

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL**  
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

LEONARDO RAMOS DA SILVEIRA

**REAPROVEITAMENTO DE FINOS DE  
PEDREIRAS EM PAVIMENTAÇÃO: UMA  
ABORDAGEM TÉCNICA E ECONÔMICA**

Goiânia

2010

**LEONARDO RAMOS DA SILVEIRA**

**REAPROVEITAMENTO DE FINOS DE PEDREIRAS EM PAVIMENTAÇÃO: UMA  
ABORDAGEM TÉCNICA E ECÔNÔMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – Universidade Federal de Goiás, para obtenção de título de mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Profa. Lílian Ribeiro de Rezende, DSc.

Co – Orientadora: Profa. Marta Pereira da Luz, DSc.

Goiânia  
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
GPT/BC/UFG**

S587r      Silveira, Leonardo Ramos.  
Reaproveitamento de finos de pedreiras em pavimentação  
[manuscrito]: uma abordagem técnica e econômica / Leonardo  
Ramos da Silveira. - 2010.  
xv, 179 f. : il., figs, tabs.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lílian Ribeiro de Rezende; Co-  
orientadora: Marta Pereira da Luz.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,  
Escola de Engenharia Civil, 2010.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.

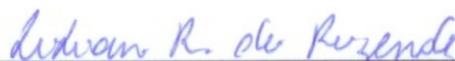
Apêndices.

1. Resíduos sólidos 2. Aproveitamento de resíduos 3.  
Pavimentos flexíveis 4. Desempenho estrutural I. Título.

CDU: 625.85

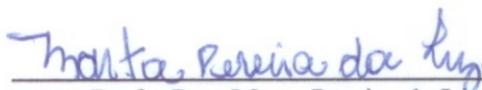
# REAPROVEITAMENTO DE FINOS DE PEDREIRAS EM PAVIMENTAÇÃO: UMA ABORDAGEM TÉCNICA E ECÔNOMICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – Universidade Federal de Goiás, para obtenção de título de mestre em Engenharia do Meio Ambiente, aprovada em 23 de Fevereiro de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:



\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Lillian Ribeiro de Rezende – UFG

Presidente da Banca  
(Coordenador)



\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Marta Pereira da Luz - UCG  
(Co-Orientadora)



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira – USP  
(Examinador Externo)



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eraldo Henrique de Carvalho – UFG  
(Examinador Interno)

Goiânia  
2010

## **DEDICATÓRIA**

Os nossos sonhos são esforços que buscamos na luta do dia a dia, e que compartilhamos com aqueles que aplaudem as nossas vitórias, e nos ajudam nos momentos de tristezas, por isso, dedico esse trabalho a quatro pessoas muito especiais que acreditam no poder transformador do conhecimento, meus pais Washington e Márcia e minhas irmãs Maristhela e Caroline

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, essa inteligência suprema do universo, que nos dá força a todo o momento, que nos levanta nos instantes de derrota e que me deu discernimento e inteligência para terminar mais essa caminhada, acreditar na sua existência e poder ver a beleza que amanhece em cada dia e em cada instante onde se observa vida.

Aos meus pais (Washington e Márcia), pelo apoio, compreensão, educação necessária e primordial para a formação do meu caráter, da minha honestidade e da minha compreensão enquanto ser vivente, do real papel do homem na terra. Os meus pais que são a minha fortaleza, o meu refúgio e o meu muro de apoio, pois sempre posso contar com eles em todos os momentos.

As minhas irmãs (Maristhela e Caroline), pela confiança e apoio depositados em mim em mais esta conquista pessoal.

À professora Lílian pelo apoio, compreensão e orientações importantíssimas. Romper a inércia foi primordial com a ajuda dessa pessoa brilhante. Hoje posso dizer que sempre tive sorte com as minhas orientadoras, na graduação foi assim, e agora no mestrado, mais uma fase se finaliza com ajuda e orientação de uma pessoa que luta e acredita na pesquisa e no potencial das pessoas. Espero que essa parceria possa continuar no Doutorado através da sua co-orientação. À senhora o meu muitíssimo obrigado.

À minha co-orientadora Marta Luz, pelo apoio e orientações manifestadas. Você foi responsável pelo início de tudo, afinal o interesse pelo estudo em finos de pedreiras surgiu após privilegiar a sua defesa de doutorado. Sem você parte dessa dissertação não poderia ser realizada, uma vez que intercedeu fielmente para a realização dos ensaios de difração de raio X e microscopia eletrônica de varredura junto a Furnas.

Às professoras Rita de Cássia e Márcia Mascarenhas pela oportunidade de poder ministrar as aulas referentes ao meio aquático na graduação de engenharia civil na disciplina de ciências ambientais. Essa fase proporcionou um amadurecimento e rompimento de muitos tabus, e foi primordial para o ganho de confiança e autocontrole emocional.

Ao Professor Reginaldo Santana da escola de agronomia pela ajuda na parte de estimativa de custos .

À FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A, especialmente à geóloga Heloisa Helena e ao técnico Renato Batista pelo apoio na execução dos ensaios de difração de raio X e microscopia eletrônica de varredura.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio na realização desta pesquisa por meio da bolsa de mestrado.

À Agência Municipal de Obras (AMOB) pelo grande apoio na realização do monitoramento no trecho experimental ao fornecer o caminhão e motorista. A engenheira Glauciane do setor de orçamento por fornecer os dados de composição de custos que são utilizados em obras da região metropolitana.

Às Pedreiras Araguaia, Izaira, Britenge e AMOB, pelo fornecimento dos resíduos e dos dados necessários para a realização de parte deste trabalho.

A todos os colegas e especialmente aos professores do PPGEMA pelos ensinamentos passados durante esses dois anos.

Aos colegas Daniela Camplesi, Daniela Silva e Thiago Quintiliano, por sempre me atender quando precisava de locomoção, grande parte de trabalho só foi possível pelas gentilezas prestadas pelos mesmos. A Ayne Lessa pela ajuda na confecção dos mapas de raio econômico. A Bruna pela ajuda primordial com o excel com os trabalhos de campo e de laboratório. A vocês o meu muito obrigado

Aos técnicos João Júnior e Elias pelo acompanhamento e ajuda na realização dos ensaios de campo no trecho experimental.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

SILVEIRA, L. R. **Reaproveitamento de finos de pedreiras em pavimentação: uma abordagem técnica e econômica.** 2010. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

Os resíduos gerados pelas empresas mineradoras da construção civil representam uma atividade que tem ganhado destaque pelos inúmeros problemas advindos da estocagem e manutenção de seus depósitos. A grande preocupação em torno desses resíduos está ligada à capacidade de gerar externalidades sócio-ambientais que podem prejudicar o meio através do surgimento de impactos ambientais. Neste contexto, têm surgido pesquisas que visam a aplicação desses resíduos em obras de pavimentação, cujo objetivo principal é diminuir os problemas gerados e contribuir para o surgimento de materiais que possam substituir aqueles que são considerados tradicionais e que estão cada vez mais escassos. O objetivo desta pesquisa foi verificar a viabilidade técnica e econômica da utilização de resíduos de pedreiras em pavimentação, além de complementar as pesquisas realizadas anteriormente com esses resíduos. Para tanto, foram analisadas, em laboratório as mesmas misturas empregadas durante a execução do trecho experimental, sendo denominadas de Mistura 1 (30% fíler + 70% solo), Mistura 2 (20% fíler + 80% solo), Mistura 3 (20% pó de micaxisto + 80% solo) e Mistura 4 (30% pó de micaxisto + 70% solo). Na avaliação complementar, foram realizados ensaios de caracterização química (solo e misturas), difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura. Para avaliação técnica, realizou-se o monitoramento do trecho experimental em dois períodos distintos por meio dos ensaios de prova de carga sobre placa, penetrômetro dinâmico de cone e viga Benkelman. Já na análise de viabilidade econômica, foi utilizada a estimativa de custos gerada para a execução de cada sub-trecho, simulando diferentes cenários. Os resultados da caracterização química demonstraram que ocorre um incremento de parâmetros como pH e capacidade de troca catiônica com a incorporação de finos de pedreira ao solo. Os resultados de difração de raios-X mostraram que não há formação de novos minerais nas misturas. Os resultados de microscopia eletrônica de varredura apontaram que os fatores que mais influenciam na estruturação das misturas são a granulometria de seus constituintes e a energia de compactação aplicada. No acompanhamento do trecho experimental foi possível verificar a influência da chuva no desempenho estrutural do pavimento, o que provocou elevados valores de deslocamentos para o bordo direito. Mesmo assim, os sub-trechos executados com fíler e pó de micaxisto têm apresentado comportamento variando entre regular e bom. Nos resultados de estimativa de custos, observou-se que os sub-trechos executados com resíduos finos de pedreira podem ser considerados os mais econômicos, principalmente quando é considerada a distância mínima de competição. Sendo assim, conclui-se que o reaproveitamento de resíduos finos de pedreira em obras de pavimentação é viável e contribui significativamente na redução das externalidades ambientais geradas pelo setor mineral.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos. Aproveitamento de resíduos. Pavimentos flexíveis. Desempenho estrutural.

## ABSTRACT

SILVEIRA, L. R. **Reusing of fine quarries in paving: a technical and economical approach**. 2010. 179p. Dissertation (Master's degree in Environmental Engineering) - School of Civil Engineering, Federal University of Goiás, Goiania, 2010.

The wastes generated by the quarry companies from civil construction represent an activity that has been outstanding because of the countless problems that appear with their stockpiling and maintenance. The great concern with those wastes is linked to the capacity to generate social and environmental effects that can harm the ambient through the appearance of environmental impacts. In this context, researches have been done to study the application of those wastes in paving works, with the propose to reduce the generated problems and to contribute for the appearance of materials that can substitute those that are considered traditional and that are more and more scarce. The objective of this research was to verify the technical and economical viability of the use of quarry wastes in paving, besides complementing the researches previously done with those wastes. For this research the same mixtures used in the experimental pavement were analyzed at laboratory: Mixture 1 (30% filler + 70% soil), Mixture 2 (20% filler + 80% soil), Mixture 3 (20% micaxist powder + 80% soil) and Mixture 4 (30% micaxist powder + 70% soil). In the complementally evaluation, tests of chemical characterization (soil and mixtures), X-ray diffraction and electronic microscopy of sweeping were done. For technical investigation, the experimental pavement evaluation was done in two different periods using load bearing plate test, dynamic cone penetration and Benkelman beam. The economical viability analysis was done by the costs estimated for the execution of each experimental sub-section, simulating different sceneries. The results of the chemical characterization demonstrated that there is an increment of parameters as pH and cation exchange capacity with the incorporation of fine quarries to the soil. The results of X-ray diffraction showed that new minerals are not formed in the mixtures. The results of microscopy of sweeping pointed that the factors that more influences in the mixtures structures are their grain size materials and the compaction energy applied. In the experimental pavement evaluation it was possible to verify the influence of the rain in the pavement structural performance, what provoked high displacements values for the right board. Even so, the sub-sections executed with filler and micaxist powder have been presenting behavior varying among regular and good. In the costs estimated results, it was observed that the sub-sections executed with fine quarry wastes can be considered the most economical, mainly when the minimum distance of competition is considered. Being like this, one can be noted that the reusing of fine quarry wastes in pavements has viability and it contributes significantly for the reduction of environmental effects generated by the mineral sector.

**Key-words:** Quarry wastes. Waste recovery. Flexible pavements. Structural behavior.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Distribuição percentual das principais substâncias minerais extraídas no Estado de Goiás (DNPM, 2007).....	38
Figura 2.2 - Municípios produtores e comercializadores de brita e suas zonas de influência de comércio (DNPM, 2007).....	39
Figura 2.3 – Frente de Lavra e Bancada para detonação.....	41
Figura 2.4 – Preparação com pás-carregadeiras para carregamento dos blocos.....	42
Figura 2.5 – Britador com os diferentes materiais já beneficiados.....	42
Figura 2.6 – Depósito de (fíler) (LUZ, 2008).....	43
Figura 3.1 – Pavimento de concreto corte longitudinal (BERNUCCI et al., 2006).....	45
Figura 3.2 – Pavimento asfáltico corte transversal (BERNUCCI et al., 2006).....	45
Figura 3.3 – Depósito de fosfogesso estocado em Imbituba – SC (CAJAZEIRAS; CASTILHOS JÚNIOR, 1999).....	50
Figura 3.4 – Trecho experimental: (a) Mapa de localização (ARAÚJO, 2008).....	61
Figura 3.5 – Seção transversal do trecho experimental (ARAÚJO, 2008).....	62
Figura 3.6 – Trecho experimental em planta localizando os sub-trechos e as estacas para ensaio (ARAÚJO, 2008).....	63
Figura 3.7 - Curvas granulométricas das amostras estudadas, com uso de defloculante (ARAÚJO, 2008).....	65
Figura 3.8 - Curvas granulométricas das amostras estudadas, sem uso de defloculante (ARAÚJO, 2008).....	65
Figura 3.9 – Curva granulométrica das misturas, solo e fíler (LUZ, 2008).....	65
Figura 5.1 - Mapa ilustrativo da localização das pedreiras visitadas (GOOGLE EARTH, 2008) .....	76
Figura 5.2 – Coleta de resíduos nas pedreiras.....	77
Figura 5.3 – Jazida de solo.....	77
Figura 5.4 – Coleta do solo fino na jazida.....	78
Figura 5.5 – Materiais: (a) Pó de micaxisto, fíler de micaxisto e solo fino; (b) Misturas utilizados no trecho.....	78
Figura 5.6 – Vista superior do trecho experimental com 600 m de extensão (GOOGLE EARTH).....	82
Figura 5.7 - Disposição dos equipamentos para o ensaio de Prova de Carga Sobre	83

Placa.....	
Figura 5.8 - Trecho experimental com as demarcações das estacas ensaiadas na prova de carga sobre placa e no DCP.....	84
Figura 5.9 – Execução do ensaio: (a) Equipamento (DCP); (b) execução do ensaio.....	85
Figura 5.10 – Trecho experimental com as demarcações dos ensaios de Viga Benkelman.....	87
Figura 5.11 – Execução do ensaio de Viga Benkelman: (a) posicionamento do caminhão; (b) anotação das leituras.....	86
Figura 6.1 – Jazida da rocha explorada: (a) Frente e lavra e bancada; (b) blocos fragmentados após detonação.....	92
Figura 6.2 – Dispositivo <i>drop all</i> fragmentando os blocos maiores.....	93
Figura 6.3 - Vista do Britador em funcionamento.....	93
Figura 6.4 – Materiais depositados nos pátios das empresas.....	94
Figura 6.5 – Difratoograma da mistura composta por 30%filer+70%solo (mistura 1) - Análise Integral.....	98
Figura 6.6 - Difratoograma da mistura composta por 30%filer+70%solo (mistura 1) - Análise Acumulada.....	99
Figura 6.7 - Difratoograma da mistura composta por 20%filer+80%solo (mistura 2) – Análise Integral.....	99
Figura 6.8 - Difratoograma da mistura composta por 20%filer+80%solo (mistura 2) – Análise Acumulada.....	100
Figura 6.9 - Difratoograma da mistura composta por 20% pó de micaxisto+80%solo (mistura 3) – Análise Integral.....	100
Figura 6.10 - Difratoograma da mistura composta por 20% pó de micaxisto filer+80%solo (mistura 3) – Análise Acumulada.....	101
Figura 6.11 - Difratoograma da mistura composta por 30% pó de micaxisto+70%solo (mistura 4) – Análise Integral.....	101
Figura 6.12 - Difratoograma da mistura composta por 30% pó de micaxisto+70%solo (mistura 4) – Análise Acumulada.....	102
Figura 6.13 – Microscopia mistura 1- aumento de 50X.....	103
Figura 6.14 – Microscopia mistura 1 – aumento 100X.....	104
Figura 6.15 – Microscopia mistura 2 – aumento 50X.....	104

Figura 6.16 – Microscopia mistura 2 – aumento 100X.....	105
Figura 6.17 – Microscopia mistura 3 – aumento 50X.....	106
Figura 6.18 – Microscopia mistura 3 aumento 100X.....	106
Figura 6.19 – Microscopia mistura 4 – aumento 50X.....	107
Figura 6.20 – Microscopia mistura 4 – aumento 100X.....	107
Figura 6.21 – Curva Tensão X Deslocamento (junho 2009) sub-trecho solo+fíler.....	109
Figura 6.22 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro 2009) sub-trecho solo+fíler.....	110
Figura 6.23 – Curva Tensão X Deslocamento (junho 2009) sub-trecho solo+brita 1.	111
Figura 6.24 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro 2009) sub-trecho solo+brita 1.....	111
Figura 6.25 – Curva Tensão X Deslocamento (junho 2009) sub-trecho cascalho laterítico.....	112
Figura 6.26 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro 2009) sub-trecho cascalho laterítico.....	113
Figura 6.27 – Detalhe da panela provocada por maquinário local.....	113
Figura 6.28 – Curva Tensão X Deslocamento (junho de 2009) sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	115
Figura 6.29 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro de 2009) sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	115
Figura 6.30 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+fíler.....	116
Figura 6.31 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+fíler.....	117
Figura 6.32 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+brita 1..	120
Figura 6.33 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+brita 1.....	121
Figura 6.34 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho cascalho laterítico.....	123
Figura 6.35 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho cascalho laterítico.....	124
Figura 6.36 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009).....	126
Figura 6.37 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009).....	126
Figura 6.38 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+pó de	127

micaxisto (junho 2009).....	
Figura 6.39 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009).....	127
Figura 6.40 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho solo+filer.....	133
Figura 6.41 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho solo+filer.....	134
Figura 6.42 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho solo+filer.....	134
Figura 6.43 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub-trecho solo+filer.....	135
Figura 6.44 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho solo+brita 1.....	137
Figura 6.45 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho solo+brita 1.....	137
Figura 6.46 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho solo+brita .....	138
Figura 6.47 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub – trecho solo+brita 1.....	138
Figura 6.48 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho cascalho laterítico.....	141
Figura 6.49 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho cascalho laterítico.....	142
Figura 6.50 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho cascalho laterítico.....	142
Figura 6.51 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub-trecho cascalho laterítico.....	143
Figura 6.52 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	145
Figura 6.53 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	146
Figura 6.54 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	146

Figura 6.55 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	147
Figura 6.56 – Detalhes das trincas no sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	145
Figura 6.57 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 valores médios....	150
Figura 6.58 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 valores médios.....	151
Figura 6.59 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 valores médios.....	151
Figura 6.60 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 valores médios.....	152
Figura 6.61 – Distância de competição para os resíduos de pedreiras e cascalho laterítico.....	164
Figura 6.62 – Distância de competição obtida para: fíler x brita 1, fíler x pó de micaxisto e pó de micaxisto x brita 1.....	164
Figura 6.63 – Distância de competição obtida para brita 1 x cascalho laterítico na empresa C.....	165

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição de produção e comercialização, produto mineral e índice de crescimento para a brita no Estado de Goiás (2003-2007).....	40
Tabela 3.1 - Resultados do ensaio de massa específica dos grãos (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008).....	66
Tabela 3.2 - Resultados dos ensaios de limite de consistência (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008).....	66
Tabela 3.3 – Classificação segundo SUCS e TRB das amostras estudadas(LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008).....	66
Tabela 3.4 – Resultados encontrados no ensaio de compactação (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008).....	67
Tabela 3.5 – Resultados encontrados nos ensaios de expansão e CBR(LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008).....	67
Tabela 6.1 – Resultado das análises químicas do solo e das misturas.....	95
Tabela 6.2 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+fíler (junho 2009).....	108
Tabela 6.3 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+fíler (novembro 2009).....	108
Tabela 6.4 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+brita 1 (junho 2009).....	110
Tabela 6.5 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+brita 1 (novembro 2009).....	110
Tabela 6.6 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho cascalho laterítico (junho 2009).....	112
Tabela 6.7 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho cascalho laterítico (novembro 2009).....	112
Tabela 6.8 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009).....	114
Tabela 6.9 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009).....	114
Tabela 6.10 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+fíler	118

(novembro 2009).....	
Tabela 6.11 – Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para o sub-trecho solo+fíler (novembro 2009).....	119
Tabela 6.12 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+brita 1 (novembro 2009).....	122
Tabela 6.13 – Valores de CBR obtidos por correlação de cinco autores para o sub-trecho solo+brita 1 (novembro 2009).....	122
Tabela 6.14 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho cascalho laterítico (novembro 2009).....	125
Tabela 6.15 – Valores de CBR obtidos por correlação de cinco autores para o sub-trecho cascalho laterítico (novembro 2009).....	125
Tabela 6.16 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009).....	129
Tabela 6.17 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009).....	129
Tabela 6.18 – Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009).....	130
Tabela 6.19 – Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009).....	130
Tabela 6.20 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+fíler (junho de 2009).....	131
Tabela 6.21 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+fíler (novembro de 2009).....	131
Tabela 6.22 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+brita 1 (junho de 2009).....	135
Tabela 6.23 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+brita 1 (novembro de 2009).....	136
Tabela 6.24 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho cascalho laterítico (junho de 2009).....	139
Tabela 6.25 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho cascalho laterítico (novembro de 2009).....	140
Tabela 6.26 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho de 2009).....	143

Tabela 6.27 – Resumo dos Resultados dos Ensaios de Viga Benkelman no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro de 2009).....	144
Tabela 6.28 – Valores médios de deslocamento total para os sub-trechos avaliados..	147
Tabela 6.29 – Valores médios de DN para os diferentes sub-trechos.....	148
Tabela 6.30 Valores médios de $D_0$ e Raio de curvatura para os sub-trechos avaliados.....	149
Tabela 6.31 – Valores médios de deslocamentos obtidos nos diferentes sub-trechos.	153
Tabela 6.32 – Valores médios de índice de penetração.....	154
Tabela 6.33 – Valores de $D_0$ e R obtidos por Luz (2008) e nesta pesquisa.....	155
Tabela 6.34 - Serviços de pavimentação no município de Goiânia em 2009 e estimativa da quantidade de fíler e pó a ser utilizado.....	157
Tabela 6.35 – Composição de custos do trecho solo-fíler e solo-pó.....	157
Tabela 6.35 a – Composição de custos, trecho (solo filer e solo pó).....	177
Tabela 6.36 – Composição do trecho solo-brita 1 e cascalho laterítico.....	157
Tabela 6.36 b – Composição de custos, trecho (solo/brita e cascalho laterítico).....	177
Tabela 6.37 – Composição dos custos para o sub-trecho solo +fíler nas três diferentes empresas.....	159
Tabela 6.37 a – Composição de custos Trecho (solo filer) material empresa A, B e C.....	178
Tabela 6.38 – Composição de custos para o sub-trecho solo+pó de micaxisto nas três diferentes empresas.....	159
Tabela 6.38 b - Composição de custos Trecho (solo/pó) material empresas, A, B e C.....	178
Tabela 6.39 – Composição de custos para o sub-trecho cascalho laterítico.....	160
Tabela 6.39 c – Composição de custos Trecho (cascalho laterítico).....	179
Tabela 6.40 – Composição de custos sub-trecho solo+brita 1.....	160
Tabela 6.40 d – Composição de custos Trecho (solo/brita).....	179
Tabela 6.41 – Composição de custos para os sub-trechos quando executada drenagem.....	161
Tabela 6.42 - Determinação da distância de competição Filer x Brita 1.....	162
Tabela 6.43 - Determinação da distância de competição Fíler x Pó.....	162
Tabela 6.44 - Determinação da distância de competição Pó x Brita 1 .....	163
Tabela 6.45 - Determinação da distância de competição Brita 1 x Cascalho.....	163
Tabela 6.46 - Determinação da distância de competição Pó x Cascalho.....	163
Tabela 6.47 – Determinação da distância de competição Fíler x Cascalho.....	163

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Características dos materiais utilizados no Trecho Experimental.....	62
Quadro 5.1 - Composição geral das atividades para a construção de vias urbanas na cidade de Goiânia (AMOB).....	89
Quadro 5.2 – Adequação da tabela da AMOB para composição das atividades realizadas no trecho experimental.....	90
Quadro 5.3 – Preços, em R\$, dos produtos comercializados nas diferentes empresas.....	90
Quadro 6.1 – Minerais identificados nas misturas.....	98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
AMOB	Agência Metropolitana de Obras
ANEPAC	Associação Nacional de Entidades Produtoras de Agregados para a Construção Civil
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CBR	Califórnia Bearing Ratio
CEASA	Central de Abastecimento do Estado de Goiás
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DCP	Penetrômetro Dinâmico de Cone
DF	Distrito Federal
DER/SP	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
DERMU	Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Goiânia
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte
FWD	Falling Weight Deflectometer
ISC	Índice de Suporte Califórnia
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
MB	Macadame Betuminoso
MO	Matéria Orgânica
NDT	Nondestructive deflection testting
PIB	Produto Interno Bruto
PT	Preço Transporte
RCD	Resíduos de Construção de Demolição
RCS	Resistência à Compressão Simples
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SAFL	Solo arenoso fino laterítico
SINDIBRITA	Sindicato das Empresas de Brita e Argila do Estado de Goiás
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TST	Tratamento Superficial Triplo

## LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
Al (%)	Saturação de Alumínio
°C	Graus Celsius
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio
cm	Centímetros
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de Cálcio
CaSO <sub>4</sub>	Sulfato de cálcio
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
D <sub>0</sub>	Deflexão real ou verdadeira no ponto de prova
D <sub>25</sub>	Deflexão a vinte e cinco centímetros do ponto de prova
dcm <sup>3</sup>	Decímetro cúbico
d <sub>t</sub>	Deslocamento total
d <sub>e</sub>	Deslocamento elástico
DN	Índice de Penetração
g	Gramas
H	Hidrogênio
H <sub>2</sub> O	Fórmula química da água
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ácido Fosfórico
K	Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
kg	kilograma
km	Kilômetro
kN	Kilo Newton
kPa	Kilo Pascal
K <sub>placa</sub>	Módulo de reação
L <sub>0</sub>	Leitura inicial
L <sub>f</sub>	Leitura Final
l	Litro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
Mg	Magnésio
mg	Miligrama

mm	Milímetro
mEq	Miliequivalente
P <sub>b</sub>	Preço da brita em reais
P <sub>f</sub>	Preço fíler em reais
P <sub>t</sub>	Preço Transporte
pH	Logaritmo negativo da concentração hidrogeniônica
R	Raio de curvatura
R\$	Unidade monetária do real
R\$/m <sup>3</sup> km	Reais por metro cúbicos em quilômetros
t	Tonelada
V(%)	Saturação de Bases
ΔpH	Variação do valores de pH

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1 ASPECTOS GERAIS.....	25
1.2 JUSTIFICATIVA.....	27
1.3. OBJETIVOS .....	29
1.3.1 Objetivos Principais.....	29
1.3.2 Objetivo Específicos.....	30
1.4 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO.....	30
<b>2 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE.....</b>	<b>31</b>
2.1. IMPORTÂNCIA DOS AGREGADOS.....	31
2.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MINERAÇÃO NO BRASIL E OS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE.....	33
2.3 MINERAÇÃO E EXPLORAÇÃO DE BRITA NO ESTADO DE GOIÁS.....	37
<b>3 PAVIMENTAÇÃO: CONCEITOS, MATERIAIS E AVALIAÇÃO “IN SITU” .....</b>	<b>44</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE PAVIMENTAÇÃO.....	44
3.2 MATERIAIS TRADICIONAIS.....	46
3.3 MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS.....	48
3.3.1 Fosfógeno.....	48
3.3.2 Resíduos de construção e demolição.....	52
3.3.3 Resíduos cerâmicos.....	54
3.3.4 Cinzas de carvão mineral.....	54
3.3.5 Escórias de usinas de siderúrgicas.....	55
3.3.6 Resíduos de pedreira.....	55
3.4 MONITORAMENTO PÓS-CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS.....	57
3.4.1 Viga Benkelman.....	58
3.4.2 Prova de Carga Sobre Placa.....	59
3.4.3 <i>Dynamic Cone Penetrometer (DCP)</i> .....	59
3.5 CARACTERÍSTICAS DO TRECHO EXPERIMENTAL ESTUDADO.....	61
3.6 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS ESTUDADOS NO TRECHO EXPERIMENTAL.....	64
<b>4 ECONOMIA E ESTIMATIVA DE CUSTOS.....</b>	<b>68</b>

4.1 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	68
4.2 VIABILIDADE ECONÔMICA E ESTIMATIVA DE CUSTOS NA PAVIMENTAÇÃO.....	71
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>75</b>
5.1 INTRODUÇÃO.....	75
5.2 VISITA TÉCNICA ÀS PEDREIRAS.....	75
5.3 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A CONFECÇÃO DAS CAMADAS DE BASE E SUB-BASE NO TRECHO EXPERIMENTAL.....	76
5.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	79
5.4.1 Análise Química das misturas e do solo.....	79
5.5 PISTA EXPERIMENTAL ESTUDADA.....	82
5.5.1 Ensaio Prova de Carga Sobre Placa.....	83
5.5.2 Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP).....	85
5.5.3 Viga Benkelman.....	86
5.6 ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA A EXECUÇÃO DOS SUB-TRECHOS.....	88
<b>6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>92</b>
6.1 INTRODUÇÃO.....	92
6.2 VISITA TÉCNICA.....	92
6.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	94
6.3.1 Análises Químicas.....	94
6.3.2 Difração de raios-X.....	97
6.3.3 Microscopia eletrônica de varredura.....	102
6.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CAMPO.....	108
6.4.1 Prova de Carga Sobre Placa.....	108
6.4.1.1 Sub-trecho solo+filer.....	108
6.4.1.2 Sub-trecho solo+brita 1.....	110
6.4.1.3 Sub-trecho cascalho laterítico.....	112
6.4.1.4 Sub-Trecho solo+pó de micaxisto.....	114
6.4.2 Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP).....	116
6.4.2.1 Sub-Trecho solo+filer.....	116
6.4.2.2 Sub-Trecho solo+brita 1.....	120
6.4.2.3 Sub-Trecho cascalho laterítico.....	123
6.4.2.4 Sub-Trecho solo+pó de micaxisto.....	126
6.4.3 Viga Benkelman.....	131

6.4.3.1 Sub-Trecho solo+fíler.....	131
6.4.3.2 Sub-Trecho solo+brita 1.....	135
6.4.3.3 Sub - Trecho cascalho laterítico.....	139
6.4.3.4 Sub-Trecho solo+ pó de micaxisto.....	143
6.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS SUB-TRECHOS .....	147
6.6 COMPARAÇÃO COM PESQUISAS REALIZADAS ANTERIORMENTE.....	152
6.7 ESTIMATIVA DE QUANTIDADE DE CUSTOS.....	155
6.7.1 Quantificação do fíler e do pó gerados.....	155
6.7.2 Estimativa de custos para execução do trecho experimental.....	157
6.7.3 Estimativa de custos para a execução do trecho experimental com dispositivos de drenagem.....	161
6.7.4 Distância competitiva entre os materiais utilizados.....	162
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>166</b>
7.1 CONCLUSÕES .....	166
7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	167
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>168</b>
<b>APÊNDICE A – ITENS CONSIDERADOS NAS COMPOSIÇÕES DE CUSTO..</b>	<b>177</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 ASPECTOS GERAIS

O modelo de desenvolvimento adotado ao longo dos anos pela sociedade levou ao comprometimento da qualidade de vida dos sistemas existentes na terra. O que se observa é que cada vez menos os mecanismos de regulação (homeostase) conseguem realizar adequadamente a sua função, e como conseqüência ocorre o surgimento de impactos ambientais. A perda da qualidade de vida, evidenciada após a revolução industrial, compromete severamente o meio ambiente, principalmente pela geração excessiva de poluentes e contaminantes. Neste contexto, surgem os resíduos sólidos como subprodutos das atividades humanas e com capacidade significativa de alteração do meio ambiente.

Pela Segunda Lei da Termodinâmica, o uso de energia implica na degradação de sua qualidade quando passa por diferentes níveis dentro de qualquer sistema. Por outro lado e como conseqüência, ocorre a conservação de massa, onde os resíduos energéticos, somados com os resíduos de matéria, alteram a qualidade do meio ambiente, gerando poluição. A tendência de qualquer sistema natural é o aumento de seu grau de desordem quando não operado de forma adequada. Assim, utilizando os recursos naturais finitos e gerando energia de baixa qualidade, tendem a aumentar as desordens provenientes da má gestão do meio.

Tem-se, ainda, que as descaracterizações do meio ambiente por meio de atividades antrópicas que busquem a melhoria da qualidade de vida nem sempre são passíveis de recuperação imediata. O homem, como elemento do ecossistema, tem a qualidade de vida afetada como um reflexo da sua própria ação (ARAÚJO, 2008).

Os resíduos sólidos constituem um grave problema ambiental devido à diversidade e quantidade em que são gerados. Infelizmente, estes são em sua maioria abandonados no meio ambiente sem que haja a preocupação com a contaminação do solo, das águas subterrâneas e ainda com a proliferação de insetos e a disseminação de doenças (VELOSO; CARVALHO; FARIA, 2008).

Como consequência, o acúmulo de resíduos gerados em qualquer atividade que busque a qualidade de vida humana tem-se tornado um problema constante, uma vez que a maioria das tecnologias disponíveis ainda são insuficientes para tratar ou dispor adequadamente os resíduos gerados. Buscar formas adequadas de disposição, não afetando a qualidade do meio ambiente, é uma temática importante no contexto atual, principalmente nos grandes centros de pesquisas, que estudam materiais alternativos de baixo impacto ambiental.

Os resíduos industriais são decorrentes do rápido desenvolvimento deste setor que acompanha o avanço tecnológico, tais resíduos têm sido hoje um dos maiores responsáveis pela degradação ambiental. Segundo Araújo (2008), a reutilização de materiais tem se fortalecido como um eficiente mecanismo para minimizar os problemas oriundos dos resíduos gerados pelas atividades antrópicas. Além disso, tem-se a busca de novos materiais construtivos que possam substituir as matérias-primas retiradas do meio ambiente.

Levando em conta a necessidade dos recursos minerais para o desenvolvimento sócio-econômico, a dificuldade no controle da disponibilidade de insumos minerais coloca em risco, no presente, a manutenção e, para o futuro, a melhoria da qualidade de vida das populações. Os agregados para a indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos e conseqüentemente os mais significativos em termos de volumes produzidos no Brasil e no mundo. As indústrias brasileiras de agregados (areia e brita) têm apresentado nos últimos anos um incremento na produção. Diante desse fato, o aumento do volume de depósitos de subprodutos se torna uma realidade mais constante na maioria das pedreiras no Brasil. Sendo assim, o surgimento de pesquisas que visem à agregação do ponto de vista econômico e ambiental surge como uma alternativa contra a deterioração ambiental gerada pela estocagem realizada em grandes áreas.

A utilização de agregados para a construção civil, por exemplo, através do processo de britagem da rocha causa vários tipos de problemas ambientais, decorrentes principalmente da geração de resíduos. A minimização de tais resíduos renova o conceito de gerenciamento de resíduos baseado na sistemática de medidas que visam, em primeiro lugar reduzir o máximo possível a quantidade de resíduos a serem tratados, dispostos ou reaproveitados, reforçando assim o princípio do gerenciamento de resíduos sólidos (PEREIRA, 2004).

O expurgo de pedreira é gerado na linha de britagem dos blocos rochosos para obtenção de materiais em diversas granulometrias. Sendo assim, há a geração de finos ou fíler como resíduo dessa etapa produtiva. Atualmente, esse fíler é estocado nas propriedades dessas

mineradoras, ocupando áreas extensas e que poderiam ser aproveitadas para outras atividades com fins lucrativos (ARAÚJO, 2008).

No que se refere à problemática causada pelo acúmulo de resíduos surge a pavimentação a asfáltica como grande potencializadora de absorção dos resíduos gerados pelas ações humanas, sendo que a reutilização dos diferentes resíduos gerados em bases e sub-base de pavimento pode diminuir as externalidades negativas, bem como mitigar os impactos ao meio.

Pesquisas realizadas por Ribeiro (2006), Resplandes (2007), Mesquita (2007), Oliveira (2007), Quintanilha (2008), Araújo (2008), Luz (2008) e Rufo (2009), demonstram a potencialidade, do ponto de vista econômico, técnico e ambiental, da substituição dos materiais tradicionalmente usados no Estado de Goiás, como o cascalho laterítico, por diversos tipos de resíduos que possam apresentar valor agregado.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

No Brasil e nos demais países, durante muito tempo, o desenvolvimento industrial e a poluição eram vistos como indicativo de progresso. Essa percepção ficou mantida até que os problemas relacionados ao meio ambiente como: poluição, degradação da qualidade de vida, contaminação do ar, da água e do solo propiciaram o surgimento de efeitos diretos sobre a vida do meio e das pessoas que coabitam nele.

Dada à expansão da população mundial e à sua continuada concentração em áreas urbanas, bem como à crescente escassez e complexidade do suprimento de recursos minerais, os conflitos da atividade mineral vêm se intensificando (CALAES et al., 2007).

Na Conferência Rio + 10, realizada de 26 de maio a 29 de agosto de 2002, em Johannesburgo, em várias partes de seu documento final, assinado por todos os países presentes, a mineração foi considerada como uma atividade fundamental para o desenvolvimento econômico e social de muitos países, tendo em vista que os minerais são essenciais para a vida moderna (FARIAS, 2002).

A mineração é fornecedora dos insumos básicos aos três setores da economia: primário, secundário e terciário. Neste sentido, seus impactos podem ser positivos e negativos. Todavia, considerando que ela se desenvolve na crosta terrestre, mediante a desagregação das rochas para a extração, beneficiamento e transformação dos bens minerais, pode-se concluir que ela, à semelhança de outras atividades humanas, também interfere no

ambiente, especialmente se mal conduzida (HERRMANN, 2007). A mineração, como qualquer outra atividade exploratória, tem como consequência a geração de resíduos.

Os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobrepção atmosférica, vibração do terreno, ultralancamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local (BACCI; LANDIM; ESTON, 2006).

Por outro lado, a pavimentação de vias, além de contribuir para a redução dos custos de transporte, integração de benefícios e melhoria da qualidade de vida, surge como possível receptora de materiais alternativos para a sua execução, principalmente materiais provenientes de resíduos de produtos e processos industriais. Esses materiais podem ser denominados de materiais não convencionais ambientalmente corretos.

De acordo com Araújo (2008), a dificuldade de encontrar materiais naturais na região onde será executada a obra, em alguns casos, eleva os custos da mesma, principalmente referente a escavações e transportes. Por outro lado, a proximidade de pedreiras de centros habitados é uma decorrência natural da forte influência do custo dos transportes no preço final do produto. Isso ocorre, principalmente, com os agregados, devido ao seu baixo valor unitário.

A alternativa da utilização de um material de descarte do processo industrial tem como principal característica resolver os problemas mais constantes: o primeiro diz respeito à escassez de materiais granulares (REZENDE, 2003); o segundo, refere-se à dificuldade imposta pela Legislação Ambiental para a exploração de jazidas naturais; por fim, o terceiro, onde tenta-se solucionar o problema enfrentado por empresários no que se refere ao destino dado ao resíduo de processos industriais, que a cada dia se acumulam em áreas pertencentes à empresa gerando custos e externalidades diversas (LUZ et al., 2005). No entanto, para que esses resíduos possam ser reaproveitados, visando solucionar os problemas empresariais, os mesmos devem satisfazer alguns critérios básicos como: apresentar viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Um problema enfrentado pelo setor de areia e brita no Estado de Goiás é a estocagem dos finos. A britagem das rochas gera basicamente 5 tipos de produtos: Brita 3: 70 a 50 mm; Brita 2: 50 a 25 mm; Brita 1: 25 a 12,5 mm; Brita 0: 12,5 a 4,8 mm; Pó de pedra: menor que 4,8 mm. Entretanto, desses produtos os únicos que encontram aplicações nobres na

construção civil são as britas de 1, 2 e 3, sendo a brita 0 e o pó de pedra utilizados apenas em aplicações marginais. Algumas dessas empresas fazem a lavagem do pó para retirada dos finos denominado filer. Desta maneira, esses finos ficam estocados em depósitos nas pedreiras e acabam gerando graves impactos sobre o meio ambiente devido, principalmente, à enorme geração de poeira. Estes finos devidamente processados podem vir a substituir a areia natural, porém, para isso, devem possuir algumas características tais como: distribuição granulométrica, forma e textura superficial adequadas, resistência mecânica, estabilidade das partículas e ausência de impurezas, bem como também ser utilizados na aplicação de bases e sub-bases de pavimentos em substituição aos materiais considerados tradicionais (ALMEIDA; SAMPAIO; SILVA, 2005).

De acordo com Luz (2008) e Araújo (2008), o eixo Goiânia-Brasília por constituir o terceiro mercado consumidor de produtos resultantes de processo de britagem no país. Goiânia, com uma população de cerca de 1,4 milhão de habitantes, consome atualmente cerca de 100.000 metros cúbicos de pedra britada por mês, embora tenha potencial para consumir até 250.000 metros cúbicos. Existem hoje nesta região, conforme a Associação Nacional das Entidades Produtoras de Agregados para Construção Civil (ANEPAC, 2004) e Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2009) 14 produtores de brita distribuídos na periferia de Goiânia, em Aparecida de Goiânia e Goianira.

Com esses crescentes números fica bastante evidente o interesse, por parte do setor empresarial, em solucionar o problema do acúmulo de resíduos advindos do processo de lavagem da brita. Sendo assim, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que minimizem o problema do setor empresarial. Araújo (2008) destaca que estudos que possam viabilizar a utilização desse rejeito em atividades capazes de absorver o grande volume gerado do mesmo, como as obras de pavimentação, são de fundamental relevância, tanto para sanar ou mitigar os problemas oriundos da destinação desse material, bem como da escassez de materiais granulares utilizados na pavimentação.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivos Principais**

Esta pesquisa tem dois objetivos principais:

- Verificar a viabilidade econômica de utilização do filer de pedreira em base e sub-base de pavimentos;

- Acompanhar o desempenho estrutural do trecho de pavimento experimental executado por Luz (2008) e Araújo (2008), onde foram utilizados finos de pedra em suas camadas.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos tem-se:

- Realizar a caracterização química das amostras estudadas;
- Verificar estrutura das misturas na direção da compactação;
- Identificar os minerais presentes nas misturas.

### **1.4 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO**

Este trabalho foi desenvolvido na forma de dissertação de mestrado, estando dividido em sete capítulos conforme descrito a seguir.

O Capítulo 1 relata os aspectos gerais da pesquisa contendo justificativa e objetivos. O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre a mineração e meio ambiente, enfocando sobre sua importância para o desenvolvimento das atividades humanas, bem como também os impactos ambientais gerados. O Capítulo 3 discorre sobre pavimentação, materiais utilizados para a confecção das camadas de sub-base e base e ensaios de campo utilizados para o monitoramento pós-construção, bem como as características do trecho experimental estudado. O Capítulo 4 relata sobre os aspectos gerais de viabilidade econômica e estimativa de custos na pavimentação. O Capítulo 5 apresenta a metodologia aplicada nesta pesquisa. O Capítulo 6 apresenta e discute os resultados obtidos nos ensaios de campo, ensaios complementares e na análise de estimativa de custos. O Capítulo 7 discorre a respeito das conclusões obtidas, as considerações finais e apresenta sugestões para pesquisas futuras.

## CAPÍTULO 2

### MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE

Neste capítulo serão abordados alguns tópicos e aspectos ambientais em relação às atividades mineradoras bem como a relação das pedreiras com o meio ambiente.

#### 2.1 IMPORTÂNCIA DOS AGREGADOS

No contexto do desenvolvimento urbano, o processo de concentração demográfica se por um lado estimula a queda do consumo *per capita* de energia, por outro expande a intensidade de consumo de materiais de emprego imediato na construção civil, cuja produção e distribuição pode oferecer sérios impactos em termos de consumo de energia e de geração de resíduos diante à inexistência de zoneamento adequado, que favoreça uma estrutura de produção e de logística de grande eficácia (CALAES et al., 2007).

No Brasil, devido à disponibilidade de rocha dura na maioria de suas regiões metropolitanas, as unidades produtoras de brita tendem a se localizar mais próximas ao mercado. Por outro lado, devido à deficiência das políticas de uso e ocupação do solo, verificam-se freqüentes conflitos de localização pelo avanço desordenado da urbanização, à medida que ocorre o esgotamento das unidades produtoras (CALAES et al., 2007).

Evidencia-se, então, a necessidade de racionalizar métodos operacionais e de planejamento e gestão, objetivando desenvolver processos de produção e aperfeiçoar produtos, de forma a atenuar os impactos negativos e as atuais economias associadas à atividade produtiva. Os agregados para indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos e conseqüentemente, os mais significativos em termos de volume produzido no Brasil e no mundo.

De acordo com o último Anuário Minerário Brasileiro do ano de 2006 (DNPM, 2006), no país havia 2.641 de minas. Deste total, 130 minas eram de grande porte, 625 de médio porte e 1.886 de pequeno porte, ou seja, 71,4% do total. Operam na modalidade a céu aberto 2.597 minas, 41 subterrâneas e 3 mistas. Nos empreendimentos mineiros de grande porte, em 2006, predominaram minas com escala de produção de até 3 milhões de toneladas e acima de 1 milhão de t/ano, ou seja, 58,8% do total. Trata-se do segmento que oferece um maior número de substâncias minerais, com forte presença no minério de ferro, calcário e rochas britadas.

A Indústria Extrativa Mineral brasileira é bastante diversificada. Há pelo menos 55 minerais sendo explorados atualmente no Brasil, cada qual com uma dinâmica de mercado específica ou singular. Sabe-se que a mineração foi historicamente relevante como fator de atração de contingentes populacionais para a ocupação do interior do território brasileiro e, ainda hoje, é um vetor importante para o desenvolvimento regional. Dada a rigidez locacional que a caracteriza, pois não se pode mudar o lugar que a natureza escolheu para as jazidas, seu impacto econômico cresce na medida em que são identificadas minas em regiões de baixa densidade demográfica, com atividades produtivas pouco diversificadas (NEVES; SILVA, 2007).

A indústria brasileira de agregados (areia e brita) tem apresentado nos últimos anos um incremento na produção de 200 milhões de toneladas/ano e já ultrapassa a produção de minério de ferro. Além disso, a exploração de agregados é atualmente uma das atividades extrativas mais importantes do setor mineral brasileiro pelo volume produzido de 155 milhões de m<sup>3</sup>/ano de areia e 107 milhões de m<sup>3</sup>/ano de brita, pelos empregos gerados e pelo enorme efeito multiplicador que produz na economia (CALAES et al., 2007).

De acordo com o DNPM (2001), a participação dos tipos de rochas utilizados na produção de pedra britada é a seguinte: granito e gnaisse – 85%; calcário e dolomito – 10%; basalto e diabásio – 5%. O número de empresas que produzem pedra britada é da ordem de 660, sendo a maioria de controle familiar, e são responsáveis por cerca de 20.000 empregos diretos e 100.000 indiretos. Do total das pedreiras, 60% produzem menos que 200.000 t/ano por unidade; 30% produzem entre 200.000 t/ano e 500.000 t/ano e 10% produzem mais que 500.000 t/ano (VALVERDE, 2007).

O maior mercado consumidor de rocha britada no país permanece sendo São Paulo. O Rio Grande do Sul e Santa Catarina elevaram sua participação relativa, deslocando os mercados de Minas Gerais e do Rio de Janeiro, os quais entre 2003 e 2006 ocupavam alternadamente a segunda e a terceira posição. Os valores de produção declarados no RAL ano-base 2007 para a rocha britada beneficiada indicam um crescimento acumulado de 46% e de 31%, respectivamente, sobre o ano base de 2005 para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Em Santa Catarina, a produção de rocha britada elevou-se em 1,8 milhão de m<sup>3</sup> em relação a 2005. Para o país, considerando o ano base de 2005, o valor declarado no RAL em 2007 cresceu 13%. Parte significativa do crescimento da rocha britada em Santa Catarina deveu-se as obras de duplicação da BR 101. Setorialmente, em 2007, a construção civil demandou 66% do consumo de rocha britada beneficiada, a construção/manutenção de estradas 15%, a pavimentação asfáltica 4% e os artefatos de cimento 3,5%. O setor de

construção civil absorveu 46% da rocha britada bruta, seguido pelo setor de construção/manutenção de estradas com 22% e pavimentação asfáltica 7% (LA SEMA, 2008).

Em termos de reservas com potencial de exploração, o Estado de São Paulo responde por cerca de 20,73%. Outros importantes estados em termos de reservas nacionais são Minas Gerais (23,51%), Rio de Janeiro (9,66%), Bahia (6,68%) e Goiás com 3,90% de reservas. Quando esses valores correspondem a quantidade produzida, ocorre uma pequena diversificação em relação às maiores reservas. No entanto, o estado de São Paulo ainda continua com a maior produtividade (35,53%), Minas Gerais (10,0%), Rio de Janeiro (8,16%), Paraná (5,61%), Rio Grande do Sul (4,74%), Santa Catarina (4,60%) e Goiás com 4,36% (DNPM, 2006).

Em nível mundial, o Brasil ocupa o primeiro lugar na produção de minério de ferro e de nióbio, segundo lugar na produção de cassiterita e terceiro lugar na produção de bauxita e manganês. Estes números trazem ao país uma posição considerável no cenário mundial (CAMPOS; FERNANDES, 2007).

O termo agregados para a construção civil, conforme o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2001), é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil, que são basicamente a areia e a rocha britada. O termo “emprego imediato na construção civil”, que consta da legislação mineral para definir uma classe de substâncias minerais, não é muito exato já que nem sempre são usadas dessa forma e muitas vezes entram na composição de misturas, tais como o concreto.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MINERAÇÃO NO BRASIL E OS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE**

A mineração é conceituada como sendo a ação de descobrir, avaliar e extrair as substâncias minerais úteis existentes no interior ou na superfície do planeta Terra. Todas as operações que envolvem a mineração de rocha britada comportam quatro etapas distintas, sendo elas: a prospecção, a exploração, o desenvolvimento e a lavra. A prospecção é a etapa da descoberta de ocorrências minerais, através de pesquisa bibliográfica, levantamentos geológicos já existentes, imagens de satélites, ortofotos (imagens fotográficas baseada num modelo digital do terreno) e outros (FRAZÃO, 2007).

A etapa de desenvolvimento compreende todos os trabalhos necessários ao aproveitamento industrial da jazida mineral, como: a abertura de estradas, a implantação de estruturas de apoio (oficinas, portarias, escritórios, banheiros, refeitório, almoxarifado, outros); a implantação de estruturas de controle (diques, barragens, sistemas de drenagem, etc) e outros (FRAZÃO, 2007).

Por fim, a lavra é definida como o conjunto de operações necessárias para o aproveitamento industrial da jazida até o seu beneficiamento, e efetuada de modo não predatório, isto é, respeitando às Normas Reguladoras de Mineração e às leis de segurança e meio ambiente (FRAZÃO, 2007).

A mineração é um dos setores básicos da economia do país, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável (FARIAS, 2002).

A mineração desempenha um papel social e econômico muito importante no país. Sob o aspecto de economia, a atividade de extração é responsável por 3% do Produto Interno Bruto brasileiro (PIB). Este valor sobe para aproximadamente 26% quando se considera as etapas de transformação do bem mineral, sendo produto de base para setores como: siderurgia, metalurgia, indústria cerâmica, petro-química, cimenteira, química e outras. Se forem consideradas as etapas subseqüentes de produção, onde encontram-se as indústrias automobilísticas, eletroeletrônicas e de eletrodomésticos, e o setor da construção civil, a participação chega a aproximadamente 40% na economia nacional (CAMPOS; FERNANDES, 2007).

Analisando a produção específica de agregados, esta vem aumentando consideravelmente a partir da década de 60, exceto no período entre 1997 a 2003, devido a crise que se abateu na construção civil. Entretanto, atualmente, vê-se um aquecimento neste setor, principalmente nas grandes metrópoles. Destaca-se a Região Metropolitana de São Paulo como o maior mercado consumidor de agregados do país (CAMPOS; FERNANDES, 2007).

Embora o setor de produção de agregados para construção civil possua uma grande importância econômica para o país, a mineração como atividade potencialmente poluidora, altera profundamente o meio ambiente onde se encontra inserida, gerando ainda uma série de resíduos que acabam sendo depositados em bancas dentro da propriedade dessas empresas, constituindo assim em áreas com passivo ambiental (ARAÚJO, 2008).

Ao conjunto de efeitos não desejados oriundos das atividades desempenhadas pela mineração dá-se a denominação de externalidades. Algumas dessas externalidades são: alterações ambientais, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano. Estas externalidades geram conflitos com a comunidade, que normalmente têm origem quando da implantação do empreendimento, pois o empreendedor não se informa sobre as expectativas, anseios e preocupações da comunidade que vive nas proximidades da empresa de mineração (BITAR, 1997).

No Brasil, os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em quatro categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora e subsidência do terreno (FARIAS, 2002).

Bacci, Landim e Eston (2006) realizaram um estudo inerente ao levantamento dos impactos gerados por pedreiras em áreas urbanas. Os autores apontaram em seu trabalho que os impactos adversos mais significativos estão relacionados ao uso de explosivos no desmonte de rocha, os quais podem estender-se para áreas fora do domínio da pedreira, afetando, principalmente, a região circunvizinha. Neste mesmo estudo, os autores puderam identificar e listar os principais aspectos e impactos ambientais gerados em empresa mineradora, sendo eles: poluição do ar, contaminação do solo e dos cursos d'água, danos às instalações civis, perda /danos à integridade física e utilização de recursos naturais indevidos.

De acordo com Dias (2001), os impactos da mineração em área urbana sobre o meio antrópico reveste-se de especial importância devido ao alto grau de ocupação urbana, que são agravados face à proximidade entre as áreas mineradas e as áreas habitadas. É o caso dos impactos visuais, resultantes dos altos volumes de rocha e solos movimentados e às dimensões da cava ou da frente de lavra. O desconforto ambiental pode ser sentido mesmo quando as emissões estiverem abaixo dos padrões ambientais estabelecidos. Os impactos causados sobre a saúde, por outro lado, dificilmente ocorrem quando estes limites são respeitados.

No Brasil, já está sendo desenvolvida uma política para resolver os problemas gerados por estes empreendimentos. Esta política se baseia no fato de que esses problemas ambientais sejam minimizados através da exigência pelos órgãos responsáveis do meio ambiente do estudo da avaliação de impactos ambientais.

A lei federal nº 6938, que estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente, instituiu como um dos seus instrumentos a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). Posteriormente, o decreto nº 88351, que disciplinou a lei, vinculou a utilização da avaliação

de impacto aos sistemas de licenciamento de atividades poluidoras ou modificadoras do meio ambiente, e estabeleceu que “o estudo de impacto ambiental será realizado por técnicos habilitados, e constituirá o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA”.

Anos após o estabelecimento da Política Nacional do Meio Ambiente, surge através da resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986, um meio legal estabelecendo as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso e implementação da avaliação de impacto ambiental. De acordo com a referida resolução:

“considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: (I) - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; (II) - as atividades sociais e econômicas; (III) - a biota; (IV) - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e (V) - a qualidade dos recursos ambientais”. (CONAMA, 1986)

Contudo, a partir da década de 90, a mineração de agregados, principalmente a de brita nas regiões metropolitanas, tem feito esforços para acompanhar as demandas atuais da legislação ambiental, principalmente com a adoção da licença de operação, incorporando ao processo produtivo o gerenciamento ambiental no planejamento do empreendimento com a correta aplicação das técnicas de lavra e a adequação a determinados parâmetros, bem como a recuperação das áreas. (SINTONI<sup>1</sup>, 1994 apud FARIAS, 2002).

Araújo (2008) ressalta que um aspecto relevante no processo de minimização dos impactos ocasionados pela atividade de mineração: a procura de uma destinação adequada para os resíduos sólidos gerados pelo mesmo. Dessa forma, é oportuno que ocorra o aproveitamento dos rejeitos das atuais pedreiras já instaladas, para que eles possam ser destinados como um material de valor econômico e ambiental, visando dessa forma maximizar os agregados produzidos nas pedreiras e sanar as principais externalidades geradas por essa atividade.

De acordo com o Anuário Minerário Brasileiro do ano de 2005, o estado de Goiás conta com 38 municípios com potencialidade de reservas e produção de agregados. Neste contexto, o panorama do mercado de agregados para a construção civil no Estado de Goiás, segundo o Sindicato das Empresas de Brita e Argila do Estado de Goiás e Indústrias

---

<sup>1</sup> SINTONI, A. *A mineração no cenário do município de São Paulo: mercado e novas tecnologias*. In: I Encontro de Mineração no Município de São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria das Administrações Regionais da Prefeitura do Municipal de São Paulo, 1994. p. 31-42.

(SINDIBRITA, 2007), demonstra que a demanda por brita não se alterou em 2004 e 2005. Em 2006, como consequência da recuperação do setor de construção civil, a demanda por brita aumentou, o que também provocou uma variação nos preços.

Em Goiânia, a maioria das pedreiras localizadas em sua região metropolitana exploram a rocha conhecida como micaxisto. Os micaxistos são rochas metamórficas de estrutura com xistosidade acentuada, formadas por uma composição química pelítica, essencialmente, por quartzo e mica (muscovita ou biotita), podendo conter feldspato, granadas, estauroilite, silimanite e horneblenda (TERRA<sup>2</sup>, 2007 apud ARAÚJO, 2008). No processo de beneficiamento da rocha e britagem do agregado ocorre a lavagem da brita, gerando o resíduo denominado de fíler. Este resíduo geralmente é disposto em depósitos. Observa-se que o acúmulo desses resíduos nos pátios das empresas pode gerar inúmeros impactos ambientais, sendo que a depreciação da qualidade dos corpos d'água adjacentes às áreas de servidão é um dos principais problemas levantados.

Silveira e Mendonça (2009), ao verificar os aspectos e impactos ambientais em pedreiras de granito, descreveram que na maioria das empresas que realizam a extração de rocha britada, a lavra é feita a céu aberto, em meia encosta, e as operações se iniciam com a execução do plano de fogo para desmonte primário (perfuração+detonação por explosivos), que fragmenta cada trecho das bancadas da frente de lavra. Caso o material não esteja com dimensões adequadas para a entrada na planta de beneficiamento (fragmentos maiores que 1 metro), efetua-se o desmonte secundário, por fogacho, rompedores hidráulicos ou *drop ball*. Em seguida, efetua-se o carregamento dos fragmentos rochosos com pás-carregadeiras em caminhões para alimentação dos britadores. Após a britagem e a separação, os produtos são conduzidos para a área de estocagem nos pátios das empresas.

### **2.3 MINERAÇÃO E EXPLORAÇÃO DE BRITA NO ESTADO DE GOIÁS**

De acordo com o DNPM (2008), 31 substâncias compõem o produto mineral extraído do Estado de Goiás. Neste item estão: água mineral, água termal, amianto, areia, argila para cerâmica vermelha, argila para cimento, brita, calcário agrícola, calcário para cimento, calcário para ração, cascalho, caulim para cerâmica branca, cobalto, cobre, diamante, esmeralda, ferro, filito, fosfato, manganês, nióbio, níquel, ouro, rochas de revestimento e

---

<sup>2</sup> TERRA PLANETA “VIVO”. *Rochas - metamorfismo*. 2007. Disponível em: <[http://domingos.home.sapo.pt/rochas\\_3.html](http://domingos.home.sapo.pt/rochas_3.html)>. Acesso em: 15 mai. 2007.

ornamentais, silito para cerâmica branca, titânio e vermiculita e as classificadas em outras substâncias: argila para cerâmica branca, prata, quartzo, e, finalmente, saibro. Destas substâncias, oito (níquel, cobre, fosfato, cobalto, amianto, ouro, nióbio e brita, nesta ordem) responderam por aproximadamente 94% do total, ficando os poucos mais de 4% restantes por conta de outras 23 substâncias. A Figura 2.1 ilustra a distribuição percentual das principais substâncias extraídas no Estado de Goiás.

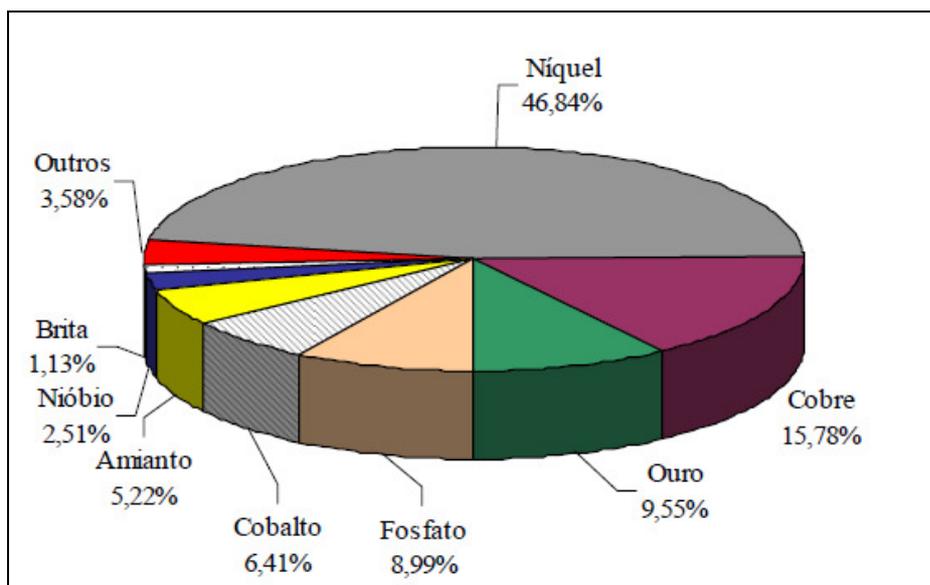


Figura 2.1 – Distribuição percentual das principais substâncias minerais extraídas no Estado de Goiás (DNPM, 2007)

O produto mineral do Estado de Goiás apresentou um crescimento em todos os anos analisados, com destaque para 2007 em relação a 2006. Nesse período, houve um acréscimo de 65,5%, reflexo do aumento dos valores dos metais, impulsionados pelo crescimento do mercado interno e, principalmente, dos países asiáticos. Dos 131 municípios que compuseram o Produto Mineral no Estado de Goiás (considerando o Distrito Federal como uma unidade de Goiás para fins deste estudo) em 2007, apenas oito (Niquelândia, Alto Horizonte, Barro Alto, Catalão, Minaçu, Crixás, Ouvidor e Americano do Brasil, nesta ordem) foram responsáveis por aproximadamente 92,9% do total, ficando os 7,10% restantes por conta de 123 municípios. Destaca-se que os quatro primeiros municípios detiveram cerca de 75% do valor da produção mineral (DNPM, 2008).

De todos os municípios que compõem a estrutura, em termos de reservas, destacam-se: Aparecida de Goiânia (33.698.329 m<sup>3</sup>), Cocalzinho de Goiás (42.692.407 m<sup>3</sup>), Goiânia (43.430.480 m<sup>3</sup>), Goianira (27.075.352 m<sup>3</sup>), Nova Veneza (10.468.248 m<sup>3</sup>), Padre Bernardo (31.950.693 m<sup>3</sup>), Teresópolis de Goiás (36.372.171 m<sup>3</sup>), o que demonstra a potencialidade do estado em termos de volume a ser explorado.

A comercialização de areia e brita se restringe a um raio limitado, devido aos elevados custos de frete que oneram o produto final. Portanto, a comercialização desses minerais fica restrita na região de extração ou para o abastecimento dos maiores centros urbanos, que neste caso são Brasília e Goiânia. Na Figura 2.2 pode-se verificar a distribuição dos principais municípios produtores e comercializadores de brita no Estado de Goiás para o ano de 2007.

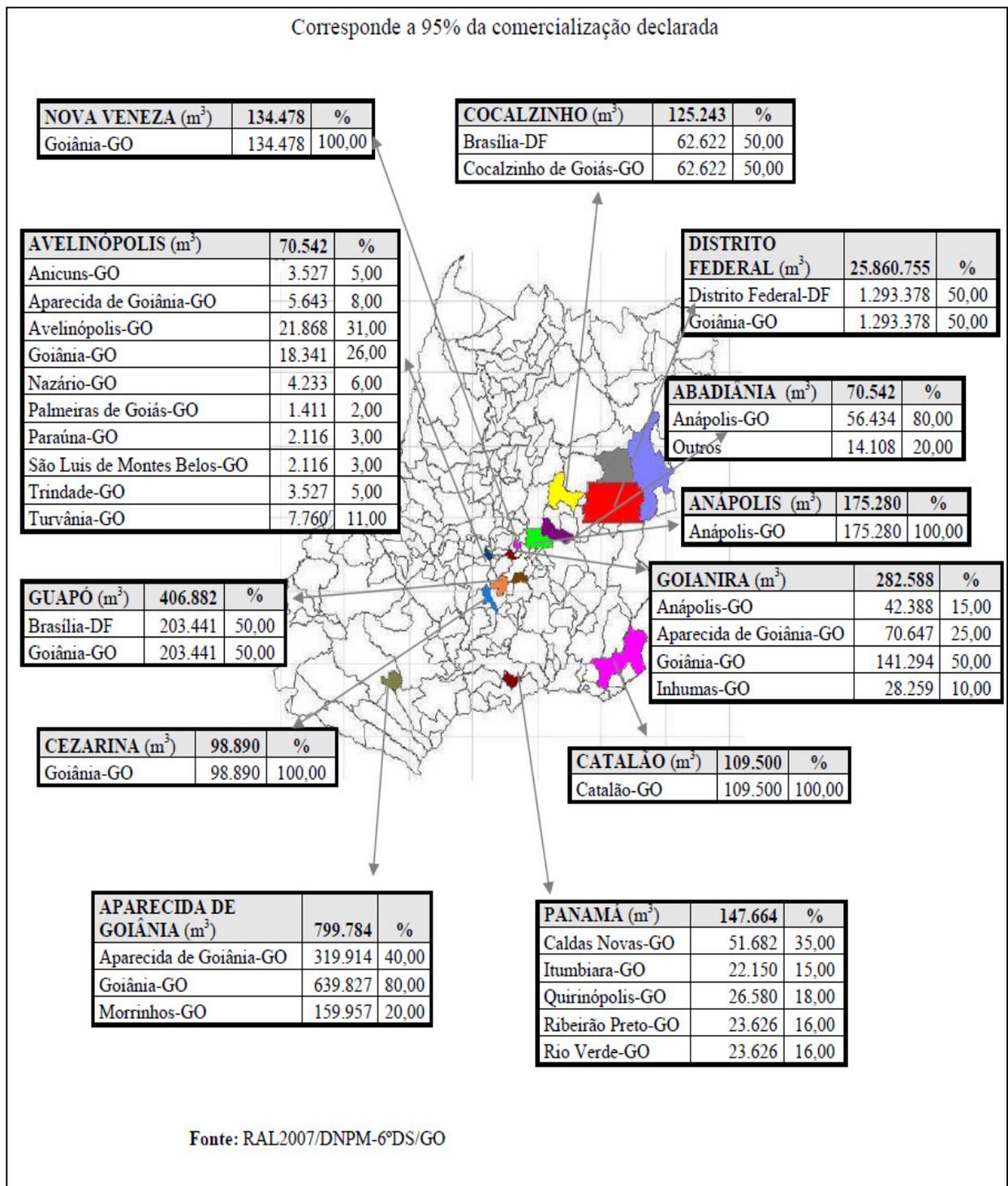


Figura 2.2 - Municípios produtores e comercializadores de brita e suas zonas de influência de comércio (DNPM, 2007)

O aquecimento da construção civil no estado também impulsionou outros setores, principalmente os relacionados à exploração das matérias essenciais para o desenvolvimento das atividades de extração de rocha para produção de agregados para a construção civil. A Tabela 2.1 mostra essa evolução entre os anos de 2003 a 2007, com destaque para o ano de 2007 com maior volume de produção e comercialização de brita.

Tabela 2.1 – Composição de produção e comercialização, produto mineral e índice de crescimento para a brita no Estado de Goiás (2003-2007)

<b>Data</b>	<b>Produção (m<sup>3</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>Comercialização (m<sup>3</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>Produto Mineral (R\$)</b>	<b>(%)</b>
2003	676.593	100,0	676.593	100,0	16.362.718,92	100,0
2004	1.107.132	163,6	1.107.132	163,6	22.801.275,79	139,3
2005	1.883.695	278,4	1.842.891	272,4	42.401.549,06	259,1
2006	2.349.236	347,2	2.299.230	339,8	60.167.195,48	367,7
2007	2.846.681	420,7	2.703.352	399,6	60.353.744,65	368,8

OBS.: Base de atualização monetária:31/12/2007. Dólar de referência da época: 2003 (US\$ 2,925), 2004 (US\$ 2,433), 2005 (US\$ 2,175), 2006 (US\$ 1,947), 2007 (US\$ 1,948).

A produção e a comercialização de brita tiveram um aumento de 320,7% e 299,6%, respectivamente, enquanto o produto mineral também teve um aumento expressivo de 268,8%, reflexo também do aquecimento que o setor tem experimentado nos últimos três anos.

A atividade das pedreiras pode ser identificada como uma estrutura industrial, visto que abrange a exploração de diversos recursos minerais, utilizando metodologias distintas de beneficiamento em suas linhas produtivas para obtenção dos agregados, envolvendo também vários efeitos sobre o meio ambiente. Para esse estudo, são abordadas apenas as jazidas de exploração a céu aberto, visto que esse tipo de exploração é o observado para as pedreiras no eixo Goiânia-Brasília (ARAÚJO, 2008).

Em Goiânia, a maioria das pedreiras a lavra de brita é feita a céu aberto, em meia encosta, e as operações se iniciam com a execução do plano de fogo para desmonte primário (perfuração + detonação por explosivos), com altura das encostas variando entre 10 e 20 metros, de modo que no momento do desmonte das bancadas não haja ultralaçamentos de fragmentos de rocha durante a detonação, conforme pode ser observado na Figura 2.3.

A extração da rocha é realizada por meio de detonações, marteletes e outras, dependendo da situação da jazida. Na lavra da rocha, são compatibilizadas as características geomecânicas do elemento a ser lavrado com o processo produtivo, ou seja, as operações de lavra devem atender os critérios de segurança (estabilidade de taludes) e de produção (ARAÚJO, 2008).



Figura 2.3 – Frente de lavra e bancada para detonação

Os agregados artificiais são obtidos pela redução do tamanho de pedras, geralmente por trituração em britadores. O processo necessário para transformar o material de uma determinada jazida em agregado de qualidade satisfatório para o uso na construção civil pode ser simples ou complexo, a depender de uma série de fatores.

A escolha do equipamento e do *layout* das instalações de britagem e peneiramento são elementos de máxima importância para a obtenção do agregado a custos mais reduzidos (SILVA, 2000). Após a detonação, efetua-se o carregamento dos fragmentos rochosos com pás-carregadeiras em caminhões, levando diretamente para a área de britagem conforme pode ser observado na Figura 2.4.



Figura 2.4 – Preparação com pás carregadeiras para carregamento dos blocos.

As operações de beneficiamento são puramente mecânicas e consistem em esmagamento para a diminuição do tamanho e classificação em diferentes granulometrias. Após a britagem e a separação, os produtos são conduzidos para a área de estocagem nos pátios da empresa, conforme Figura 2.5.



Figura 2.5 – Britador com os diferentes materiais já beneficiados

Existem basicamente quatro tipos de britas, com diferentes aplicações. A brita 0 é utilizada na fabricação de asfalto, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral. A brita 1 é o produto mais utilizado pela construção civil, na fabricação de concreto, com diversas aplicações como na construção de pontes, edificações e grandes lajes. As britas 2 e 3 são britas mais resistentes, voltadas para fabricação de concreto, principalmente em formas mais pesadas. Também é comercializado o pó de pedra, muito utilizado no assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, além de fazer parte na composição de concreto asfáltico, substituindo com qualidade a areia de rio, sem danos ao meio ambiente (ARAÚJO, 2008).

No processo de beneficiamento da rocha e britagem do agregado, ocorre a lavagem da brita, gerando o resíduo denominado de fíler. Este resíduo geralmente é disposto em depósitos conforme mostrado na Figura 2.6. Atualmente, o fíler não tem utilização no mercado e fica estocado nos pátios das pedreiras, podendo causar impactos ambientais. De acordo com o levantamento sócio-ambiental levantado por Luz (2008), os principais impactos ambientais são decorrentes do transporte e da manutenção dos depósitos, onde o trabalhador caso não utilize corretamente os equipamentos de proteção individual podem sofrer a exposição de barulho e poeira.



Figura 2.6 – Depósito do fíler (LUZ, 2008)

## CAPÍTULO 3

### PAVIMENTAÇÃO: CONCEITOS, MATERIAIS E AVALIAÇÃO *IN SITU*

Neste capítulo serão abordados alguns conceitos de pavimentação, materiais comumente utilizados e aqueles considerados ambientalmente corretos, bem como procedimentos existentes para a avaliação estrutural de pavimentos. Além disso, são apresentadas as características do trecho experimental executado no município de Goiânia-GO que também foi objeto de estudo neste trabalho.

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE PAVIMENTAÇÃO

De acordo com Bernucci et al. (2006), pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Segundo a norma brasileira de pavimentação NBR – 7207 (ABNT, 1982), o pavimento é uma estrutura construída sobre a terraplanagem que tem por objetivo:

- Resistir os esforços verticais;
- Melhorar condições de rolamento (conforto e segurança);
- Resistir esforços horizontais permitindo uma superfície de rolamento durável.

De acordo com o manual de pavimentação do Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transporte (DNIT, 2006), o pavimento é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito, o qual é designado de subleito.

Os pavimentos são divididos em dois grupos básicos, flexíveis e rígidos, havendo uma terceira classificação denominada de pavimentos mistos ou semi-rígidos. São dimensionados de acordo com as cargas e intensidade de tráfego que deverão suportar, sendo o flexível o de maior aplicação nas vias urbanas e rodoviárias do Brasil através da pavimentação asfáltica (PEREIRA, 2004).

Mais recentemente há uma tendência de usar-se a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland ou simplesmente concreto-cimento (Figura 3.1) e pavimentos

asfálticos (Figura 3.2) para indicar o tipo de revestimento do pavimento (BERNUCCI et al., 2006).

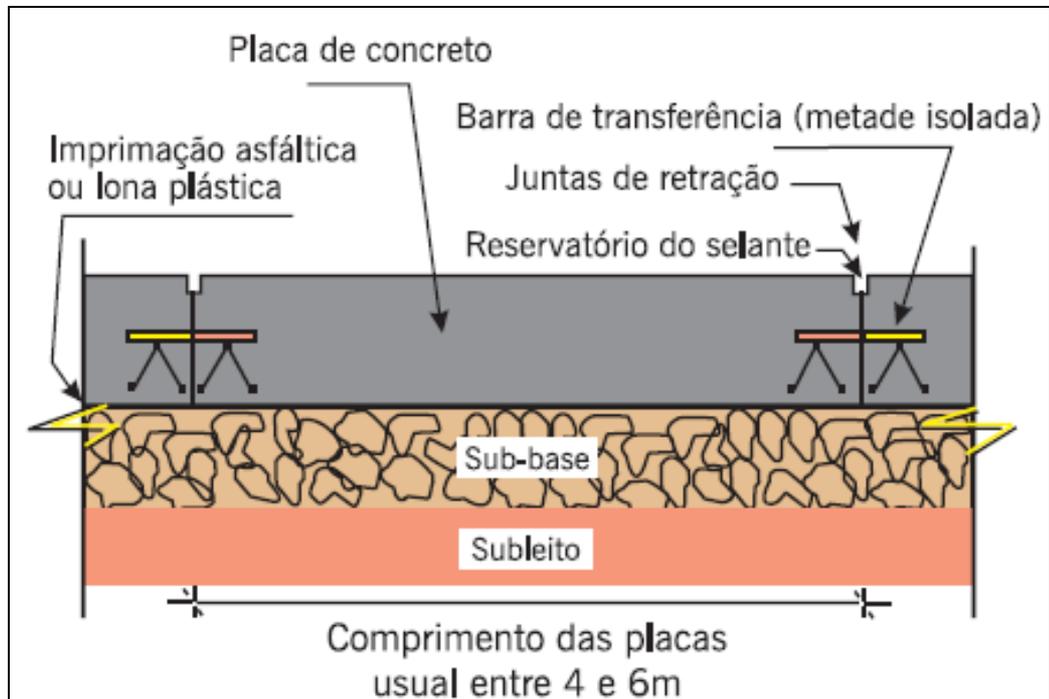


Figura 3.1 – Pavimento de concreto-corte longitudinal (BERNUCCI et al., 2006)

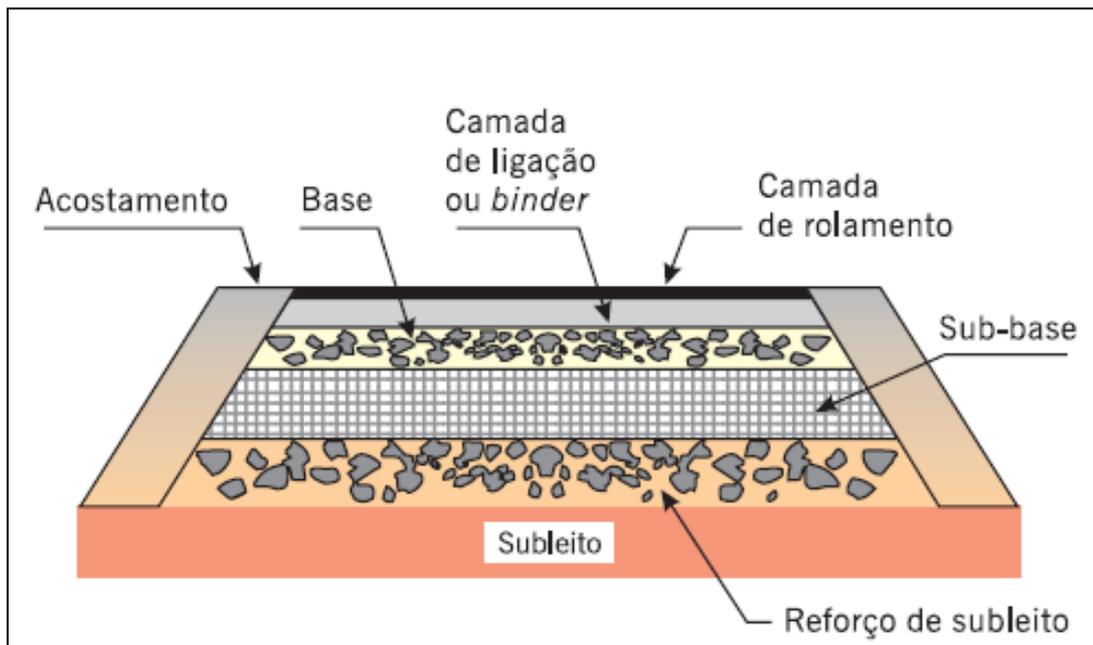


Figura 3.2 – Pavimento asfáltico-corte transversal (BERNUCCI et al., 2006).