Figura 12 estão apresentadas figura esquemática do ensaio e foto da realização de sua realização na pista experimental.

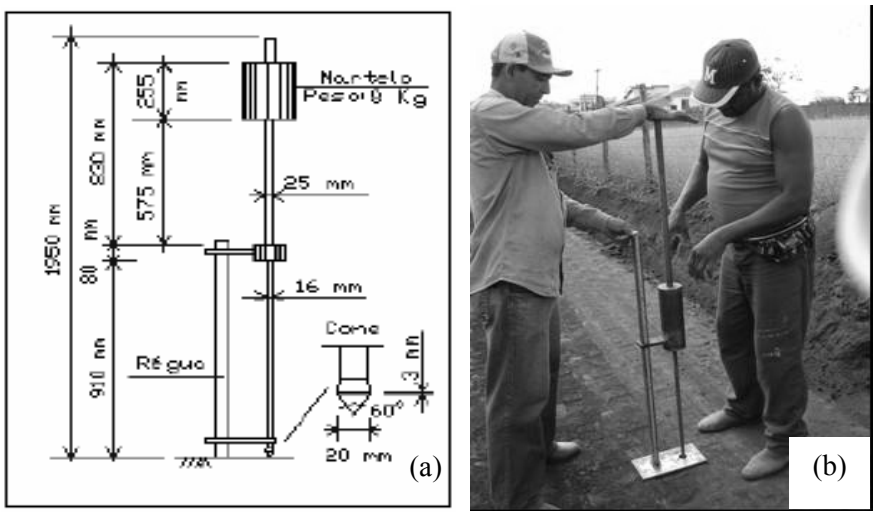


Figura 12 – (a) Figura esquemática do ensaio de DCP (ALVES,2002). (b) Realização do ensaio Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) (modificado de ARAÚJO, 2008)

Na forma gráfica de apresentação do ensaio DCP, tem-se a curva que relaciona a profundidade com o número de golpes a partir da qual se determina o índice de penetração DN (REZENDE, 2003). Foram realizados ensaios nos bordos e no eixo da pista. A partir desse ensaio foi possível determinar o índice de penetração (DN), em mm/golpe, a espessura das camadas em função da resistência e utilizando correlações, o valor de CBR *in loco*.

Na literatura há várias correlações para calcular o valor de CBR em função do DN. Nesta pesquisa adotou-se algumas das correlações realizadas em pavimentos brasileiros. Neste sentido, Heyn (1986 *apud* RESPLANDES, 2007) realizou estudos com DCP em rodovias no estado do Paraná, resultando na correlação apresentada na Equação 1:

$$CBR = 443.5 \times (DN)^{-1.3} \qquad (1)$$

onde:
CBR = capacidade de suporte (%);
DN = índice de penetração obtido no ensaio com DCP (mm/golpes).

Outra correlação entre CBR e DN foi obtida no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) pelos pesquisadores Oliveira e Vertamatti (1997 *apud* RESPLANDES, 2007), estudando solos tradicionais empregados em rodovias no estado de São Paulo, chegando à seguinte Equação 2:

$$\log CBR = 2.49 - 1.057 \times (\log DN) \quad (2)$$

onde:
CBR e *DN* são variáveis já definidas anteriormente.

Lopes *et al.* (2007) trazem em seu trabalho uma correlação para o solo estudado nesta pesquisa, obtendo a Equação 3 descrita a seguir:

$$\log (CBR) = \log (-1.4799*DN + 39.68) \quad (3)$$

onde:
CBR e *DN* são variáveis já definidas neste item.

2.3.5.2 - Prova de carga sobre placa

O ensaio de prova de carga sobre placa foi realizado conforme Figura 13, com equipamento composto por uma placa metálica com 25 cm de diâmetro e 2.54 cm de espessura, um caminhão carregado com 8.2 t como sistema de reação, um macaco hidráulico, no mínimo três deflectômetros com precisão de 0.01 mm instalados sobre a placa e uma viga metálica para fixação dos deflectômetros.

O ensaio foi iniciado com a montagem do macaco hidráulico sobre a placa, precedido pelo posicionamento do caminhão sobre o conjunto citado anteriormente. Em seguida foram posicionados os extensômetros fixados na placa de maneira diametralmente opostos. Após a montagem do equipamento, foi dado início a fase operacional do experimento aplicando estágios de carregamento (0, 5, 10, 20, 30, 40 e 50 KN) a cada 5 minutos. Após aplicação de todos os estágios de carregamento, foi realizado o descarregamento (40, 25, 15, 5 e 0 KN) também em estágios com tempo entre eles de 5 minutos cada. Mediante as leituras efetuadas foram obtidas a curva tensão versus deslocamento, assim como o módulo de reação para o ensaio em placa (k_{placa}).

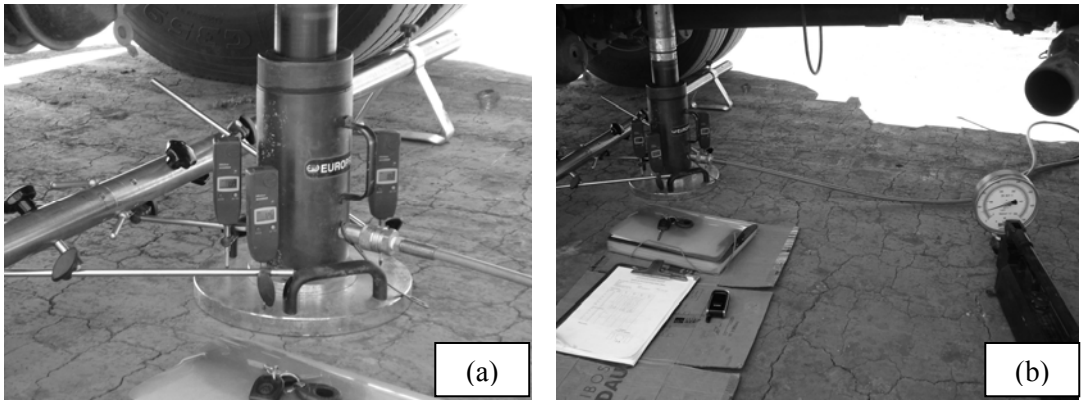


Figura 13 – Ensaio de prova de carga sobre placa: (a) Detalhe do equipamento: placa, viga e extensômetros; (b) Detalhe do equipamento: placa e macaco hidráulico.

2.3.5.3 - Viga Benkelman

O ensaio da Viga Benkelman normalizado pela ME 024 (DNER, 1994a) consiste na mediação das bacias de deflexões de uma camada do pavimento pelo efeito da movimentação de um veículo com carga padrão de 8.2 toneladas por eixo traseiro, conforme Figura 14. Após diversas leituras, realizadas com um extensômetro preso a uma extremidade da viga, em distâncias fixadas que vão de 25 cm até no máximo 10 metros, calcula-se as bacias de deflexões e os raios de curvaturas do pavimento analisado. Trabalhando estatisticamente, os resultados obtidos no campo associados aos coeficientes de correções climáticos, determina-se as deformações de campo e de projeto (Dp)

Conforme a norma PRO 011 (DNER,1979), tem-se a Equação 4:

$$\text{Log } D_{adm} = 3.01 - 0.176 \log N \qquad (4)$$

Onde:

D_{adm} = Deformação máxima admissível do pavimento.

N = número de operações do eixo padrão de 8.2 toneladas.

Para pavimentos em bom estado de conservação dp $\leq$ D adm.

Onde:

dp = deflexão característica corrigida de projeto.

Em relação ao valor do raio de curvatura do pavimento o mesmo deverá apresentar valores superior ou no mínimo igual a 100 m, para que o pavimento esteja em boas condições de desempenho. O raio de curvatura será calculado pela Equação 5:

$$R = \frac{6250}{2 \times (D_0 - D_{25})} \qquad (5)$$

Onde:

R = Raio de Curvatura, em metros(m);

D_o = deflexão real ou verdadeira em centímetros de milímetros (cm.mm);

D_{25} = deflexão a 25 centímetros do ponto de prova, em centímetros de milímetros (cm.mm).

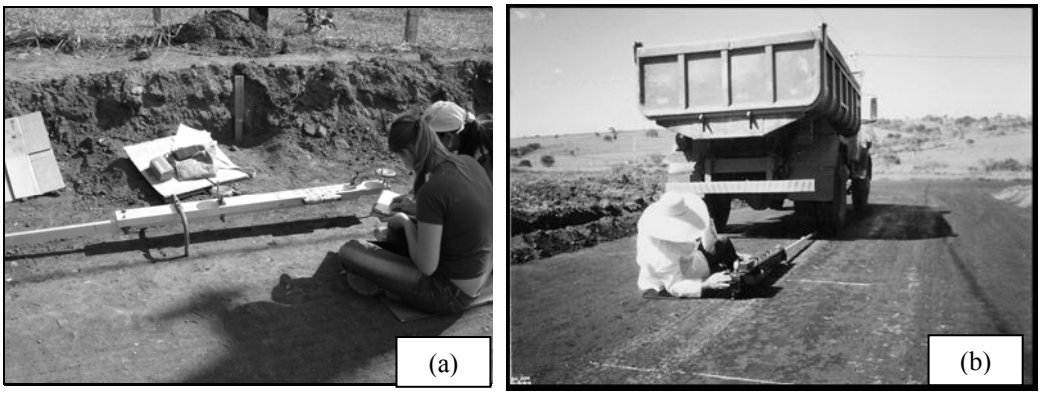


Figura 14 – Ensaio de Viga Benkelman (a) anotação das leituras; (b) posicionamento do caminhão (BATALIONE, 2007)

3 - RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de campo referente ao trecho experimental de 100 m constituído por camada de base e sub-base de solo-filer. Ao mesmo tempo em cada tópico de análise, serão confrontados os resultados obtidos por Araújo (2008) em suas análises com solo-brita (30% de solo e 30% de brita) e cascalho. As comparações são favorecidas por este autor ter trabalhado em trecho seqüente ao analisado e por ter utilizado a mesma jazida de solo em suas misturas.

Na etapa pós-executiva não foram realizadas comparações com o trabalho de Araújo (2008), pois o seu estudo objetivava apenas o controle tecnológico durante a execução do trecho.

3.1 - Fase executiva

3.1.1 - Frasco de Areia e Speedy

Os resultados de grau de compactação (GC) e de umidade obtidos respectivamente com os ensaios de frasco de areia e S*peedy* estão dentro dos limites de tolerância especificados pela norma de pavimentação do DNER (1996), sendo o GC com variação de ± 5% e a umidade com variação de ±0.5% para todo o trecho experimental.

3.1.2 – DCP

Com os resultados obtidos no ensaio de DCP, logo após a execução do pavimento, pode-se observar de acordo com os valores apresentados na Tabela 1 que o subleito apresentou duas camadas, sendo uma caracterizada pela camada superficial compactada executada para receber as camadas subseqüentes, com cerca de 11 cm, e a seguinte com cerca de 22.5 cm, sendo o valor de DN médio de 9.2 e 23.3 mm/golpe, respectivamente.

Já para o ensaio realizado após a execução da base verifica-se a existência de três camadas de comportamento diferenciado, com espessuras médias de 14.2, 26.0 e 46.3 cm, sendo o valor de DN médio respectivamente de 11.3, 31.4 e 74.8 mm/golpe. Essas camadas correspondem à base, sub-base e ao subleito do trecho. Não houve diferenças significavas entre os resultados encontrados nos bordos e no eixo.

Tabela 1 – Resultados de DCP obtidos no trecho 1 logo após a execução do pavimento

Camada Ensaiada	Estaca	Camada	Profundidade (cm)	Espessura (cm)	DN (mm/golpe)
SUBLEITO	E 1 EIXO	1	11.0	11.0	9.2
		2	33.0	22.0	25.6
	E 5 BD	1	11.0	11.0	9.2
		2	34.0	23.0	20.9
BASE	E 1 EIXO	1	15.0	15.0	11.5
		2	43.9	28.9	26.3
		3	87.1	43.2	72.0
	E 2 EIXO	1	14.0	14.0	11.7
		2	43.3	29.3	24.4
		3	85.8	42.5	70.8
	E 3 BE	1	14.0	14.0	10.8
		2	35.8	21.8	43.6
		3	86.5	50.7	84.5
	E 4 EIXO	1	15.0	15.0	11.5
		2	41.0	26.0	32.5
		3	87.3	46.3	77.2
	E 5 BD	1	13.0	13.0	10.8
		2	37.0	24.0	30.0
		3	85.6	48.6	69.4

Obs: BE = bordo esquerdo; BD = bordo direito; DN = índice de penetração obtido com ensaio de DCP.

Nas Figuras 15 e 16 são apresentados o diagrama estrutural do ensaio de DCP realizado no subleito e base logo após a execução dos trechos 1, 2 e 3, sendo os resultados dos trechos 2 e 3 obtidos de Araújo (2008).

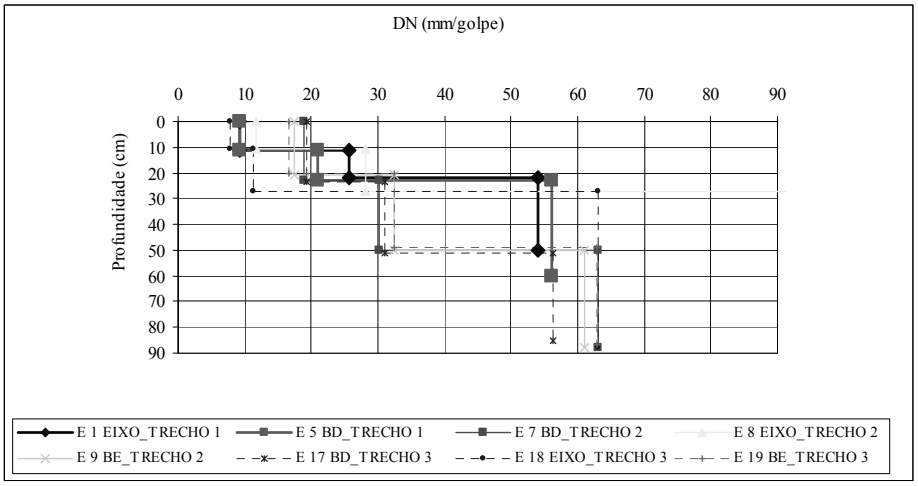


Figura 15 – Diagrama estrutural no ensaio de DCP após a execução do subleito

Conforme a Figura 15, em relação ao subleito para a profundidade de até 11 cm, que seria a camada compactada, verifica-se dois comportamentos distintos: algumas estacas apresentam DN próximo a 10 mm/golpe (E1 – trecho 1, E18 – trecho 3, E5 – trecho1, E8 – trecho 2); outras já têm DN próximo de 20 mm/golpe (E7 – trecho 2, E9 – trecho 2, E17 trecho 3, E19 – trecho 3).

Com base nesses resultados, observa-se que a camada superficial do subleito do trecho 1 (solo-filer) parece estar melhor compactada que a do trecho 3 (cascalho). No entanto, esta variação é pequena e talvez ela não reflita no desempenho estrutural final dos trechos.

Para maiores profundidades do subleito observa-se grande variação nos valores obtidos para DN (entre 10 e 63 mm/golpe), mostrando a existência de heterogeneidade nessa camada do terreno.

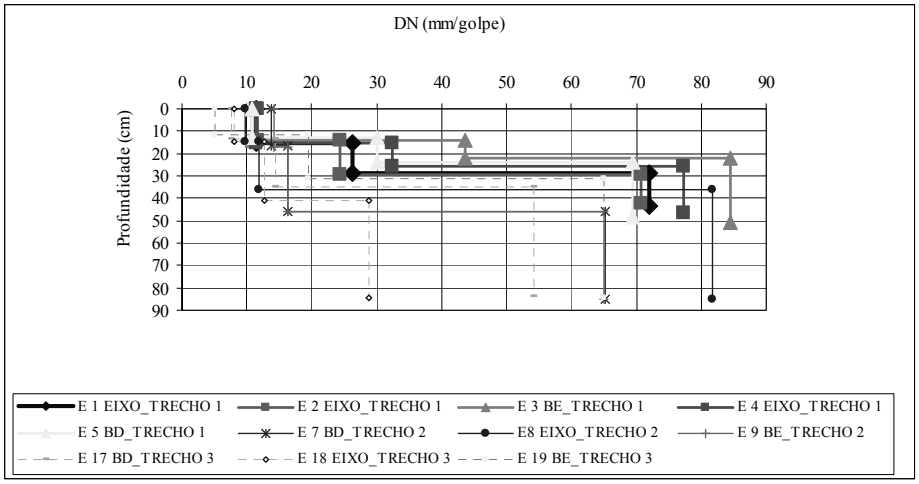


Figura 16 – Diagrama estrutural no ensaio de DCP após a execução da base

Conforme Figura 16, para o ensaio feito após a execução da base observa-se que até 15 cm de profundidade foram obtidos valores de DN variando entre 5 e 15 mm/golpe. Esta primeira camada mais resistente corresponde às bases dos trechos. Nesta etapa de ensaio, a base de cascalho laterítico apresentou melhor valor de DN quando comparada com as demais. Este resultado, de certa forma, coincide com os dados obtidos em laboratório, onde foram encontrados valores de CBR igual a 60% para o cascalho, 56% para a mistura solo-brita e 62% para a mistura solo-filer.

Entre 15 e 30 cm de profundidade tem-se a camada de sub-base, sendo que os melhores valores de DN também foram obtidos para o trecho 3 (cascalho laterítico). No entanto, a sub-base do solo-filer apresentou os piores valores. Essa alteração de desempenho entre a base e a sub-base de solo-filer se deve à diferença entre a energia de compactação (modificada para a base e intermediária para a sub-base).

Na Tabela 2 estão os resultados de DN e respectivos valores de CBR obtidos por correlações sugeridas por Heyn (1986 *apud* RESPLANDES, 2007), Oliveira e Vertamatti (1997 *apud* RESPLANDES, 2007) e Lopes *et al.* (2007). Araújo (2008) nos trechos 2 e 3 utilizou formulações elaboradas pelos mesmos autores, adaptadas a materiais mais granulares.

Tabela 2 - Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para a base e sub-base dos trechos 1, 2 e 3

					CBR (%)		
Trecho	**Camada Ensaiada**	**Estaca**	**Camada**	**DN (mm/golpe)**	**Heyn**	**O. e V.**	**Lopes**
1	SUBLEITO	E 1 EIXO	1	9.2	24.9	29.7	26.1
			2	25.6	6.6	10.1	1.9
		E 5 BD	1	9.2	24.9	29.7	26.1
			2	20.9	8.5	12.4	8.7
	BASE	E 1 EIXO	1	11.5	18.5	23.3	22.6
			2	26.3	6.3	9.8	0.8
			3	72.0	1.7	3.4	-
		E 2 EIXO	1	11.7	18.2	23.0	22.4
			2	24.4	7.0	10.5	3.5
			3	70.8	1.7	3.4	-
		E 3 BE	1	10.8	20.2	25.1	23.7
			2	43.6	3.3	5.7	-
			3	84.5	1.4	2.8	-
		E 4 EIXO	1	11.5	18.5	23.3	22.6
			2	32.5	4.8	7.8	-
			3	77.2	1.6	3.1	-
		E 5 BD	1	10.8	20.0	24.9	23.6
			2	30.0	5.3	8.5	-
			3	69.4	1.8	3.5	-
2	SUBLEITO	E 7 BD	1	18.9	9.7	13.8	11.7
			2	30.3	5.3	8.4	-
			3	63.0	2.0	3.9	-
		E 8 EIXO	1	11.7	18.2	23.0	22.4
			2	28.2	5.8	9.1	-
			3	100.7	1.1	2.4	-
		E 9 BE	1	17.5	10.7	15.0	13.8
			2	32.4	4.8	7.8	-
			3	61.0	2.1	4.0	-
	BASE	E 7 BD	1	13.8	28.5	19.2	20.1
			2	16.2	24.1	16.3	16.3
			3	65.3	5.6	3.7	2.6
		E 8 EIXO	1	9.8	41.0	27.7	31.7
			2	11.9	33.4	22.6	24.6
			3	81.7	4.4	2.9	1.9
		E 9 BE	1	14.1	28.0	18.9	19.7
			2	16.2	24.2	16.3	16.4
			3	65.0	5.6	3.7	2.6
3	SUBLEITO	E 17 BD	1	19.3	9.4	13.5	11.1
			2	31.1	5.1	8.2	-
			3	56.3	2.3	4.4	-
		E 18 EIXO	1	7.9	30.3	34.8	28.0
			2	11.2	19.2	24.0	23.1
			3	63.1	2.0	3.9	-
		E 19 BE	1	16.7	11.4	15.8	15.0
			2	32.4	4.8	7.8	-
			3	62.8	2.0	3.9	-
	BASE	E 17 BD	1	7.6	32.0	44.7	119.4
			2	14.4	13.8	19.1	112.6
			3	54.2	2.5	3.3	98.6
		E 18 EIXO	1	6.7	37.7	52.8	120.7
			2	11.7	18.2	25.2	114.8
			3	63.3	2.0	2.7	97.0
		E 19 BE	1	5.0	54.7	77.2	123.7
			2	19.4	9.4	12.8	109.4
			3	65.0	2.0	2.6	96.7

Os resultados de CBR obtidos por meio da correlação DN x CBR que mais se aproximaram dos obtidos em laboratório, foram estabelecidos por meio das correlações para materiais granulares de Heyn (1986 *apud* RESPLANDES, 2007) para o trecho 3. As demais correlações não se aproximaram dos valores obtidos em laboratório. Isto se deve, segundo Araújo (2008), à diferença dos materiais dos trechos analisados e os utilizados pelos autores das correlações. Para o trecho 1 não houve correlação satisfatória. Sendo assim, verifica-se a necessidade de se obter correlações específicas para os materiais utilizados.

3.1.3 - Prova de carga sobre placa

Na Tabela 3 e nas Figuras 17 a 20 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa para as camadas do trecho 1 (solo-filer), obtidos para um tempo de cinco minutos para cada carga aplicada, bem como na fase de descarregamento.

Analisando os dados encontrados, pode-se observar que para uma tensão de 560 kPa foram obtidos valores de $d_t \leq 1.38$ mm, nas camadas de base e capa, demonstrando com isso um bom comportamento estrutural nessas camadas. Já para a camada de sub-base houve valores de dt superiores a 3.00 mm, indicando elevada deformação. A média de todas as camadas indica, no geral, bom comportamento estrutural com d_t igual a 0.87 mm. Houve uma diminuição progressiva dos valores de uma camada para outra, como já era esperado.

Comparando-se os dados relacionados com Eixo, Bordo Direito (BD) e Bordo Esquerdo (BE) observa-se que não houve regularidade entre estes dados. Este comportamento pode ser atribuído ao fato dos ensaios terem sido realizados logo após a conclusão do trecho, antes de sua liberação para o tráfego, e também em período de seca na região. Portanto, as bordas não sofreram alterações muito diferenciadas em relação ao eixo do pavimento.

Os valores de d_e diminuem gradativamente na medida em que se evolui para as camadas superiores, como era esperado, já que essas sofrem maior solicitação e no dimensionamento são previstos materiais mais resistentes para essas camadas. A média de d_e foi de 0.27 mm. Houve mudança significativa deste valor a partir na camada de base, sendo em média de respectivamente 0.64 mm e 0.79 mm, para as camadas do subleito e da base do pavimento.

Para o módulo de reação do ensaio em placa (k_{placa}), observa-se uma média geral de valores na ordem de 794.43 kPa/mm, apresentando valores mais elevados para a camada de base e revestimento. Assim como na deformação elástica, o valor de k_{placa} ganhou incremento significativo na camada a partir da camada de base, sendo em média respectivamente de 256.97 kPa/mm e 1174.03 kPa/mm, respectivamente para as camadas do subleito e da base do pavimento.

Tabela 3 – Resultados obtidos nos ensaios de prova de carga no trecho 1

CAMADA	ESTACA	T = 560 kPa		k_{placa} (kPa/mm)
		d_t (mm)	d_e (mm)	
Subleito	E 01 BD	2.7	0.9	207.41
	E 02 EIXO	1.78	0.37	314.61
	E 03 BE	2.25	0.64	248.89
Média Subleito		**2.24**	**0.64**	**256.97**
Sub-base	E 01 BD	2.1	0.57	266.67
	E 02 EIXO	1.66	0.52	337.35
	E 03 BE	2.65	0.64	211.32
	E 04 EIXO	2.64	0.62	212.12
	E 05 BE	3.44	0.85	162.79
Média Sub-base		**2.50**	**0.64**	**238.05**
Base	E 00+10 EIXO	1.38	0.27	405.80
	E 01 BD	0.64	0.17	875.00
	E 02 EIXO	0.74	0.26	756.76
	E 03 BE	1.04	0.29	538.46
	E 04 EIXO	0.17	0.1	3294.12
Média Base		**0.79**	**0.22**	**1174.03**
Revestimento	E 00+10 EIXO	0.64	0.13	875.00
	E 01 BD	0.83	0.17	674.70
	E 02 EIXO	0.48	0.11	1166.67
	E 03 BE	0.93	0.16	602.15
	E 04 BD	0.3	0.09	1866.67
	E 05 BD	0.24	0.03	2333.33
Média Revestimento		**0.57**	**0.12**	**1253.09**
MÉDIA GERAL		**0.87**	**0.27**	**794.43**

Obs: E = estaca; BD = bordo direito; BE = bordo esquerdo; dt = deslocamento total; de = deslocamento elástico; k_{placa} = módulo de reação para o ensaio em placa.

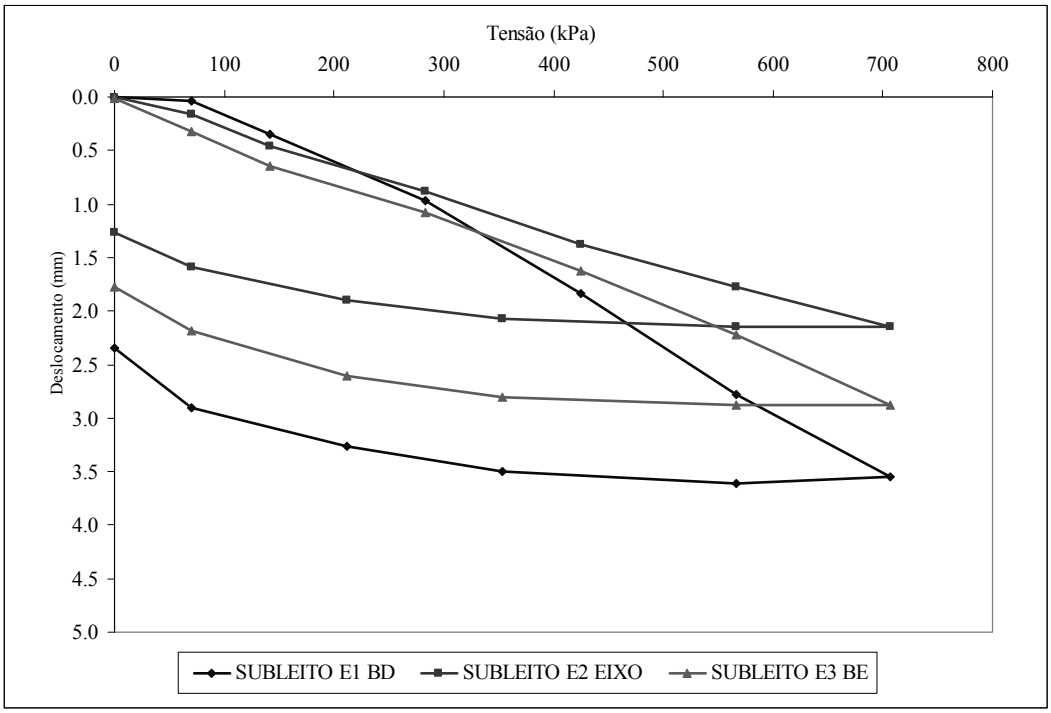


Figura 17 – Curvas Tensão x Deslocamento no trecho 1 (subleito).

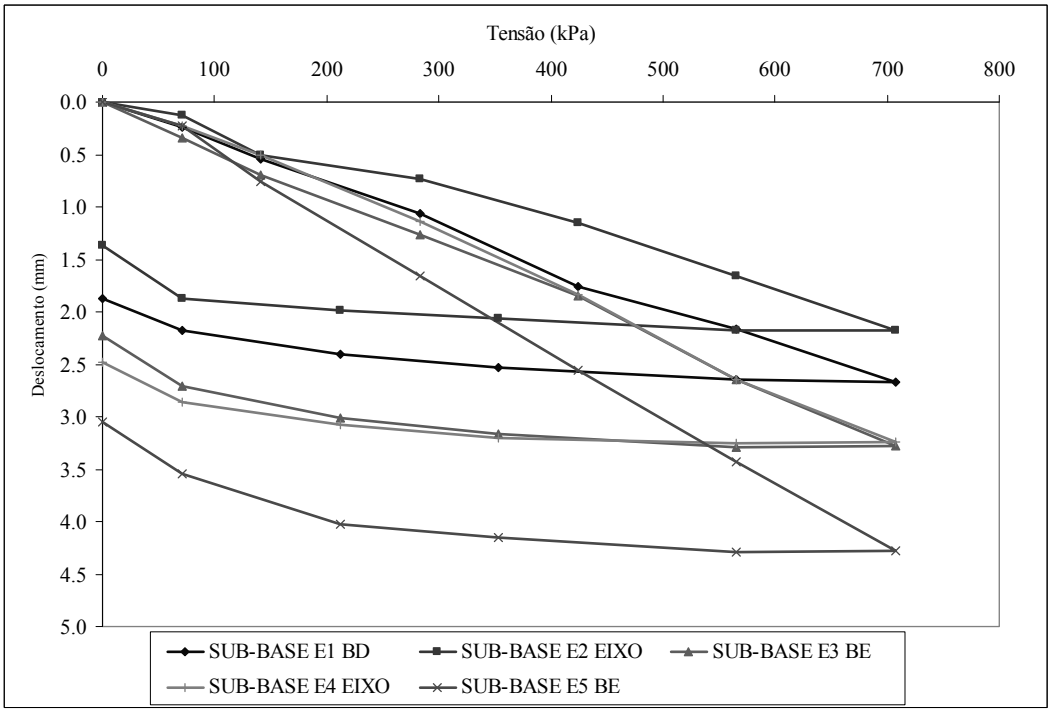


Figura 18 – Curvas Tensão x Deslocamento no trecho 1 (sub-base).

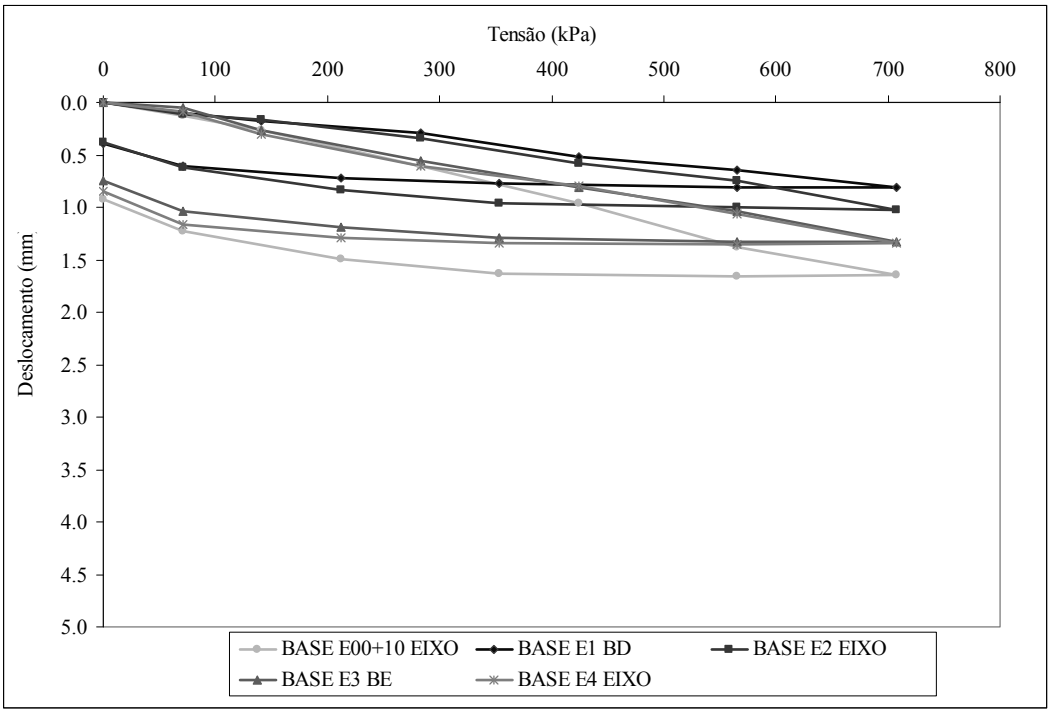


Figura 19 – Curvas Tensão x Deslocamento no trecho 1 (base).

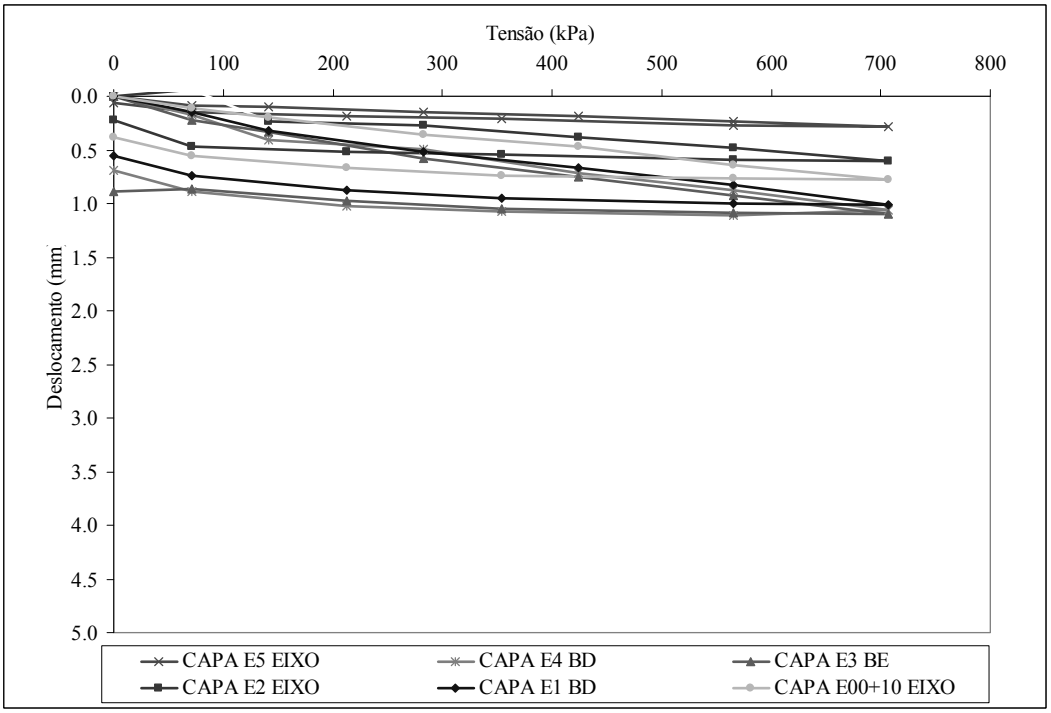


Figura 20 – Curvas Tensão x Deslocamento no trecho 1 (capa).

Na Tabela 4 são apresentadas as médias dos valores obtidos por camada no ensaio de prova de carga sobre placa nos três trechos. Com os resultados obtidos pode-se observar que para a base as menores deformações ocorreram no trecho 1, sendo que a deformação total foi significativamente menor, cerca de 60%, em média. Isto pode ser explicado pela maior estabilização granulométrica do material que compõem a base do trecho 1, já que trata-se de material com maior teor de finos.

Comparando-se os valores das deformações elásticas obtidas nos três trechos, pode-se observar de acordo com a Tabela 4 que a camada do subleito interfere sobre os resultados da sub-base. Dessa forma, como o subleito dos trechos 2 e 3 apresentaram menores deformações, consequentemente, as sub-bases desses trechos apresentaram melhor desempenho que a do trecho 1. No entanto, para as camadas de base e revestimento, as deformações reduziram-se significativamente no trecho 1, com reduções em média superiores a 50% se comparadas com as obtidas nos trechos 2 e 3.

Tabela 4 – Resultados da média da prova de carga sobre placa nos três trechos avaliados

		Média		
Trecho	**Camada**	**dt (mm)**	**de (mm)**	**K_{Placa} (kPa/mm)**
1	Subleito	2.24	0.64	256.97
	Sub-base	2.50	0.64	238.05
	Base	0.79	0.22	1174.03
	Revestimento	0.57	0.12	1253.09
2	Subleito	1.55	0.39	376.35
	Sub-base	1.61	0.32	357.57
	Base	1.73	0.34	361.01
	Revestimento	0.88	0.15	686.68
3	Subleito	1.22	0.28	479.35
	Sub-base	1.18	0.34	504.72
	Base	1.52	0.49	392.38
	Revestimento	0.60	0.10	982.66

3.2 - Fase operação

3.2.1 - Prova de carga sobre placa

Na Tabela 5 e na Figura 21 são apresentados os valores obtidos do ensaio de prova de carga sobre placa apenas no trecho 1 após um ano da sua execução. Neste período foi possível solicitar o trecho experimental a condição completa de clima representativo da região, incluindo a época da estação chuvosa.

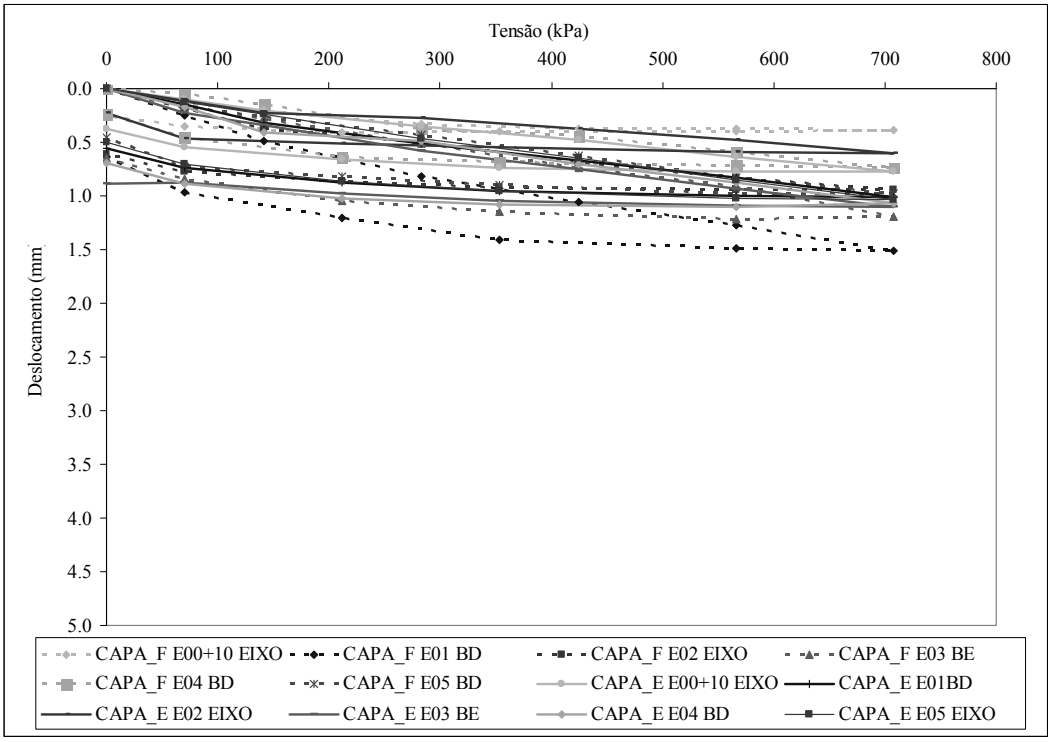
Com os resultados pode-se observar que a d_t média inicial, assim como a d_e são inferiores, respectivamente, 40% e 33% do que os valores observados durante a construção do pavimento, ou seja, após passar por solicitações climáticas e do tráfego. Este comportamento era esperado, visto que o local não conta com dispositivo de drenagem, e a umidade observada no pavimento neste período foi cerca de 3% superior ao valor utilizado no período de execução nos bordos, e aproximadamente 0.4% superior no eixo. Este fato é reforçado pela observação neste período de maiores deformações nos bordos do trecho 1 analisado.

Mesmo nesta condição desfavorável, quanto à presença de umidade, os valores observados de deformações são considerados baixos para pavimentação. No entanto, vale ressaltar que o ideal é que se providencie dispositivo de drenagem adequado no local para evitar desgastes futuros mais

sérios no pavimento, em função da presença da água da chuva, a qual caracteriza-se, por se tratar de uma área localizada no bioma Cerrado, por ser usualmente concentrada e volumosa no verão.

Tabela 5 – Resultados da prova de carga sobre placa no revestimento do trecho 1 um ano após o funcionamento da pista

TRECHO	CAMADA	ESTACA	T = 560 kPa		kplaca (kPa/mm)
			dt (mm)	de (mm)	
1	Revestimento após 1 ano de funcionamento do trecho experimental	E 00+10 EIXO	0.37	0.02	1513.51
		E 01 BD	1.27	0.22	440.94
		E 02 EIXO	0.83	0.11	674.70
		E 03 BE	0.91	0.31	615.38
		E 04 BD	0.59	0.13	949.15
		E 05 BD	0.83	0.14	674.70
MÉDIA			**0.80**	**0.16**	**811.40**



_F : após liberação para o tráfego; _E: imediatamente após o período de construção do trecho.

Figura 21 – Resultados do ensaio de prova de carga sobre placa no revestimento do trecho 1 logo após o período de construção e um ano depois da liberação do tráfego.

3.2.2 - Viga Benkelman

Na Tabela 6 são apresentados os valores obtidos a partir do ensaio da viga Benkelman, sendo estes a deflexão real ou verdadeira no ponto de ensaio (D_0), deflexão a 25 cm do ponto inicial de ensaio (D_{25}), raio de curvatura (R) e o valor do produto R x D_0, para a camada de revestimento do

pavimento, no trecho 1 após um ano de funcionamento do pavimento. Nos trechos 2 e 3 não foi realizado este ensaio.

O R é um índice que indica o estado do pavimento em relação às deflexões. De acordo com o procedimento PRO 011 (DNER, 1979), valores de R<100 m sugerem a existência de problemas no pavimento e devem ser feitas determinações adicionais. A avaliação da condição em que se encontra o pavimento a partir do levantamento da bacia de deformação pode ser feita com base no produto $R.D_0$ (PAIVA & CAUSIM, 2000). Valores de $R.D_0<5500$ indicam uma possível existência de problemas no pavimento.

Observa-se na Tabela 6 que após um ano de funcionamento a estaca 00+10 apresentou menor valor R para ambos os bordos. Isto pode ser explicado pelo fato desta estaca estar sujeita, em função de sua localização, a maior solicitação quanto à ação da água, pois neste ponto pode-se observar em campo uma inflexão com trecho de pista já existente e considerável acúmulo de água, o que é bastante agravado pela inexistência de dispositivo de drenagem. Já em relação à bacia de deformação o valor está dentro da faixa exigida pelo PRO 011 (DNER, 1979), ou seja, R>100m.

Na estaca 3 observou-se a mesma situação descrita para a estaca 00+10. No entanto, apenas no bordo direito. Isto de justifica pelo fato de neste local haver ponto de concentração de água no período de chuva em função na inexistência de dispositivo de drenagem. Os demais pontos avaliados apresentaram valores bastante satisfatórios em relação à deflexão.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de viga Benkelman no trecho 1 após um ano de operação

		D0	**D25**	**R**	**RXD0**
	ESTACA	**X 10^{-2} mm**		**m**	**m X 10^{-2} mm**
BE	**00+10**	42	26	195	8203
	1	45	34	284	12784
	2	27	12	208	5625
	3	47	39	391	18359
	4	20	12	391	7813
	5	21	11	313	6563
BD	**00+10**	60	38	142	8523
	1	32	26	521	16667
	2	56	51	625	35000
	3	59	31	112	6585
	4	50	35	208	10417
	5	61	46	208	12708

Na Figura 22 são apresentadas as bacias de deslocamento no trecho 1 após um ano de funcionamento da pista experimental.

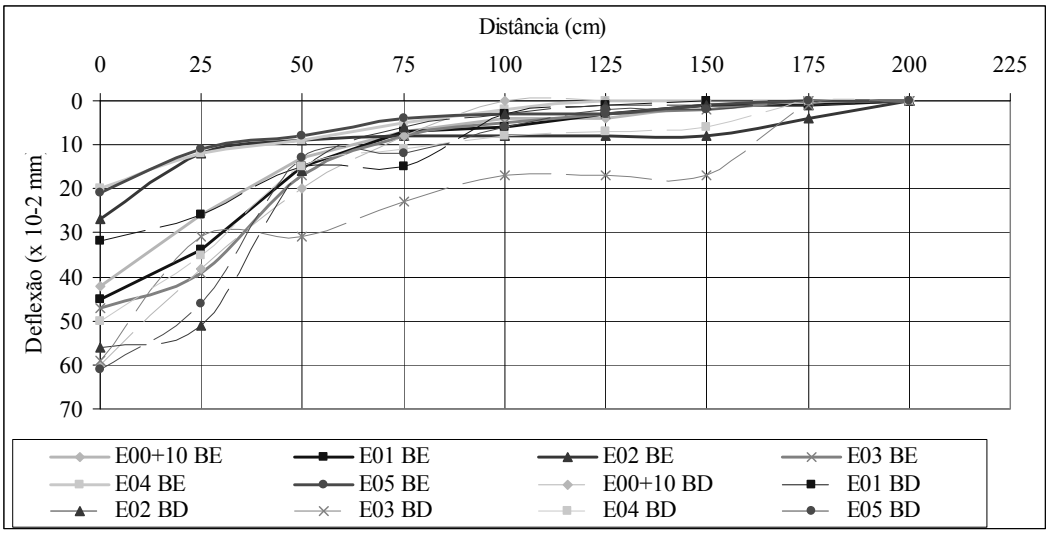


Figura 22 – Bacias de deslocamento do revestimento da pista experimental após 1 ano de funcionamento – Trecho 1

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Metodologicamente a aplicação de misturas solo-filer em pavimentos exige alguns cuidados, conforme destacado a seguir:

- Secar o resíduo antes de sua utilização para diminuir a discrepância entre a umidade deste material e a umidade ótima visada em campo, pois isto pode diminuir a necessidade de maior número de movimentação de máquinas e diminuição significativa das horas trabalhadas;
- Como a composição solo-filer inclui a presença de material argiloso contido na fração de 70% de solo que compõe a mistura é prudente, segundo experiência deste trabalho e de outros pesquisadores, que se deixe o pavimento trincar. Com isto consegue-se maior estabilização do pavimento e conseqüente ganho de resistência;
- A presença de dispositivos de drenagem é fundamental para garantir a integridade e o comportamento estrutural esperado do pavimento, em todas as fases após a sua execução;

Quanto aos ensaios de campo logo após o término da execução do trecho experimental, conclui-se que:

- Os resultados obtidos pelas metodologias *Speedy* e frasco de areia mostraram que o controle tecnológico da pista na etapa de execução condisse com as condições previstas em laboratório;
- A partir do ensaio de DCP não é possível fazer previsões do valor de CBR com modelos elaborados por outros autores, isto também foi observado por Araújo (2008) nos trechos executados com cascalho e solo-brita;
- Quanto à resistência pôde-se observar no ensaio de DCP pequenas diferenças (cerca de 2%) entre o comportamento do trecho executado com cascalho laterítico e o trecho de solo-filer.

- No ensaio de prova de carga sobre placa, comparando-se os trechos solo-filer, solo-brita e cascalho laterítico pode-se observar que o trecho 1 apresentou, logo após a construção a melhor condição de deformação, sendo esta cerca de 23% inferior a encontrada no trecho 2 e cerca de 18% inferior a encontrada no trecho 3. O valor médio para a deformação total igual a 0.87 é considerado bom para aplicação em pavimentação;
- O resultado da deformação na camada do subleito interfere no comportamento das demais camadas do pavimento.

Quanto aos ensaios de campo logo após um ano de operação do trecho experimental, conclui-se que:

- Após um ano de funcionamento do trecho experimental, as umidades de execução do pavimento foram alteradas pela água da chuva, e isto foi agravado pela ausência de dispositivo de drenagem ao logo de todo o trecho. A variação de umidade foi de cerca de 3% superior nos bordos e aproximadamente 0.4% superior no eixo;
- O ensaio de prova de carga sobre placa mostrou deformações cerca de 40% superiores às encontradas logo após a fase de execução do pavimento, isto se justifica pelo aumento da umidade neste período em função da ação da chuva; notou-se ainda que a influência desta umidade nos bordos teve maior destaque. A falta de confinamento nas laterais pode ser mais um fator para agravar esta deformação;
- A resposta do pavimento após um ano de execução em relação à viga Benkeman mostrou bons resultados em relação ao aparecimento da trilha de roda, com deformações dentro da faixa exigida pelo PRO 011 (DNER, 1979).

Assim sendo, a utilização de solo-filer como camada de base e sub-base, em substituição aos materiais tradicionais apresentou respostas de comportamento mecânico adequadas para a aplicação em pavimentação, de acordo com as normas do DNER, o que é muito interessante sob o ponto de vista ambiental, já que jazimentos naturais de cascalho para aplicação em pavimentação estão cada vez mais escassos e com implicância de impactos ambientais sem precedentes sob o ponto de vista da sustentabilidade.

Outro aspecto importante é que a utilização do filer faz com que a problemática de seu acúmulo diminua e conseqüentemente sejam mitigados os passivos de seu armazenamento

Contudo é importante destacar que se necessita de maior tempo de monitoramento do trecho experimental para se afirmar sobre a sua adequação técnica definitivamente. Deve-se ainda ressaltar que o tipo de solo utilizado na mistura é determinante para se fazer previsões em relação ao comportamento das misturas.

A dosagem estabelecida neste trabalho para a base de 30% de filer e 70% de solo na energia modificada, e para a sub-base de 20% de filer e 80% de solo na energia intermediária tem a aplicação sugerida apenas para os materiais estudados e nas condições executivas utilizadas.

5 - AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Furnas Centrais Elétricas pelo auxílio na coleta dos materiais e na execução dos ensaios de laboratório. Ao Dermu/Compav – Prefeitura de Goiânia pelas máquinas e pessoal cedidos para a execução do trecho experimental. Ao Ceasa pelo apoio na concessão do material da jazida de solo.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1986). NBR 7185. *Solo – Determinação da massa especifica aparente in situ com emprego do frasco de areia,* NBR 7185, Rio de Janeiro, RJ, 7p.

AGGARWAL, H.R; JAFRI, R.H. (1987). *Modified material specifications for base laterites for secondary roads*. 9th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Lagos.

ALECRIM, A.U., & PESSA, T.G.F., (2005). *Utilização de rejeitos de quartzito em bases e sub-bases de pavimentos flexíveis*. 36ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Curitiba, PR, 1: 1 – 9.

ALVES, A.B.C. (2002). Avaliação da Capacidade de Suporte e Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplanagem Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone. Dissertação de Mestrado. PPGEC/UFSC, Florianópolis - SC.

ANEPAC (2004). *Areia & Brita*. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. Publicação Trimestral. 42p. São Paulo – SP.

ARAÚJO, W.E.L. (2008). *Aproveitamento de resíduos da extração de micaxisto em pavimentos flexíveis*. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio Ambiente. Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO.142p.

ASARE-DARKO, E. (1984). *The influence of high compaction on the streght and deformation characteristics of some lateritic gravel and crushed granitic rock*. Report Journal 362, Institut für Grundbau und bodenmechanik, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Suíça.

BERNUCCI, L.L.B (1995). *Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego.* Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP. 237 p.

BATALIONE, G. (2007) *Estabilização de solos tropicais com a utilização de rejeitos finos de pedreira de uma rocha granítica*. Dissertação de Mestrado, Publicação GDM 158/07. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 172p.

CASAGRANDE, A. (1947). *Classification and identification of soils. American Society of Civil* Engineers, p.783-810.

DNER (1979). PRO 011. *Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis*, DNIT / DNER, Rio de Janeiro, RJ, 16p.

DNER (1994a). *ME 024 Pavimento. Determinação das deflexões pela viga Benkelman.* DNIT / DNER, Rio de Janeiro, RJ, 06p.

DNER (1994b). ME *052: solos e agregados miúdos - determinação da umidade com emprego do "Speedy*" : método de ensaio. Rio de Janeiro-RJ.

DNER (1996). *DNER – Manual de Pavimentação*, 2ª Edição, Rio de Janeiro – RJ, 320p.

CONSOLI, N.C. A. THOMÉ, I.A.H. SCHNEIDER, F. DALLA ROSA (2002). *Caracterização geotécnica de um resíduo da indústria de pedras semi-preciosas e viabilidade de seu uso em estabilização dos solos* – XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos ABMS, São Paulo, SP, volume I. p. 229 – 239.

FUJIMURA, F.S.; THEODORO, W.H., RESENDE, M.A.S., (1995). *O uso de finos de pedreira de rochas gnáissicas e graníticas em substituição às areias naturais*. 29ª Reunião Anual de Pavimentação, RAPv, Cuiabá, Mato Grosso. 1: 147 – 156.

GICHAGA, F.J.; MURUNG, P.A.; ATIBU, F.S. (1987). *Design and performance of flexible road pavements under tropical*. 9th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Lagos, p. 559-564.

GIDIGASU, M.D.; ASANTE, S.P.K.; DOUGAN, E. (1987). *Identification of suitable nontraditional tropical and residual paving materials on relation to the environmental*. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 24, n0 1. Nacional Research Council of Canadá, Canadá. p.58-71.

GUSMÃO, A.D.; CARNEIRO, F.P.; BARKOKÉBAS, B.; SOUZA, P.C.M.(2005). *Reutilização e reciclagem de resíduos de construção e demolição em obras geotécnicas.* 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. ABGE, Florianópolis, SC. p. 203 – 211.

LOPES, H.S.; TRALDI, M.A.B.; RIBEIRO, P.C.; AZEVEDO, R.A.R. (2007). Estudo da correlação entre os ensaios de DCP e CBR para materiais aplicados à pavimentação. Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil. Goiânia - GO. 97p.

LUZ, M.P.; REZENDE, L.R.; CASTRO, S.S. (2008). Aproveitamento de filer de pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos. Programa de Doutorado em Ciências Ambientais. Universidade Federal de Goiás. Inédito. Goiânia - GO

MEDINA, J. (1997). *Tropical soils and climates in pavement mechanis studies*. International Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics. Balkema, Rotterdam, p. 103-115.

MEDINA, J.; MOTTA, L.(1989*). Resilient behavior of brazilian tropical soils in pavement design*. 2nd International Symposium on Pavement Evalution and Overlay Design. Vol. 1. Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv. p.1-22.

NASCIMENTO, U.; CASTRO, E.; RODRIGUES,M. (1964). *Swelling and petrification of lateritic soils.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC. Technical Paper, n0 215, Lisboa – Portugal.

NOGAMI, J.S. *et al.* (1985). *Peculiarities of geotechnical behavior of tropical lateritic and saprolítico soils.* Progress Report. Commitee on Tropical Soils of the ISSMFE. Theme 1, Topic 1.1 Preliminary Remarks. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos – ABMS.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. (1994). *A new simple method for classification of lateritic and saprolitic soils*, 7th International IAEG Congress, Portugal, p. 3391-3400.

OLIVEIRA, J.C.; REZENDE, L.R.; GUIMARÃES, R.C.; CARVALHO, J.C. (2005a). *Variação dos Parâmetros de Compactação e CBR de Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil*. 36a Reunião Anual de Pavimentação, Curitiba - PR.

OLIVEIRA, J.C.; REZENDE, L.R.; GUIMARÃES, R.C.; CARVALHO, J.C.; SILVA, A.L.A. (2005b). *Avaliação do desempenho de um pavimento flexível com base e sub-base de*

agregados reciclados de resíduos sólidos da constrição civil (entulho) no município de Goiânia. Simpósio Internacional de Reciclagem de Pavimentos, São Paulo - SP.

OLIVEIRA, L.E.; VERTAMATTI, E. (1997). Análise de pavimento de baixo volume de tráfego executado com solos transicionais. 1º Simpósio Internacional de Pavimentos de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego, ABPv., Rio de Janeiro – RJ, 1:325 – 344.

O'REILLY, M.P.; MILLARD, R.S. (1969*). Road materials and pavement design on tropical and sub-tropical countries.* RRL Report LR 279. Road Research Laboratory. Crowthorne, Berkshire.

PAIVA, C.E.L.; CAUSIM, P.B. (2000). Estudo de avaliações das condições estruturais de um pavimento a partir de bacias de deformação. 32ª Reunião Anual de Pavimentação, Brasília – DF, 1:297-307.

PARENTE, E. B, BOAVISTA, A.H., SOARES, J. B. (2003). *Estudo do comportamento mecânico de misturas de solo e escória de aciaria para aplicação na construção rodoviária na região metropolitana de Fortaleza.* ANPET, Vol. 1. Rio de Janeiro – RJ.

PEREIRA, E.L, RIBEIRO, L.F.M., CAMAPUM, J.C.; CHAVES, A.K.D., (2005). *Estabilização de um latossolo do D.F. com utilização de minério de ferro.* II Seminário de Solos Tropicais do Centro-Oeste, Goiânia, GO, 1: 275 – 285.

PISSATO, E., & SOARES, L., (2005). *Utilização de finos de pedreira em misturas de solo-cimento - Correção granulométrica de um solo argiloso.* 2º Seminário de Uso de Fração fina da Britagem, SUFFIB, São Paulo, 1: 1 – 7.

RESPLANDES, H.M.S. *Estudo ambiental e técnico da aplicação do agregado reciclado na estruturação de pavimentos flexível.* Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA. Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia –GO. 210p. 2007.

REZENDE, L. R. (2003) *Estudo do comportamento de materiais alternativos utilizados em estruturas de pavimentos flexíveis.* Tese apresentada na Universidade de Brasília. 372p. Brasília – DF.

SHEIDL, P.R., CORREIA, J.C. G; RIBEIRO, R.C. (2005). *Utilização de resíduos de pedreiras e serrarias de rocha ornamentais na composição do asfalto.* 2ª Seminário de Uso da Fração Fina da Britagem, SUFFIB, São Paulo, SP, 1: 1 – 6.

SILVA, A. L. A.; GUIMARÃES, R. C.; CASTRO, C. H.; MANSO, E. A. *Using building site waste in bases and sub-bases of flexible pavements.* In: International Symposium on Pavement Recycling, 2005, São Paulo. Anais eletrônicos do International Symposium on Pavement Recycling [CD-ROM]. São Paulo, 2005. n.p.

SILVESTRE, O.B., PARREIRA, A. B., KOBAYASHI, A. R. K. (2001). *Influência do tipo de cimento na resistência e deformabilidade das misturas de fosfogesso e cimento*. ANPET, vol. 1, Rio de Janeiro – RJ.

TERTULIANO, D.C; OLIVEIRA, E.N.; ANDRADE, E. (2007). Aproveitamento de resíduos de britagem na pavimentação rodoviária. Trabalho Final de Curso. Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO. 81p.

THOMÉ, A., SCHNEIDER, I. A. H., ROSA, F. D. & CONSOLI, N. C. (2002). *Caracterização geotécnica de um resíduo da indústria de pedras semi-preciosas e viabilidade de seu uso em estabilização de solos.* XII COBRAMSEG: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo – SP. p.2:229-239.

UNIÃO (1967). Decreto Lei 227. Artigo 5º. *Classificação das jazidas de bens minerais*, Brasília, DF, 46 p.

WAMBURA, J.H.G.; ODERA,M.S.; IKINDU, D.R. (1990*). Pavement design and construction specifications developed for low-cost, low-volume roads in Kenya*. Transportation Research Board no 1291, p.58-65.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos na pesquisa como essencialmente expostos nos três artigos que constituem a presente tese pode-se concluir que o aproveitamento do filer em camadas de pavimento flexível urbano constitui uma possibilidade positiva sob o aspecto social, ambiental e técnico.

Social, pois a sua utilização faz com que haja a redução do quantitativo de resíduo armazenado e, portanto, diminui-se o nível de exposição do trabalhador e da população em geral à poeira, incorrendo em melhor qualidade de vida. Além disso, pesquisas como esta podem motivar o empresário a atentar para processos mais participativos, pois isto incorre em menos custos com operários que faltam ao serviço devido a problemas de saúde desenvolvidos no próprio local de trabalho. E podem ainda contribuir para melhorar a imagem da empresa e colaborar na obtenção de certificação dos seus produtos. Entretanto, convém ressaltar que empresas que possuem processos de Educação Ambiental instalados devem atentar para a adequação dos mesmos ao perfil do trabalhador que participa desse evento, pois dependendo da metodologia aplicada à eficiência pode ser nula. Indivíduos informados e capacitados podem colaborar com a alteração de leis que se adéqüem melhor à realidade de trabalho à qual estão submetidos.

Ambiental, pois materiais alternativos como o solo-filer, obtidos a partir de resíduos, podem contribuir para garantir a sustentabilidade de recursos ambientais ainda preservados, tal como é o cascalho neste trabalho, pois o mesmo ainda constitui a principal matéria-prima para a execução de pavimentos e vinha sendo utilizado de forma indiscriminada. Atualmente, uma série de aspectos legais garante, de certa forma, a utilização mais racional deste material, pois em geral a extração de jazidas conduz a processos de degradação ambiental marcantes, que acabam sendo sociais também.

Técnico, pois se mostrou viável conforme indicam os dados do monitoramento da pista experimental. Ressalte-se ainda que se trata de uma mistura inédita no país, sendo o ponto de partida para futuros trabalhos que visem realizar novas propostas de aproveitamento desse material, embora haja necessidade de ampliação do prazo de monitoramento continuado no trecho existente, para se conhecer melhor o comportamento desse material em tempo longo e sob as solicitações do tráfego e das intempéries.

Some-se ainda ao exposto as sugestões de se realizar novas pesquisas como: o teste de misturas com outros solos de oferta significativa na Região Metropolitana de Goiânia e de outras regiões do país, além do solo analisado, visando encontrar parâmetros aplicáveis a

outras regiões onde ocorra a mineração de brita e haja elevada demanda por pavimentação; o teste para estradas que suportam cargas altas e tráfego intenso; o teste para outras aplicações do filer.

Além disso, sugere-se ainda a abertura de outras linhas de pesquisa como aquelas vinculadas à economia ambiental, procedendo-se ao cálculo do passivo ambiental, antes do aproveitamento do resíduo, à saúde e educação ambiental, no que se refere ao monitoramento da saúde e do comportamento dos trabalhadores antes e depois do aproveitamento do filer, e, por fim, ao acompanhamento do processo de valoração do resíduo em si, bem como da sua produção em termos de regulação de estoque para suprimento do mercado consumidor que possa vir a ser criado.

4 ANEXOS

Esta mensagem foi enviada com prioridade alta.

MARTA PEREIRA DA LUZ

De: MARTA PEREIRA DA LUZ **Enviada:** qui 26/02/2009 10:54
Para: Bernardo Alvarenga [bernardo@eee.ufg.br]
Cc:
Assunto: Anexo1
Anexos:

De: noreply [mailto:noreply@aes.submitcentral.com.br]
Enviada: dom 02/11/2008 08:15
Para: MARTA PEREIRA DA LUZ
Assunto: Revista Ambiente a Sociedade - submissao completa

Prezado(a) Srta. Marta Pereira da Luz,

Seu trabalho foi submetido com sucesso!

Os dados do trabalho submetido são:

Código: A&S00907
Titulo: O TRABALHADOR DA INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA E O SEU AMBIENTE PRODUTIVO: DIAGNÓSTICO PARA A SUGESTÃO DE METODOLOGIAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL
Autores: Marta Pereira da Luz, Agustina Rosa Echeverria, Selma Simões de Castro, Poliana Lucila Oliveira,
Submetido por: Srta. Marta Pereira da Luz

O artigo será encaminhado para avaliação de Referees e assim que obtivermos os pareceres informaremos através deste mesmo e-mail.

Qualquer dúvida entre em contato com: suporte@pubcentral.com.br

Agradecendo a colaboração, enviamos cordiais saudações.

Atenciosamente.

Revista Ambiente & Sociedade
---
http://www.ambienteesociedade.org.br/
NEPAM/UNICAMP
C.P.: 6166
13081-970 Campinas-SP
Tel./FAX: (19) 3521 7631

MARTA PEREIRA DA LUZ

De:	MARTA PEREIRA DA LUZ	**Enviada:**	qui 26/02/2009 10:55
Para:	Bernardo Alvarenga [bernardo@eee.ufg.br]		
Cc:			
Assunto:	Anexo 2		
Anexos:			

De: ABMS-Sede [mailto:abms@ipt.br]
Enviada: seg 13/10/2008 09:23
Para: MARTA PEREIRA DA LUZ
Assunto: Trabalho 20081006-SRI - Enviado à Revista Soils and Rocks

Dear *Marta Pereira da Luz*,

Thank you for submitting a paper to Soils and Rocks. This message is to inform you that your paper has received the number 20081006-SRI (Laboratory Analysis of the viability of soil-filler blends in pavements and is now under the required review process. We will inform you on the outcome of the review as soon as we receive the evaluation forms from the reviewers.

I thank you for you support to Soils and Rocks and do no hesitate in contacting me if you need further information.

Yours sincerely,

Ennio M. Palmeira
Editor of Soils and Rocks

Você encaminhou esta mensagem em 24/10/2008 14:56.

MARTA PEREIRA DA LUZ

De: marta@conscienciaambiental.com [marta@conscienciaambiental.com] **Enviada:** sex 24/10/2008 14:55
Para: MARTA PEREIRA DA LUZ
Cc:
Assunto: [Fwd: Artigo submetido]
Anexos:

---------- Mensagem Original ----------
Assunto: Artigo submetido
De: "Revista Geotecnia Auto Mail" <editor@revistageotecnia.com>
Data: Sex, Outubro 24, 2008 11:49 am
Para: "Marta Pereira da Luz" <marta@conscienciaambiental.com>

Exmo(a). Ms. Marta Pereira da Luz

O seu artigo com o titulo 'COMPORTAMENTO DE UM TRECHO EXPERIMENTAL EXECUTADO COM FILER DE PEDREIRA' e ID 001021 foi submetido com sucesso.

Com os melhores cumprimentos,

A Direcção da Revista Geotecnia
email gerado automaticamente em 24/10/08 @ 17:49 [GMT]

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo