

## Preparo de argamassas utilizando a fração fina da britagem de rochas

L.Z.D'Agostino, L.Souares, L.F.D'Agostino

*Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.*

**RESUMO:** Os materiais de granulometria abaixo de 4,8mm avaliados nesta pesquisa são resultantes da britagem de rocha granítica e basáltica de duas pedreiras do Estado de São Paulo. Estas rochas foram escolhidas por serem as duas mais importantes litologias geradoras de brita no Estado. Algumas das características tecnológicas destes materiais foram comparadas com as da areia aluvionar, visando a obtenção de dados que justificassem a utilização destes finos de pedreira quando empregados como agregados miúdos no preparo de argamassas. Estudou-se a granulometria, o arredondamento e a esfericidade dos grãos destes materiais e realizou-se análises mineralógicas das rochas-fonte dos finos. Além disso, determinou-se a resistência à compressão e de aderência à tração, teor de ar incorporado e retenção de água das argamassas preparadas. Foram ainda realizados estudos petrográficos nas argamassas, após 90 dias de cura, para avaliação de seus desempenhos frente às funções que devem exercer. Os resultados quando utilizados finos de rocha granítica foram melhores se comparados aos finos de rocha basáltica e areia aluvionar em vários aspectos estudados. Em relação ao consumo de cimento, a argamassa preparada com finos de rocha granítica consumiu aproximadamente 12% menos cimento em relação aos demais tipos de argamassas estudadas.

### 1 INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo, atualmente o maior centro consumidor de areia para a construção civil no Brasil, consumiu em 2001 cerca de 39 milhões de toneladas (Valverde 2002a), o que correspondeu a 49% da produção de areia do Estado de São Paulo (Valverde 2002b). Deste volume, cerca de 90% provém de jazidas de areia aluvionar, a maioria delas localizada a mais de 100 km de distância do centro consumidor, o que incorpora à esta areia significativos custos de transporte, provocando assim, aumento de seu preço (Soares et al. 1996). Devido ao baixo valor agregado deste bem mineral, há necessidade do local de produção de areia ser próximo do mercado consumidor. Todavia, a ocupação populacional em torno das lavras, as restrições e leis de proteção ambiental e o esgotamento das jazidas provocam o fechamento dos locais de extração próximos dos centros consumidores, fazendo com que novas lavras se instalem a distâncias cada vez maiores dos pontos de consumo (Soares et al. 1997).

A brita, por sua vez, é o segundo agregado mais produzido e consumido na área da construção civil. Em 2001, o Estado de São Paulo produziu 52,7 milhões de toneladas de brita, e a Região

Metropolitana de São Paulo consumiu 51% deste volume, aproximadamente 27 milhões de toneladas (Valverde 2002b). No seu processo de produção, a rocha geradora, depois de lavrada, é beneficiada, quando, então, é submetida a uma sequência de etapas de britagem e classificação. Nestas etapas de britagem é gerada uma fração de material fino, geralmente composta por grãos de diâmetro menor que 4,8 mm. Este material, denominado de finos de pedreira, é estocado em grandes pilhas a céu aberto e como não possui mercado consumidor constante como a brita, estas pilhas ficam sujeitas à ação das intempéries, causando impactos ambientais como assoreamento das drenagens e poluição do ar pela emissão de material particulado provocada pela ação dos ventos, além da poluição visual e da ocupação de áreas úteis da pedreira (Soares et al. 1996).

Assim, o conhecimento tecnológico destes finos para serem empregados como agregados, torna-se fundamental, pois sua granulometria, mineralogia, forma e textura dos grãos são diretamente influenciadas pelo tipo de rocha e pelos diferentes processos de britagem, resultando em considerável influência no desempenho de argamassas e concretos (Gonçalves et al. 2000).

## 2 GEOLOGIA

Foram estudados três tipos de material arenoso. Um deles foi a areia aluvionar da região de Jacaré-SP, que representa as areias Quaternárias da várzea do rio Paraíba do Sul, um dos principais pólos de produção de areia para a construção civil no Estado de São Paulo. As outras areias foram: finos de pedra de rocha granítica da região de Perus-SP, representando as rochas do embasamento cristalino do Estado de São Paulo (granitóides da Fácies Cantareira das Suítes Graníticas Sintectônicas) e finos de pedra de rocha basáltica da região de Campinas-SP, representando as rochas basálticas da Bacia do Paraná (rochas associadas aos derrames basálticos toleíticos da Formação Serra Geral na borda sudeste da Bacia do Paraná) (Figura 1).

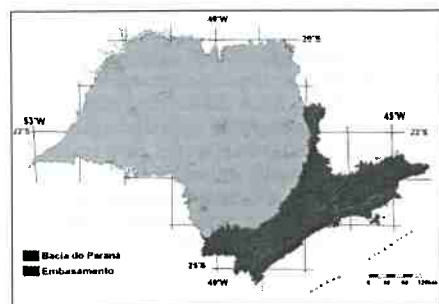


Figura 1. Mapa geológico simplificado do Estado de São Paulo (Modificado de IPT, 1981).

## 3 MÉTODOS E RESULTADOS

Os três tipos de areia foram estudados segundo sua distribuição granulométrica, grau de arredondamento e esfericidade, complementado com determinação mineralógica das rochas-fonte destes finos. As argamassas preparadas com cada tipo de areia tiveram determinadas sua resistência à compressão, resistência de aderência à tração, retenção de água e teor de ar incorporado na massa. Foram realizados ainda, estudos petrográficos das argamassas após transcorridos 90 dias de cura.

### 3.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada em conformidade com a norma NBR-7217 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT 1987). A areia aluvionar, segundo seu módulo de finura (2,3), foi classificada como areia fina a média, e sua curva granulométrica (Figura 1) não indicou uma boa distribuição, com crescimento abrupto nas peneiras de malhas 0,6 mm, 0,3 mm e

0,15 mm. Constatou-se a presença de 1,5% de microfios (grãos menores que 0,074 mm) em sua composição.

Os finos de pedra de rocha granítica apresentaram módulo de finura (2,7) e foram classificados como areia média a grossa e sua curva granulométrica (Figura 2), com comportamento praticamente linear, indicou boa distribuição. Esta areia apresentou 3,8% de microfios em sua composição.

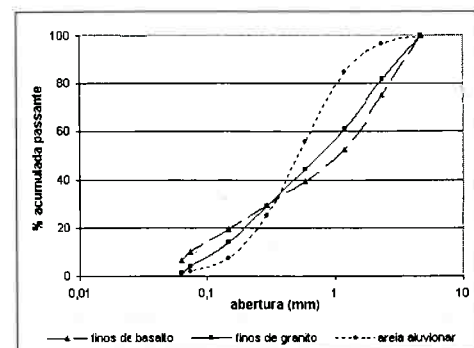


Figura 2. Distribuição granulométrica dos três tipos de areia estudados.

Os finos de pedra basálticos, com módulo de finura (2,8), foram classificados como areia média a grossa. Sua curva granulométrica (Figura 1) mostrou crescimento praticamente linear, indicando boa distribuição, com pequena curvatura entre as aberturas 1,2 mm e 0,6 mm. Sua composição granulométrica mostra 10% de microfios.

### 3.2 Arredondamento e esfericidade dos grãos

O arredondamento é um fator de forma dos grãos onde um círculo perfeito tem arredondamento igual a 1 e qualquer outro número maior que 1 significa baixo arredondamento, ou seja, superfície rugosa.

Os grãos das frações - 1,2 + 0,6 mm, - 2,4 + 1,2 mm e - 4,8 + 2,4 mm de cada tipo de areia foram estudados através do método da análise de imagens, utilizando-se o programa Qwin (Leica), para determinação dos graus de arredondamento e de esfericidade. O arredondamento é expresso segundo a fórmula:

$$\text{Arredondamento} = \frac{\text{Perímetro} \times \text{Perímetro}}{4 \times \pi \times \text{Área} \times 1,064} \quad (1)$$

onde o fator de ajuste, 1,064, corrige o perímetro com relação à deformação dos cantos decorrente da digitalização da imagem (Leica 1996).

A esfericidade, também formulada como relação de aspecto é outro parâmetro adimensional e foi calculada aplicando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Relação de aspecto} = \frac{L}{B} \quad (2)$$

onde: L é o comprimento (length) do grão; B é a largura (breadth) do grão (Leica 1996).

Quanto maior for esta relação, mais alongado será o grão. Assim, pode-se relacionar este parâmetro com a esfericidade. Relações de aspecto com valores próximos de 1 representam grãos de alta esfericidade (forma do grão próxima de uma esfera); já valores maiores que 1 representam grãos de baixa esfericidade (forma do grão alongada). Deve-se ressaltar que a relação de aspecto e o arredondamento são parâmetros calculados a partir de imagens 2D (bidimensionais) e por isso, a relação entre o comprimento e a largura é denominada relação de aspecto e não esfericidade, já que para avaliação desta última, o grão deveria ser avaliado tridimensionalmente.

Para a areia aluvionar, as três frações granulométricas analisadas mostraram que 95% dos grãos possuem arredondamento menor que 1,5 indicando grãos arredondados (Figura 3). Cerca de 95% dos grãos das três frações mostraram valores de esfericidade menores que 2 indicando grãos esféricos com o comprimento do grão não alcançando o dobro da largura (Figura 4). Somente cerca de 5% dos grãos da fração mais grossa podem ser considerados grãos pouco angulosos.

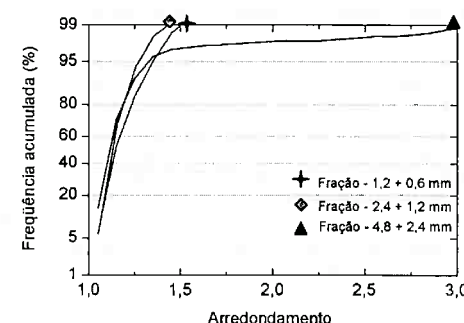


Figura 3. Distribuição do arredondamento da areia aluvionar.

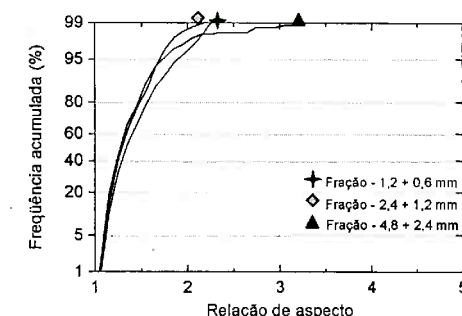


Figura 4. Distribuição da relação de aspecto (esfericidade) da areia aluvionar.

Para o arredondamento dos finos de pedra de rocha granítica 95% dos grãos das frações fina e média mostraram valores menores que 1,5 e 95% da fração grossa mostraram valores menores que 2 indicando que a maioria dos grãos das três frações é arredondada (Figura 5). Somente 5% dos grãos da fração grossa podem ser considerados pouco angulosos. No caso da esfericidade, a maioria dos grãos é esférica, 95% com esfericidade menor que 2. Deve-se ressaltar que cerca de 10% dos grãos da fração grossa e cerca de 5% das outras frações mostraram relação de aspecto maior que 2, indicando grãos alongados (Figura 6).

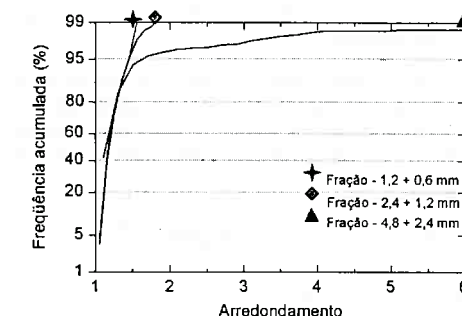


Figura 5. Distribuição do arredondamento dos finos de pedra granítica.

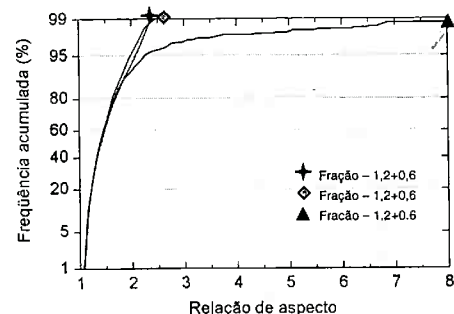


Figura 6. Distribuição da relação de aspecto (esfericidade) dos finos de pedra graníticos.

As três frações dos finos de pedra de rocha basáltica apresentaram grãos arredondados com somente 5% mostrando valores maiores que 1,5 (Figura 7).

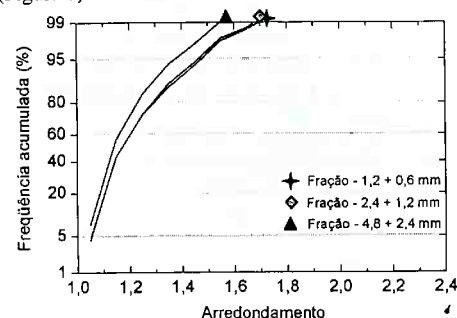


Figura 7. Distribuição da relação de aspecto dos finos de pedra basálticos.

Para a esfericidade, as três frações também apresentaram grãos esféricos. Aproximadamente 15% dos grãos da fração fina, 12% da fração média e 6% da grossa mostraram grãos mais alongados (Figura 8).

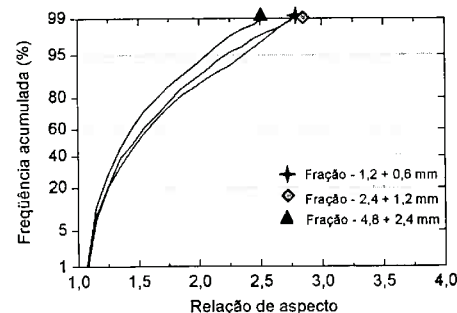


Figura 8. Distribuição da relação de aspecto (esfericidade) dos finos de pedra basálticos.

### 3.3 Determinação da resistência de aderência à tração

Estes ensaios foram executados segundo a norma NBR-13528 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT 1995a). As argamassas foram aplicadas sobre o chapisco em alvenaria, permanecendo ao ar livre durante 28 dias para a realização do ensaio.

A norma brasileira NBR-13749 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação (ABNT 1996) prevê, para diferentes tipos de acabamento, valores de resistência de aderência à tração iguais ou superiores a 0,2 MPa. Outra referência para valores de resistência de aderência são os dados técnicos das argamassas de assentamento produzidas pelas empresas que atuam neste setor onde as argamassas industrializadas de múltiplo uso apresentam resistência de aderência entre 0,3 e 0,5 MPa.

A argamassa preparada com finos de granito apresentou 0,3 MPa de resistência de aderência à tração, a preparada com finos de basalto apresentou 0,2 MPa e a preparada com areia aluvionar, 0,2 MPa. Mesmo com pequenas diferenças, os três tipos de argamassa apresentaram resultados de aderência satisfatórios, dentro dos critérios ditados pela norma NBR-13749 anteriormente referida, e comparados às argamassas industrializadas de múltiplo uso.

### 3.4 Determinação da resistência à compressão

Este ensaio foi executado conforme a norma técnica brasileira NBR-13279 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão (ABNT 1995b). A argamassa preparada com finos de basalto mostrou os maiores valores de resistência, enquanto que a preparada com areia aluvionar mostrou os menores. As argamassas preparadas com finos de pedra de rochas graníticas mostraram valores intermediários de resistência a compressão simples (Figura 9). Mesmo com os maiores valores de resistência à compressão simples, a argamassa elaborada com finos de basalto obteve ganho de 50% de resistência dos 7 aos 28 dias. Para este período, a argamassa com finos de granito obteve um ganho de resistência de 52% e a areia aluvionar, um ganho de 57%.

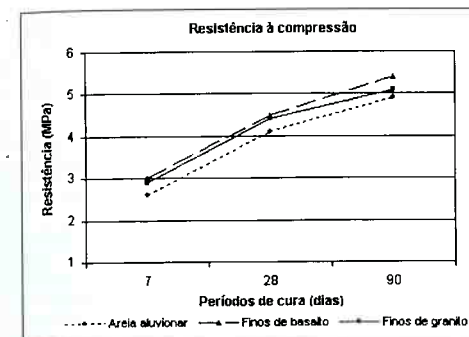


Figura 9. Resistências à compressão simples das argamassas estudadas.

### 3.5 Determinação da retenção de água e do teor de ar incorporado

O ensaio para determinação da retenção de água foi regido pela norma NBR-13277 – Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água (ABNT 1995c) e para determinação do teor de ar incorporado seguiu-se a norma NBR-13278 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado (ABNT 1995d). Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Retenção de água e teor de ar incorporado pelas argamassas estudadas.

	ARGAMASSA PREPARADA COM		
	FINOS DE GRANITO	FINOS DE BASALTO	AREIA ALUVIONAR
TRAÇO EM VOLUME	1:1,7:6,4	1:1,7:5,7	1:1,7:5,6
RETENÇÃO DE ÁGUA (%)	94,3	92,3	94,4
TEOR DE AR INCORPORADO (%)	6,5	6,8	10,3

Segundo a norma NBR-13281 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos (ABNT 2001), as três argamassas mostraram valores de retenção de água maiores que 90%, sendo, portanto, identificadas como argamassas de alta retenção. Por outro lado, as argamassas preparadas com finos de pedra mostraram teores de ar incorporado menores que 8%, e foram identificadas como argamassas tipo "a". A areia aluvionar mostrou valores entre 8 e 18%, foi identificada, segundo a Norma citada como argamassa do tipo "b".

### 3.6 Microscopia dos corpos de prova das argamassas

Os objetivos da avaliação microscópica foram: avaliar o grau de envolvimento do grão pela massa de cimento e constatar presença de vazios na argamassa, o que poderia prejudicar seu desempenho tecnológico, principalmente quanto a resistência e capacidade de aderência.

Para esta análise foram preparadas lâminas delgadas com impregnação à vácuo e corante, dos corpos de prova das argamassas que permaneceram 90 dias sob atmosfera controlada.

A argamassa preparada com areia aluvionar apresentou grande quantidade de vazios, se comparada às outras duas argamassas, inclusive vazios de interface bastante evidentes ao redor de torrões de argila, ocorrendo também, de forma menos proeminente, ao redor de outros grãos. A argamassa preparada com finos de granito mostrou quantidade de vazios bastante inferior à argamassa com areia aluvionar. Alguns vazios de interface foram identificados contornando partes de alguns grãos, nunca os rodeando por completo. Na argamassa preparada com finos de basalto nenhum vazio foi identificado.

## 4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos concluiu-se que os três tipos de areia estudados podem ser utilizados no preparo de argamassas de assentamento. Ressalta-se que as argamassas preparadas com os dois tipos de finos de pedra apresentaram algumas características aprimoradas quando comparadas às daquelas preparada com areia aluvionar. Estas características foram: maior resistência à compressão, menor teor de ar incorporado e menor quantidade de vazios. Além disso, a argamassa preparada com finos de granito se destacou ao mostrar uma economia de aproximadamente 12% de cimento em relação à argamassa preparada com areia aluvionar.

Assim, nas áreas do Estado de São Paulo onde afloram rochas do embasamento cristalino e basaltos podem ser empregados os finos de pedra originados da produção de brita no preparo de argamassas de assentamento. O uso alternativo deste material como agregado miúdo poderá diminuir o custo da argamassa possibilitando sua utilização pela população mais carente e contribuir para reduzir ou até esgotar as grandes pilhas de estoque deste material presente nos pátios das pedreiras, diminuindo os impactos ambientais causados por elas e proporcionando novo mercado para os produtores de agregado.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1987. *Agregados – Determinação da composição granulométrica – NBR 7217*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1995a. *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – NBR 13528*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1995b. *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão – NBR 13279*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1995c. *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água – NBR 13277*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1995d. *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado – NBR 13278*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2001. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos – NBR 13281*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1996. *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação – NBR-13749*. Rio de Janeiro.
- Gonçalves, M.; Arthuso, V.; Deguti, R.; Ohashi, T. 2000. *Produção de areia de brita com qualidade*. Areia & Brita, São Paulo, n.10, p.20-25.
- Leica QWIN. 1996. *User guide & Reference guide*. Leica Imaging Systems Ltd. Cambridge.
- Soares, L.; Fujimura, F.; Hennies, W.T.; Silva, M.A.R. 1996. Change of natural sands by fine crushing material of granitic and gneissic rock quarries. In: *International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, 5., Balkema, Rotterdam, Anais, p.701-706.
- Soares, L.; Fujimura, F.; Blasques Júnior, M.; Rachel, R.M.; BRAGA, J.M.S. 1997. Areias naturais: material de construção cada vez mais escasso na Região Metropolitana da Grande São Paulo. In: *Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais*, 2., São Paulo, 1997. Anais. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e de Materiais, p.54.
- Valverde, F.M. 2002a. *Agregados para construção civil*. Sumário Mineral 2002. Departamento Nacional da Produção Mineral. Disponível em: <www.dnpm.gov.br>.. Acesso em: abr. 2003.
- Valverde, F.M. 2002b. *Produção e consumo de agregados para a construção civil no Brasil*. São Paulo. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil, 02 Out. 2002. /Depoimento/

## Contribuição ao projeto de implantação de central de processamento de matérias-primas minerais no município de Itapeva/SP

F.A.Mendes & J.R.B.Lima

Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

**RESUMO:** Este trabalho busca trazer uma contribuição para a implantação de uma central de processamento de matérias-primas minerais, no município de Itapeva SP. Através de estudos da geologia, propriedades física e química dos potenciais produtos minerais da região, cotejados em relação aos fatores físicos, técnicos, métodos operacionais, escolha de possível fluxograma de processo e seleção de equipamentos, análise de mercado e, também, possibilidades de financiamento, avaliação de custos e avaliação econômica, através de simulação de diferentes condições de mercado demonstraram a viabilidade técnica e econômica para a implantação da referida Central.

### 1 INTRODUÇÃO

A região de Itapeva, SP, é uma região muito privilegiada em termos minerais, seja pela presença de diversos bens minerais em acumulações economicamente aproveitáveis, seja pela excelente localização geográfica, perto de grandes mercados consumidores. Diversos empreendimentos mineiros estão instalados e produzindo na nesta região, porém, na sua maioria, operam em condições rústicas e comercializam matérias primas minerais com pouco ou nenhum beneficiamento, deixando de incorporar maior valor pela não agregação de maior trabalho nestas.

Parte disto decorre da falta de capital destas pequenas empresas para investir em tecnologia e desenvolvimento de produtos mais elaborados para o mercado. A falta de capital e de tecnologia também impedem que estas empresas atendam a mercados mais exigentes, que demandam matérias primas minerais mais elaboradas e com maior garantia de qualidade e homogeneidade.

A implantação de uma central de processamento de matérias primas minerais poderia resolver boa partes destes problemas, pois agregaria valor aos diversos produtos da região, diluindo os custos

iniciais da implantação deste empreendimento pelos diversos bens minerais a serem produzidos pela central.

Este trabalho, parte de uma dissertação de mestrado ainda inédita, abordará inicialmente aspectos referentes às características naturais do município de Itapeva e micro-região, sua geologia e potencial mineral.

Em seguida abordará as características físicas dos minerais após o beneficiamento, objetivando sua comercialização pela central, sua viabilidade técnica e econômica e possibilidade de emprego industrial, bem como as quantificações factíveis de serem, em princípio, processadas.

No terceiro momento avalia-se quantificando-se: custos, métodos de financiamento, investimentos e faturamento através de preço e quantificação de matéria-prima a ser vendida, o fluxo de caixa e, com ferramentas da matemática financeira e métodos de avaliação.

Usando-se técnicas de simulação da viabilidade econômica, através de análise de sensibilidade aplicando o método da TIR (taxa interna de retorno) e o VA (valor atual) com a elaboração de um fluxo de caixa simulado, verifica-se a sua viabilidade.