

# Parte 1: Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Material de Infra-Estrutura para Pavimentação e Agregado em Misturas Asfálticas

Raquel Luísa Pereira<sup>1</sup>, Cláudia Elisa Hinsching Pirath<sup>2</sup>, Carlos Jorge da Cunha<sup>3</sup>, Djalma Pereira<sup>4</sup>  
<sup>1,3,4</sup> Universidade Federal do Paraná - UFPR

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

**RESUMO:** A possibilidade do reaproveitamento do resíduo areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas pode contribuir tanto para reduzir o volume de material descartado quanto para atender à grande demanda regional de pavimentação de ruas e estradas. Neste estudo será analisada a viabilidade técnica do uso do resíduo areia verde de fundição como agregado de pavimentação em base, sub-base e sub-leito. O uso de resíduos sólidos como materiais alternativos de construção civil é uma solução ambientalmente correta e pode reduzir os custos de construção. Para tal os materiais alternativos deverão apresentar características compatíveis com as dos materiais tradicionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Areia de Fundição, Construção Civil, Reciclagem, Resíduo, Asfalto.

## 1. INTRODUÇÃO

Vários resíduos industriais já são usados em materiais para construção civil e vários outros têm tido a sua viabilidade analisada. A reutilização do resíduo de areia de fundição como agregado em pavimentação é atraente dos pontos de vista econômico e da proteção ao meio ambiente e explica investimentos em estudos sobre possíveis alterações de processos e substituições de matérias primas. Alguns estudos preliminares sobre o uso de areia verde de fundição como agregado de asfalto já foram feitos no Brasil [BONET, 2002 e BINA et al, 2000] e nos EUA [MILLER et al, 1998] com resultados estimulantes.

As areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. Somente no Brasil são gerados cerca de 1 milhão de toneladas por ano. A maior parte destes resíduos é disposta em aterros com custos para os geradores e impactos para o meio ambiente.

O resíduo areia verde de fundição é formado por sílica ( $\text{SiO}_2$ ), bentonita, carvão e alguns metais de fundição.

Os ensaios realizados nos laboratórios de solos têm por objetivo estudar materiais que poderão vir a compor algumas das camadas do pavimento (subleito, sub-base,

base). Estes estudos compreendem ensaios de caracterização de solos (limites de consistência, composição granulométrica), e ensaios de resistência (Índice de Suporte Califórnia, Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento, entre outros).

Essa primeira parte do trabalho objetiva o estudo da utilização do resíduo Areia Verde de Fundição como alternativa de base, sub-base e reforço de sub-leito, para que possa assim contribuir no reaproveitamento de rejeitos industriais com interferência significativa na redução de impactos ambientais.

O resíduo areia verde de fundição será denominado matéria-prima alternativa nesse trabalho.

### 1.1 Revisão de Literatura

#### 1.1.1 Areia de Fundição

A areia verde de fundição é uma mistura de vários elementos que se combinam dando características de perfeita trabalhabilidade da mistura que compõe a caixa de moldagem.

Maleabilidade, compatibilidade, refratariedade, coesão, resistência a esforços mecânicos como compressão e tração, expansividade volumétrica, permeabilidade e

perfeita desmoldagem são algumas características que a areia adquire devido sua mistura [BONIN, 1995].

A areia verde de fundição é constituída basicamente por: areia, pó de carvão, bentonita e água.

O principal componente da areia verde utilizada nas fundições é um agregado fino, mineralogicamente puro, denominado “areia base”. A areia base é constituída essencialmente de sílica (óxido de silício –  $\text{SiO}_2$ ).

A bentonita é um silicato de alumina hidratado (contém em sua composição silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio). É formada por lamelas, sendo classificada pela espessura das mesmas.

De um modo geral, o pó de carvão é formado por matéria volátil, carbono fixo, cinzas, água e enxofre.

A característica principal da água na mistura da areia de moldagem é tornar possível a propriedade coesiva dos elementos da mistura através do aumento da umidade [DUARTE, 1996].

#### 1.1.2. Materiais para Infra-Estrutura na Pavimentação

A infra-estrutura (terreno de fundação) das rodovias é construída, na sua grande maioria com materiais naturais (solos e rochas).

Os materiais aqui utilizados são classificados em termos granulométricos em pedregulhos, areias, siltes e argilas (argilo-minerais) [ZINGANO, 2004].

A composição química dos principais minerais componentes dos solos grossos (pedregulhos, areias e siltes) são agrupados em silicatos (feldspato, mica, quartzo, serpentino, clorita, talco), óxidos (hematita, magnetita, limonita), carbonatos (calcita, dolomita) e sulfatos (gesso, anidrita) [SALES et al, 2003].

Para este estudo serão considerados materiais típicos da região de Joinville. O solo típico de sub-leito (argiloso), foi extraído de uma profundidade de 0,5 a 1,5 m, pertencente à Região Norte de Joinville.

A bica corrida, ou brita graduada, utilizada como material de base, é um conjunto de pedra britada, pedrisco e pó-de-pedra, sem granulometria definida, obtido diretamente do britador, sem separação por peneiramento. Sua extração vem através da britagem de rochas gnáissicas, basálticas, calcáreas, dependendo da geologia local. Britas graduadas têm granulometrias muito bem definidas nas especificações, e são preparadas com muito controle em usinas, ao contrário de bicas corridas.

Como material de sub-base é utilizado a pilha pulmão denominada comercialmente como rachão; provém do cascalho, que é extraído dos leitos dos rios ou da planície de inundação do rio Cubatão e afluentes, sendo transportado até a usina de britagem, onde é devidamente fragmentado em diversas faixas granulométricas definidas. Como “rachão” é encontrada a faixa granulométrica abaixo de 17,78 cm.

Os cascalhos de maiores dimensões ou “in natura” são, geralmente empregados na pavimentação, sendo geologicamente composto por cascalhos de diversas litologias (granito, gabro, gnaiss, riolito, diabásio, entre outros), de forma subarredondada e diâmetro variando, em média, 15 cm. Os seixos encontram-se dispersos em uma matriz arenosa de granulometria média a grosseira polimítica, coloração acinzentada a amarelada.

#### 1.1.3. Os solos de Joinville

De acordo com o estudo realizado por FRANÇA [2002] os tipos de solos de Joinville, conforme levantamentos geotécnicos, são predominantemente Cambissolos sedimentos quaternários (Csq) e Cambissolos substrato Granulito (Cgl); ou seja solos que apresentam horizonte B incipiente imediatamente abaixo do horizonte A, ou de horizonte hístico com espessura inferior a 40 cm [EMBRAPA, 1998]. Outras classificações são em menores proporções encontradas: Litólico (Rg); Litólico substrato Granulito (Rgl); Podzólico Vermelho-Amarelo substrato Granulito (PVgl); Cambissolo substrato depósito de encosta

(Cde); Podzol hidromórfico sedimentos quaternários (HPsq); Glei sedimentos quaternários (Gsq), solos orgânicos sedimentos quaternários (Hosq) e solos de

mangue com sedimentos quaternários (SMSq). Essa classificação de solos pode ser melhor visualizada na Figura 1.

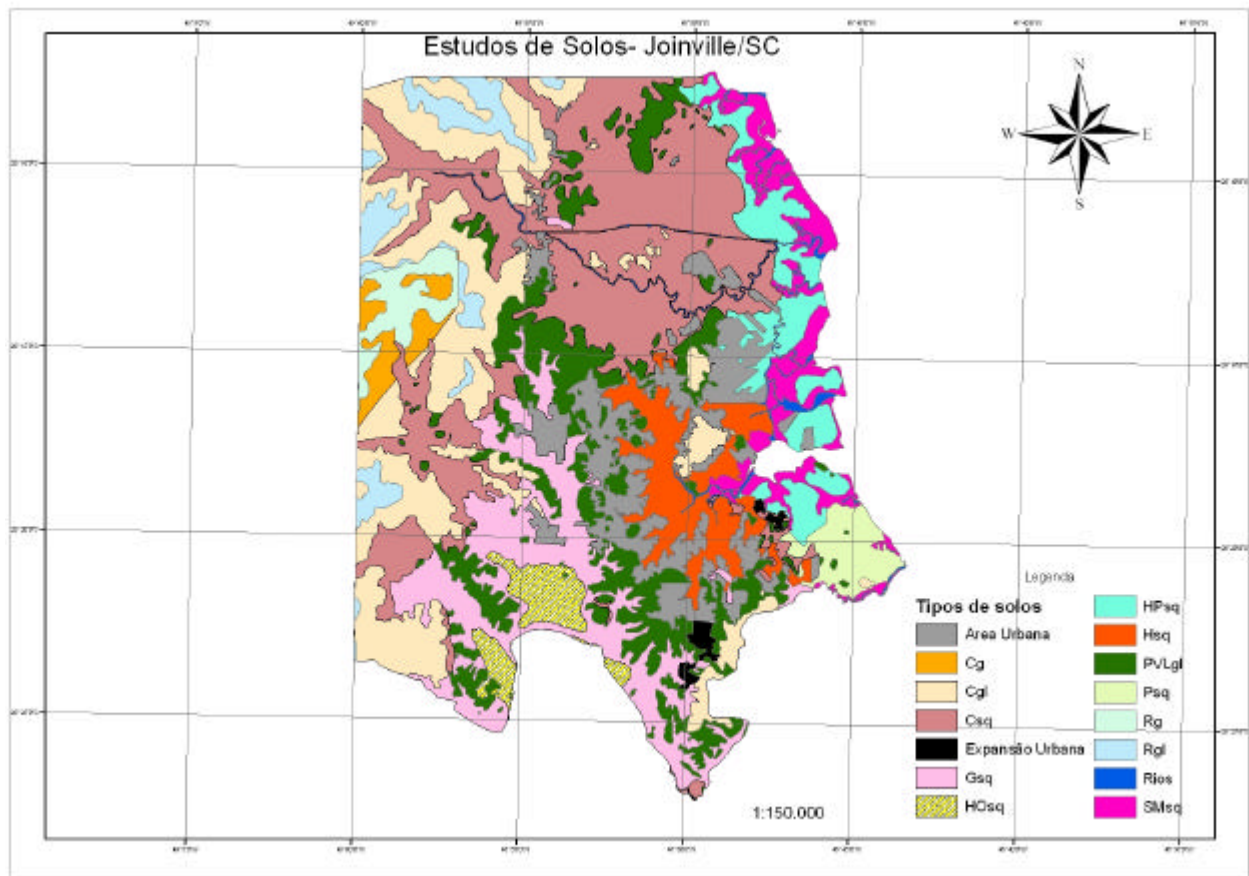


Figura 1. Mapa Geotécnico de Joinville [FRANÇA, 2002].

Toda a região pertence ao Complexo Granulítico de Santa Catarina [HARTMANN et al,1979], formada por gnaisses granulíticos ortoderivados, de composição cálcio-alcálica geralmente básica, com porções restritas de formações ferríferas, paragnaisses e gnaisses migmatíticos; e quartzitos com formações ferríferas subordinadas [ATLAS AMBIENTAL DE JOINVILLE, 2002].

Com relação às propriedades químicas, os solos de Joinville são fortemente ácidos, com baixos teores de bases trocáveis e elevados teores de alumínio trocável, ou seja, quantidade de alumínio que poderá entrar em contato com as raízes das plantas [EMBRAPA, 1998]. Quanto mais ácido é o solo, maior é o teor de alumínio passível de causar dano às plantas.

## 2. DESCRIÇÃO GERAL E MÉTODOS INVESTIGATIVOS

### 2.1. Material

a) Os materiais utilizados foram: Bica corrida (ou brita graduada) que é empregada como base, Pilha Pulmão (ou rachão) que é utilizada como sub-base e material natural, argila, que é utilizada como sub-leito. Os materiais de base (bica corrida) e sub-base (rachão) foram coletados em Pirabeiraba . O material de sub-leito foi coletado na Estrada da Ilha, sendo que esses bairros pertencem à região Norte de Joinville.

b) Matéria-prima alternativa: Este resíduo é gerado no processo de moldagem de fundição, sendo que a empresa fornecedora deste, localiza-se em Joinville. Na figura 2 pode-se visualizar os materiais usados nesse estudo.



Figura 2. Materiais utilizados no estudo.

## 2.2. Métodos

### a) Coleta das Amostras de Solos

Os solos utilizados neste estudo foram doados pelo DMER, os quais estavam devidamente ensacados e foram enviados para a Universidade do Estado de Santa Catarina. Posteriormente determinou-se a umidade natural e, então foram armazenadas em temperatura ambiente.

Foram coletadas amostras da matéria-prima alternativa em determinados pontos de geração conforme NBR 10.007 e enviadas para análises no Laboratório de Pavimentação da UDESC, localizado em Joinville - SC.

### b) Ensaio Geotécnicos de Laboratório

Os ensaios realizados nas amostras de solos e matéria-prima alternativa obedeceram à seguinte programação: Análise granulométrica (Método NBR 7181/84); Compactação (Método NBR 7182/86); Índice de Suporte Califórnia (Método DNER-ME 049/94); Permeabilidade a carga variável/carga constante (Método NBR 14545/00 e Método NBR 13292/95); e Triaxial adensado drenado (CD). Estes ensaios foram realizados em quadruplicata.

### c) Caracterização Química dos Solos

Foi realizada análise de varredura química na matéria-prima alternativa como também nos solos. Foram realizadas três análises de fluorescência de raios-X (FRX) da

matéria-prima alternativa, sendo que uma amostra não foi moída. A “varredura química” foi executada a partir de pastilha prensada e analisada através do método de fluorescência de raios-x. em equipamento da PHILIPS, Modelo PW 2400. O método de varredura química consiste de análise semiquantitativa por meio do “software” Semi-Q da PHILIPS. Os resultados são normalizados para 100%. Para esta análise foram feitas uma varredura química a partir da amostra moída e confecção de pastilha prensada, sendo que foram realizadas no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas – LAMIR, localizado em Curitiba – PR.

Realizou-se análise de raio-X dos quatro materiais estudados. O equipamento utilizado foi XRD-6000 Difratômetro Raio-X XRD-6000 Shimadzu. As análises de raio-x foram realizadas com amostras secas na umidade higroscópica. Essas amostras foram moídas com almofariz e mão-de-gral de ágata, para que não houvesse contaminação do material. Após serem moídas passou-se na peneira com diâmetro médio de 0,075 mm. Esta análise teve o auxílio do Professor Fernando Wypych do Depto de Química da UFPR.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

#### 3.1. Ensaio Geotécnicos de Laboratório

Os ensaios de caracterização física abrangeram os ensaios pertinentes à sua classificação dentro das normas brasileiras,

Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e Highway Research Board (HRB). A Tabela 1 indica os parâmetros físicos dos constituintes da infra-estrutura de pavimentos em Joinville, bem como da matéria-prima alternativa.

Tabela 1. Parâmetros físicos dos materiais analisados.

Material	G <sub>s</sub>	K (cm/s)	Composição Granulométrica (%) – ABNT						Limites Atterberg (%)			SUCS	HRB
			Arg.	Silte	Areia			Pedreg.	LL	LP	IP		
					fina	média	grossa						
Argila	2,58	3x 10 <sup>-6</sup>	37	15	43	5	-	-	65,2	38,2	27	CH	A 7-5
Matéria-alternativa	2,54	10 <sup>-7</sup>	0,5	-	1	98,5	-	-	19	-	-	SP	A3

Onde: G = massa específica dos grãos; K = coeficiente de permeabilidade; LL = limite de liquidez; LP = limite de plasticidade; IP = índice de plasticidade; CH = solo argiloso de alta compressibilidade; SP = solo arenoso mal graduado

Os ensaios de compactação (três energias), expansibilidade e Índice de Suporte Califórnia (ISC), utilizando amostras não trabalhadas, atenderam as exigências normativas, visando a sensibilidade de resistência à penetração caso o material alternativo seja considerado como base, sub-base e até comparativo com o sub-leito local.

Os resultados desse estudo estão indicados na Tabela 2.

Os ensaios de expansibilidade e Índice de Suporte Califórnia (ISC) atenderam as exigências normativas, visando a sensibilidade de resistência à penetração caso o material alternativo seja considerado como base, sub-base e até comparativo com o sub-leito local.

Tabela 2. Comparativo entre índices físicos de compactação, expansão e ISC entre matéria-prima alternativa e solo natural (argila).

Material	Energia de compactação	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	h <sub>ót</sub> (%)	Expansão (%)	I.S.C. (%)
Matéria-Prima Alternativa	Normal	1,78	9,8	0,4	30
	Intermediária	1,91	9,1	0,3	38
	Modificada	2,12	7,4	0,1	45
Solo natural (argila)	Normal	1,41	29,6	0,4	4,5

Onde γ<sub>d</sub> = massa específica do solo seco; h<sub>ót</sub> = teor de umidade ótimo de compactação; I.S.C. = Índice de Suporte Califórnia.

Os ensaios triaxiais convencionais, tipo CD, foram executados sob a condição de drenagem completa e monitorada através da aferição da poro-pressão no corpo-de-prova durante o ensaio. As tensões de confinamento adotadas foram de 50, 100, 200 e 400 kPa. O equipamento agrupava dois transdutores de pressão, para medição da poro-pressão e da

pressão de confinamento, e célula de carga para medição da carga axial. O acompanhamento do desenvolvimento das deformações axiais foi feito por meio de um transdutor externo (LVDT). As variações volumétricas foram medidas através de um transdutor conectado à linha de drenagem do corpo-de-prova.

O ensaio de deformação controlada foi executado em 4 amostras de matéria-prima alternativa e 4 de solo natural (argiloso). As amostras cilíndricas tinham como dimensões médias, diâmetro interno de 49,5 mm e altura de 99,5 mm. Com uma taxa de deformação de 0,041 mm/min, as amostras compactadas na

umidade ótima, em cilindros Proctor grande, com energia normal de compactação; foram cuidadosamente extraídas dos cilindros, saturadas, e conduzidas ao ensaio, em condições drenantes. Os parâmetros de resistência são indicados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento.

Material	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
Solo natural (argila)	78	28
Matéria-prima alternativa	1,64	36

Onde  $c'$  = coesão efetiva;  $\phi'$  (°) – ângulo de atrito interno efetivo.

### 3.2. Caracterização Química dos Solos

Na tabela 4 tem-se o resultado da análise química por FRX das amostras de matéria-prima alternativa. Analisando os resultados constata-se que a amostra “não moída” apresenta maior quantidade de magnésio, alumínio, cálcio e ferro em relação às amostras moídas. Isto pode ser justificado pela camada de bentonita que recobre o grão de areia ser formada pelos seguintes elementos: silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio, sódio. Porém quando as amostras foram moídas, o silício ( $\text{SiO}_2$ ) apareceu em maior quantidade, pois a camada de bentonita foi desagregada da areia base expondo a areia base aos raios-X.

A análise da morfologia da matéria-prima alternativa foi realizada utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura. Na figura 3 está representada a morfologia da matéria-prima alternativa (areia verde de fundição) onde se observa a bentonita que recobre o grão de areia.

Na tabela 5 estão os resultados da caracterização química dos solos. Pode-se observar altas concentrações dos seguintes

elementos: alumínio, silício, ferro e cálcio, elementos presentes na grande maioria dos solos utilizados em pavimentação. A matéria-prima alternativa (não moída) apresentou certa concentração de alumínio, porém vale ressaltar que o alumínio também está presente na composição dos solos estudados nesse trabalho. Sugere-se estudos de lixiviação e solubilização desse material.

A atribuição dos difratogramas foi feita por comparação com os do banco de dados de minerais do Mincryst [referência]. Os ângulos citados nesta seção referem-se aos valores de  $2\theta$  relativos à difração com a radiação Cu-K alfa. Os difratogramas das quatro amostras analisadas podem ser vistos na Figura 4. Todos os difratogramas são dominados por picos da fase quartzo alfa indicados por Q nos difratogramas. A cristalinidade do quartzo é muito grande o que gera picos finos e altos. As argilas com baixa cristalinidade tendem a apresentar picos mais largos e baixos. Na amostra de areia de fundição apenas a fase quartzo alfa pode ser detectada. O pico A é característico de esmectitas, os picos C e D de caulins e o pico F de micas. Os picos B, G, E e H ainda não foram atribuídos.

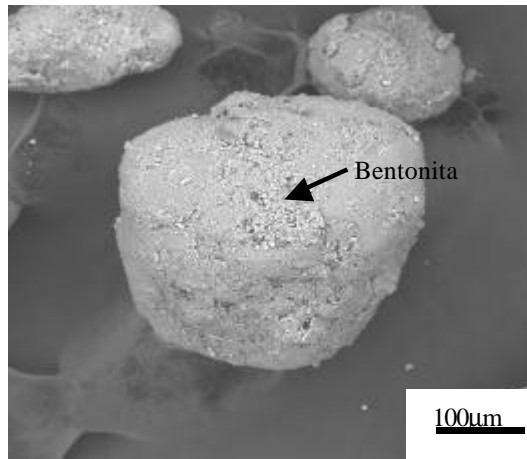


Figura 3. Morfologia da Matéria-prima Alternativa (resíduo) mostrando a bentonita que recobre o grânulo.

Tabela 4. Resultados da Varredura Química da Matéria-prima Alternativa.

MATÉRIA ALTERNATIVA 1		MATÉRIA ALTERNATIVA 2		MATÉRIA ALTERNATIVA 3 amostra não moída	
Na <sub>2</sub> O	0,366	Na <sub>2</sub> O	0,28	Na <sub>2</sub> O	0,25
MgO	0,365	MgO	0,22	MgO	1,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,62
SiO <sub>2</sub>	94,12	SiO <sub>2</sub>	93,89	SiO <sub>2</sub>	68,09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,037	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,24
SO <sub>3</sub>	0,045	SO <sub>3</sub>	0,09	SO <sub>3</sub>	0,35
K <sub>2</sub> O	0,531	K <sub>2</sub> O	0,41	K <sub>2</sub> O	0,41
CaO	0,196	CaO	0,12	CaO	2,59
TiO <sub>2</sub>	0,219	TiO <sub>2</sub>	0,17	TiO <sub>2</sub>	1,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,805	Cr	0,14	Cr	0,05
Sr	0,004	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,25	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,75
Zr	0,108	As	0,01	Sr	0,02
Ba	0,037	Sr	0	Zr	0,07
		Zr	0,01	Sb	0,10
		Mo	0,01		
		Ba	0,03		
		Pb	0,03		

Tabela 5. Resultados da Varredura Química dos Materiais Utilizados em Base, Sub-base e Sub-leito.

BICA CORRIDA - BASE		RACHAO - SUB-BASE		ARGILA - SUB-LEITO	
Na <sub>2</sub> O	2,74	Na <sub>2</sub> O	2,7	Na <sub>2</sub> O	0,26
MgO	4,14	MgO	2,58	MgO	0,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,22	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,78	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,3
SiO <sub>2</sub>	60,99	SiO <sub>2</sub>	59,86	SiO <sub>2</sub>	63,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	SO <sub>3</sub>	0,11
SO <sub>3</sub>	0,17	SO <sub>3</sub>	0,06	Cl	0,03
Cl	0,07	Cl	0,04	K <sub>2</sub> O	1,13
K <sub>2</sub> O	1,18	K <sub>2</sub> O	1,36	TiO <sub>2</sub>	1,67
CaO	5,18	CaO	4,9	CaO	0,33
TiO <sub>2</sub>	0,91	TiO <sub>2</sub>	0,94	Cr	0,05
MnO	0,18	Cr	0,05	MnO	0,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,6	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,44	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,49
Ni	0,02	MnO	0,21	Ni	0,01
Cu	0,01	Ni	0,02	Cu	0,01
Zn	0,01	Zn	0,01	Zn	0,01
Sr	0,04	Sr	0,06	Rb	0
Y	0	Y	0	Sr	0,01
Zr	0,02	Zr	0,04	Y	0
				Zr	0,08
				Ba	0,1

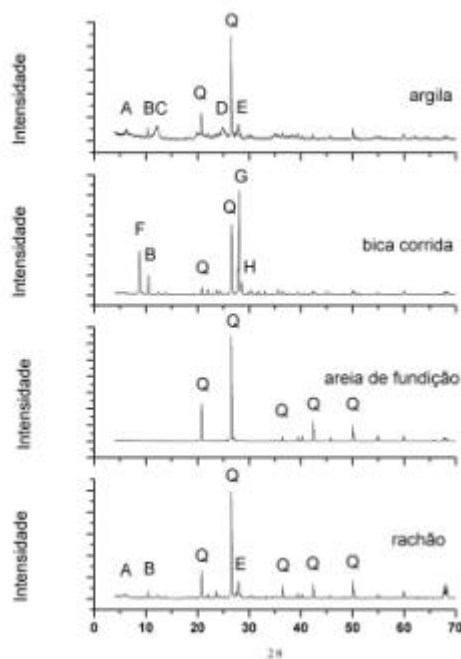


Figura 4. Difratogramas das amostras analisadas.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise dos resultados de um ponto de vista da aplicação em questão (uso da matéria-prima alternativa como agregado para pavimentação) permite visualizar as seguintes propriedades de interesse:

- a matéria-prima alternativa tem características físicas equivalentes a de um solo arenoso, porém quanto a permeabilidade, mostra-se semelhante a um solo coeso, com

valores baixos, permitindo pouca permeabilidade entre os grãos;

- a matéria-prima alternativa antes de ser utilizada no processo de fundição é composta aproximadamente de 90,5% de areia de sílica, 8% de bentonita e 1,5% de pó de carvão. Durante o processo de vazamento do metal líquido no molde que é formado pela composição de materiais descritos anteriormente sofre um super aquecimento que provoca a queima da bentonita que



envolve o grão de areia conforme figura 3, todavia com esse super aquecimento a bentonita perde grande parte das suas propriedades, tornando-a inerte. Este fato pode alterar o resultado da análise granulométrica e justificar possivelmente o baixo coeficiente de permeabilidade obtido no ensaio apresentado na tabela 1;

- a matéria-prima alternativa apresenta excelentes resultados quanto à resistência à penetração (ISC) e expansibilidade, podendo ser aproveitada como material de reforço do sub-leito e como material de sub-base.

- a matéria-prima alternativa apresenta parâmetros de resistência ao cisalhamento semelhantes à de um solo arenoso.

- as análises procuram agora aprimorar a pesquisa da matéria-prima alternativa no dimensionamento de pavimentos, observando-se as devidas condições de deformabilidade, bem como pesquisas laboratoriais ambientais. Outra vertente será o reaproveitamento da matéria-prima como agregado em misturas asfálticas, tentando assim obter um produto que ofereça conforto e segurança ao usuário, facilidades de execução e economia ao construtor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho gostariam de registrar os seus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições: TUPY FUNDIÇÕES LTDA, UFPR - Professor Fernando Wypych, UDESC - Professores Edgar Odebrecht e Edson Fajardo Nunes da Silva, Luiz Francisco da Silva do DMER de Joinville e Romualdo Theophanes França do DEINFRA de SC.

## REFERÊNCIAS

ATLAS AMBIENTAL DE JOINVILLE – Complexo Hídrico da Baía da Babitonga. Governo do Estado de Santa Catarina. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2002.

BINA, Paulo; ALVES, José H.; BONIN, André L.; YOSHIMURA, Humberto N. Metodologia de Análise e Aprovação de *Utilização de Rejeitos Industriais na*

*Construção Civil: Estudo de Caso de Uso de Areia de Fundação de Descarte para Pavimentação*. Monobeton Soluções Tecnológicas Ltda – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT. São Paulo, 2000.

BONET, Ivan Ideraldo. *Valorização do Resíduo Areia de Fundação (RAF). Incorporação nas Massas Asfálticas do Tipo CBUQ*. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

BONIN, André Luís. *Reutilização da Areia Preta de Fundação na Construção Civil. Congresso de Fundação*. São Paulo, p-203-221. Setembro, 1995.

Crystal Structures of Clay Minerals and Their Identification. G. W. Brindley, G. Brown (editores), editora Mineralogical Society, London, 1980.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de Santa Catarina*. Boletim de Pesquisa, 1998. 735 pág.

DUARTE, I. R. Processo areia verde. Sociedade Educacional de Santa Catarina - SOCIESC. Joinville, 1996. 32p.

FRANÇA, Romualdo Theophanes. *Levantamento de Dados e Informações para Mapeamento Geotécnico da Área Urbana de Joinville*. Dissertação de Mestrado (Eng. Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

HARTMANN, L.A.; SILVA, L.C. & ORLANDI, V. 1979. O Complexo Granulítico de Santa Catarina. Acta Geol Leopold, 6:94-112

SALES, Luis Fernando Pedroso; FARIA, Patrícia de Oliveira. Origem e Formação dos Solos. Curso de Engenharia Civil. Universidade do Vale de Itajaí. Apostila de aula. 7 pág, 2003.

ZINCANO, André Cezar. [http://www.lapes.ufrgs.br/Demin/discipl\\_grad/geologia3/material-didatico.html](http://www.lapes.ufrgs.br/Demin/discipl_grad/geologia3/material-didatico.html)

Acessado em 23/01/04.

<http://database.iem.ac.ru/mincryst/index.php>

Acessado em 17/02/04.