



**Florianópolis - SC**  
**21 a 24 de novembro de 2010**

## **Análise Técnica dos Resultados de Laboratório da Aplicação da Areia Descartada de Fundição (ADF) em Obras Rodoviárias**

**Autores:** *Raquel Luísa Pereira Carnin<sup>1</sup>, Alceu de Oliveira Maciel<sup>2</sup>, Victor Hugo Froner Bicca<sup>3</sup>, Jean Penha<sup>4</sup>, Glicério Trichês<sup>5</sup>.*

### **RESUMO**

As areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. Somente no Brasil são gerados cerca de 3 milhões de toneladas por ano. O aproveitamento da Areia Descartada de fundição (ADF) como material de construção rodoviária pode contribuir tanto para reduzir o volume de material descartado quanto para atender à grande demanda regional de materiais para construção de ruas e estradas. O objetivo desta pesquisa é avaliar o aproveitamento da areia descartada de fundição como material de base, sub-base, reforço do sub-leito, camada final de terraplenagem, preenchimento de remoções de materiais de baixo suporte, entre outros. Com base nos resultados pode-se concluir que é promissor o aproveitamento da ADF em obras rodoviárias.

1- Tupy S.A.- Engenharia Metalúrgica e Meio Ambiente  
2 e 3 - Departamento de Infraestrutura de Santa Catarina  
4- 10º Batalhão de Engenharia e Construção  
4 e 5- Universidade Federal de Santa Catarina

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns resíduos industriais já são usados em materiais para construção civil e outros têm tido a sua viabilidade analisada. A utilização da ADF - Areia Descartada de Fundição como material de construção rodoviária é atraente do ponto de vista econômico e muito importante em relação à proteção do meio ambiente, justificando investimentos em estudos sobre possíveis alterações de processos e substituições de matérias-primas. Alguns estudos preliminares sobre o uso da ADF como agregado para aplicações na construção civil, já foram feitos no Brasil [CARNIN, 2008; KLINSKY, 2008; COUTINHO, 2004; STEFENON, 2003; BONET, 2002, BONIN, 1995 e BINA *et al*, 2000] e nos EUA [ABICHOU *et al*, 1999; MILLER *et al*, 1998] com resultados satisfatórios.

Areias que todas as fundições utilizam em seus processos, para confeccionar os moldes que dão origem às peças fundidas, representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. Somente no Brasil são gerados cerca de três milhões de toneladas por ano [ABIFA, 2009].

Em relação aos aspectos ambientais do aproveitamento da ADF, devemos inicialmente classificá-la quanto à sua potencialidade de agressão ao ambiente e à saúde pública de acordo com a norma ABNT NBR 10.004.

No estudo de CARNIN [2008] o ensaio de classificação da ADF, segundo a NBR 10.004, demonstrou que de todos os parâmetros no extrato solubilizado somente cinco (alumínio, ferro, manganês, sódio e sulfato) podem extrapolar os limites máximos. Nenhum dos parâmetros do extrato lixiviado extrapolar os limites, classificando assim a ADF como resíduo não perigoso. Ainda nesse estudo, a ADF não apresentou toxicidade aguda aos organismos de referência *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*.

A areia que as fundições utilizam é um recurso extraído da natureza e a extração ocasiona impacto ambiental. Por isso o aproveitamento da ADF deve ser incentivado de modo que se extraiam cada vez menos areia da natureza, conservando-a assim em rios e cavas.

Esse trabalho objetiva o estudo da viabilidade técnica do aproveitamento da ADF como material de base, sub-base, reforço do subleito, camada final de terraplenagem e preenchimento de remoções de materiais de baixo suporte, entre outros, atendendo a uma demanda de Santa Catarina para a construção de ruas e estradas.

Os ensaios foram realizados no laboratório da Supervisora Sotepa Ltda., localizada em Itapoá (SC), por sua equipe técnica.

A Areia Descartada de Fundição apresentada adiante apenas como ADF, por se tratar de uma sigla já consagrada no âmbito das fundições e dos órgãos públicos ambientais do Brasil, ao se referir ao assunto.

### 1.1 . REVISÃO DE LITERATURA

#### 1.1.1. A Areia de Fundição

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

O principal componente da areia 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.

Em síntese, os moldes conformam as faces externas ao passo que os machos conformam as faces internas da peça metálica.

### **1.1.2. O Processo de Fundição**

A fundição é o método mais rápido para se obter peças metálicas acabadas. Consiste, principalmente em verter (vazamento) metal líquido em caixas de moldagem, com machos montados em seu interior, que caracterizará a peça após a solidificação do metal.

A fundição emprega nos seus processos modelos, moldes e machos que promovem às peças fundidas a sua conformação, de acordo com as etapas existentes de moldagem, fusão e acabamento.

A formulação da areia de fundição a ser usada depende do tipo de metal ou liga a ser fundida. Moldabilidade, compatibilidade, refratariedade, coesão, resistência a esforços mecânicos como compressão e tração, expansividade volumétrica, permeabilidade e perfeita desmoldagem são algumas características da areia de fundição adquiridas no processo de aglomeração executado pelos misturadores.

As etapas do processo de fundição são:

1. Preparo da areia de fundição, também conhecida como areia de moldagem e preparo da areia de macharia;
2. Fusão do metal nos fornos de indução e cubilô (também chamados de Cupola);
3. Vazamento do ferro líquido em aproximadamente 1400 °C;
4. Desmoldagem e geração da ADF;
5. Resfriamento e limpeza das peças;
6. Acabamento das peças;
7. Envio das peças aos clientes.

### **1.1.3. Preparo da Areia de Fundição**

O processo de moldagem é do tipo regenerativo. O material que chega ao final do ciclo de trabalho retorna através de correias transportadoras ao início do processo, reutilizando a

mesma areia. Pelos motivos de perda de volume e da descaracterização dos componentes da mistura, torna-se necessário o descarte de parte da areia de fundição, gerando a ADF – Areia Descartada de Fundição, e a freqüente reposição de matérias-primas e o controle de qualidade.

A areia de fundição é preparada por meio da descarga de areia nova e areia usada, com a quantidade de água calculada por um controlador de compatibilidade, de modo que a areia caia na máquina de moldar com a umidade final pretendida. A quantidade de água certa para o teor de bentonita pode ser verificada no momento em que é efetuada a mistura, podendo esta ser corrigida [SCHULZ, 2005]. Os demais aditivos são injetados no recipiente de mistura, que funciona continuamente.

O misturador é o elemento principal para a preparação de areia de fundição, onde são misturadas a areia lavada e areia retorno, bentonitas ativada e natural, pó de carvão e água. Na Figura 1 pode-se verificar o aspecto físico das bentonitas e do pó de carvão.



**Figura 1. Matérias primas da areia de fundição [PEREIRA, 2005].**

## **2. METODOLOGIA ADOTADA**

A metodologia adotada neste trabalho para a seleção de critérios técnicos considerou os seguintes métodos de ensaios:

- Análise granulométrica simples (método DNER-ME 051/94 – NBR 7181/84);
- Análise granulométrica por Sedimentação (método DNER-ME 051/94 NBR 6570);
- Equivalente de Areia (método DNER ME 54/97)
- Compactação (método DNER-ME 129/94 – NBR 7182/86);
- Índice de Suporte Califórnia (método DNER-ME (049/94 );
- Limite de Liquidez (método DNER-ME 122/94);
- Limite de Plasticidade (método DNER-ME 082/94)
- Módulo de Resiliência (método DNER-ME 133/94);
- Resistência a Compressão Simples (RCs) (método DNER-ME 201/94);
- Permeabilidade a carga variável/carga constante (método NBR 14545/00 e método NBR 13292/95) e Triaxial adensado drenado (CD).

### **2.1. Origem dos materiais ensaiados**

As origens dos materiais utilizados neste estudo estão apresentadas a seguir:

- **Areia descartada de Fundição (ADF):** Tupy S.A. localizada em Joinville - SC.
- **Solo siltoso e solo argiloso:** Rodovia SC – 415 - trecho SC - 412 (BR -101 Planejada) – Itapoá, a 4,0 km do entroncamento com a SC - 412.
- **Material pétreo:** km 20 da rodovia SC - 403, trecho Vila Nova – Guaramirim.
- **Cal Cerro Branco tipo CH-3:** Almirante Tamandaré - Pr (Segundo a Norma Brasileira – NBR 7175/03, a sua composição consta de óxido de cálcio e de magnésio superior a 88%).
- **Cimento Votoran CP II Z 36:** Rio Branco do Sul – Pr (Segundo a Norma Brasileira – NBR 11578/1991, tem a seguinte composição: silicato de sódio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, filler carbonático e pozolana).

### 3. RESULTADOS

Na seqüência são apresentados os resultados médios dos parâmetros físicos obtidos para cada composição de materiais ensaiados.

A Tabela 1 mostra os resultados dos parâmetros físicos da ADF com energia de compactação normal e intermediária, do solo argiloso, do solo siltoso e da bica graduada com a adição de 11% de ADF.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos parâmetros físicos do solo argiloso e siltoso com adição de ADF.

Na Tabela 3 são visualizados os parâmetros físicos do solo siltoso com a adição de brita e ADF, do solo argiloso com a adição de brita e ADF e da ADF com cimento (com repouso).

A Tabela 4 mostra os parâmetros físicos da ADF com a adição de cal e também da ADF com a adição de cimento e cal, todas com repouso.

Na Tabela 5 são apresentados os parâmetros físicos da ADF com adição de cimento e cal sem repouso.

**Tabela 1. Parâmetros Físicos da ADF, do Solo Argiloso, do Solo Siltoso e da Bica Graduada com 11% de ADF.**

PARÂMETROS FÍSICOS DOS MATERIAIS ANALISADOS					
DISCRIMINAÇÃO	ADF	ADF	Solo Argiloso	Solo Siltoso	BG + 11% ADF
# 1" 1/2 (%)	100,00	100,00	100,00	100	100,00
# 1" (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	94,35
# 3/8" (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	57,25
# N° 4 (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	40,55
# N° 10 (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	28,15
# N° 40 (%)	82,81	82,81	91,75	72,65	18,00
# N° 200 (%)	9,44	9,44	75,20	38,55	5,10
LL (%)	20,70	20,70	64,10	NP	NP
LP (%)	13,43	13,43	41,20	NP	NP
IP (%)	7,27	7,27	22,90	NP	NP
IG (%)	0,00	0,00	17,00	0,00	0,00
Classificação (TRB)	A-2-4	A-2-4	A-7-5	A-4	I-DEINFRA
Equivalente de areia (%)					57,4
Energia aplicada	Normal	Intermediária.	Normal	Normal	Modificada
$\gamma$ (Dens.) (g/cm <sup>3</sup> )	1.803	1.868	1.313	1.353	2.217
Hot (%)	12,81	10,2	32,15	31,30	6,90
Expansão (%)	0,81	0,16	0,46	0,61	0,00
I.S.C. (%)	9,10	31,7	10,30	6,55	92,70
Módulo Resiliência (kgf/cm <sup>2</sup> )	3.070,1 $\sigma_3^{0,336}$				5.844,4 $\sigma_3^{0,531}$
Permeabilidade k(cm/s)	4,43E-07				

Onde: LL = Limite de Liquidez; LP = Limite de Plasticidade; IP = Índice de Plasticidade; IG = Índice de Grupo;  $\gamma$  = Massa Específica do Solo Seco; Hot = Umidade Ótima; ISC = Índice de Suporte Califórnia; RCs = Resistência a Compressão Simples ADF = Areia descartada de fundição.

**Tabela 2. Parâmetros Físicos do Solo Argiloso e Siltoso com Adição de ADF.**

PARÂMETROS FÍSICOS DOS MATERIAIS ANALISADOS						
DISCRIMINAÇÃO	Solo Siltoso + ADF			Solo Argiloso + ADF		
	30/70	40/60	50/50	30/70	40/60	50/50
# 1" 1/2 (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# 1" (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# 3/8" (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# N° 4 (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# N° 10 (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# N° 40 (%)	82,45	81,80	82,10	84,95	83,75	83,00
# N° 200 (%)	25,00	30,30	43,85	30,10	37,70	27,70
LL (%)	39,05	32,10	46,05	32,15	39,60	49,20
LP (%)	20,25	20,50	26,05	19,10	25,25	31,65
IP (%)	18,80	11,60	20,00	13,05	14,35	17,55
IG (%)	1,50	0,00	6,00	0,50	2,00	1,00
Classificação (TRB)	A-2-6	A-2-6	A-7-6	A-2-6	A-6	A-2-7
Energia aplicada	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária
$\gamma$ (Dens.) (g/cm <sup>3</sup> )	1.779	1.760	1.708	1.759	1.802	1.722
Hot (%)	14,10	15,20	16,35	12,40	12,70	20,25
Expansão (%)	0,19	0,51	0,41	0,41	0,31	0,73
I.S.C. (%)	10,10	11,10	12,00	10,40	9,80	5,05

**Onde:** LL = Limite de Liquidez; LP = Limite de Plasticidade; IP = Índice de Plasticidade; IG = Índice de Grupo;  $\gamma$  = Massa Específica do Solo Seco; Hot = Umidade Ótima; ISC = Índice de Suporte Califórnia; RCs = Resistência a Compressão Simples 30/70 = 30% de solo em peso e 70% de ADF em peso.

**Tabela 3. Parâmetros Físicos do Solo Siltoso com Adição de Brita e ADF, do Solo Argiloso com Adição de Brita e ADF e da ADF com Cimento (com repouso).**

PARÂMETROS FÍSICOS DOS MATERIAIS ANALISADOS							
DISCRIMINAÇÃO	Solo Siltoso + Brita + ADF		Solo Argiloso + Brita + ADF		ADF + Cimento (Com Repouso)		
	50/30/20	30/30/40	50/30/20	30/30/40	2%	3%	4%
# 1" 1/2 (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# 1" (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# 3/8" (%)	63,60	61,40	67,05	71,40	100,00	100,00	100,00
# Nº 4 (%)	58,40	56,45	63,50	69,15	100,00	100,00	100,00
# Nº 10 (%)	57,80	56,10	63,00	68,90	100,00	100,00	100,00
# Nº 40 (%)	46,80	47,25	51,20	54,95	86,30	85,20	87,35
# Nº 200 (%)	22,30	15,10	22,90	15,70	15,50	17,00	16,40
LL (%)	NP	NP	NP	NP	20,20	20,10	20,95
LP (%)	NP	NP	NP	NP	14,80	13,40	10,55
IP (%)	NP	NP	NP	NP	5,40	6,70	10,40
IG (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Classificação (TRB)	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4
Energia aplicada	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária
$\gamma$ (Dens.) (g/cm <sup>3</sup> )	1.870	1.962	1.870	1.974	1.739	1.745	1.763
Hot (%)	15,25	11,15	13,35	11,40	13,45	15,60	14,45
Expansão (%)	0,54	0,25	0,18	0,17	0,12	0,20	0,11
I.S.C. (%)	27,15	19,55	16,00	27,15	28,95	30,70	32,30
Módulo Resiliência (kgf/cm <sup>2</sup> )	6.421,8 $\delta_3^{0,349}$						42.718 $\delta_3^{0,290}$
RCs (MPa)	sem cura				0,57	0,65	0,73
	7 dias				0,47	0,49	0,51
	14 dias						
	28 dias				0,67	0,70	1,50

**Onde:** LL = Limite de Liquidez; LP = Limite de Plasticidade; IP = Índice de Plasticidade; IG = Índice de Grupo;  $\gamma$  = Massa Específica do Solo Seco; Hot = Umidade Ótima; ISC = Índice de Suporte Califórnia; RCs = Resistência a Compressão Simples. 50/30/20 – 50% de solo em peso, 30% de brita em peso e 20% de ADF em peso. Com repouso quando deixamos o solo misturado com estabilizante (cimento ou cal) por um período de 72 (setenta e duas) horas e após este período procedemos à execução dos ensaios.

**Tabela 4. Parâmetros Físicos da ADF com Adição de Cal e da ADF com Adição de Cimento e Cal (com repouso).**

PARÂMETROS FÍSICOS DOS MATERIAIS ANALISADOS						
DISCRIMINAÇÃO	ADF + Cal (Com Repouso)			ADF + Cimento + Cal (Com Repouso)		
	3%	4%	5%	2% + 3%	3% + 4%	4% + 5%
# 1" 1/2 (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# 1" (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# 3/8" (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# N° 4 (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# N° 10 (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
# N° 40 (%)	84,20	85,00	87,30	86,20	81,90	84,05
# N° 200 (%)	18,20	16,80	16,40	18,50	14,45	21,85
LL (%)	24,50	29,80	21,00	27,80	28,35	24,80
LP (%)	12,00	16,20	15,20	17,70	15,70	12,70
IP (%)	12,50	13,60	5,80	10,10	12,65	12,10
IG (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Classificação (TRB)	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-4	A-2-6	A-2-6
Energia aplicada	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária
$\gamma$ (Dens.) (g/cm <sup>3</sup> )	1.798	1.851	1.871	1.827	1.830	1.833
Hot (%)	14,20	13,50	12,30	12,15	13,25	13,10
Expansão (%)	0,27	0,17	0,38	0,20	0,08	0,07
I.S.C. (%)	31,90	30,50	32,70	57,10	114,80	129,50
Módulo Resiliência (kgf/cm <sup>2</sup> )		27.991 $\sigma_3^{0,271}$			42.012 $\sigma_3^{0,352}$	
Permeabilidade k(cm/s)		4,81E-05				
RCs (MPa)	sem cura					
	7 dias	0,53	0,67	0,75	1,40	1,85
	14 dias				1,43	2,55
	28 dias	1,34	2,52	2,93		
	60 dias	1,66	2,69	3,00		

**Onde:** LL = Limite de Liquidez; LP = Limite de Plasticidade; IP = Índice de Plasticidade; IG = Índice de Grupo;  $\gamma$  = Massa Específica do Solo Seco; Hot = Umidade Ótima; ISC = Índice de Suporte Califórnia; RCs = Resistência a Compressão Simples. Com Repouso quando deixamos o solo misturado com estabilizante (cimento ou cal) por um período de 72 (setenta e duas) horas e após este período procedemos a execução dos ensaios. Sem Repouso quando procedemos a mistura do solo com estabilizante (cimento ou cal) e executamos os ensaios em seguida.

**Tabela 5. Parâmetros Físicos da ADF com Adição de Cimento e Cal (sem repouso).**

DISCRIMINAÇÃO	ADF + Cimento + Cal			
	(Sem Repouso)			
	2% + 3%	3% + 4%	4% + 5%	
# 1" 1/2 (%)	100,00	100,00	100,00	
# 1" (%)	100,00	100,00	100,00	
# 3/8" (%)	100,00	100,00	100,00	
# N° 4 (%)	100,00	100,00	100,00	
# N° 10 (%)	100,00	100,00	100,00	
# N° 40 (%)	84,90	81,90	84,20	
# N° 200 (%)	10,2	14,55	21,60	
Energia aplicada	Intermediária	Intermediária	Intermediária	
$\gamma$ (Dens.) (g/cm <sup>3</sup> )	1.863	1.877	1.883	
Hot (%)	10,7	11,5	11,7	
Expansão (%)	0,79	0,49	0,44	
I.S.C. (%)	109,5	115,2	127,2	
RCs (MPa)	sem cura			
	7 dias	0,85	1,12	1,50
	14 dias	0,86	1,23	1,73
	28 dias			

**Onde:** LL = Limite de Liquidez; LP = Limite de Plasticidade; IP = Índice de Plasticidade; IG = Índice de Grupo;  $\gamma$  = Massa Específica do Solo Seco; Hot = Umidade Ótima; ISC = Índice de Suporte Califórnia; RCs = Resistência a Compressão Simples 2% + 3% - referem-se 2% de cimento + 3% de cal. Sem Repouso quando procedemos a mistura do solo com estabilizante (cimento ou cal) e executamos os ensaios em seguida.

### 3.1. Módulo de Resiliência

Ensaio de Módulo de Resiliência foram realizados na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A importância dos ensaios de resiliência é justificada por serem estes utilizados para o cálculo de tensões e deformações nos pavimentos.

Com relação aos resultados dos materiais de ensaios de MR (Módulo de Resiliência), as composições e os resultados encontrados estão na Tabela 6.

**Tabela 6. Módulo de Resiliência da ADF, do Solo Siltoso com Adição de Brita e ADF, da Brita Graduada com ADF, ADF com Adição de Cal e da ADF com Adição de Cal e Cimento.**

Módulo de Resiliência	Corpo de prova	Resultados
ADF (pura)	CP <sub>1</sub>	$\sigma = 3.070,1 \partial_3^{0,336}$
	CP <sub>2</sub>	$\sigma = 2,922,3 \partial_3^{0,319}$
Solo siltoso + brita + ADF (50/30/20)	CP <sub>1</sub>	$\sigma = 6.421,8 \partial_3^{0,349}$
	CP <sub>2</sub>	$\sigma = 5.711,2 \partial_3^{0,345}$
Solo siltoso + brita + ADF (50/30/20) Com 2% acima da umidade ótima	CP <sub>1</sub>	$\sigma = 1.897,6 \partial_3^{-0,300}$
	CP <sub>2</sub>	$\sigma = 2.144,4 \partial_3^{-0,355}$
Brita graduada com 11% de ADF	CP <sub>1</sub>	$\sigma = 5.844,4 \partial_3^{0,531}$
	CP <sub>2</sub>	$\sigma = 5.770,5 \partial_3^{0,658}$
ADF com 4% de cal	CP <sub>1</sub>	$\sigma = 27.991 \partial_3^{0,271}$
	CP <sub>2</sub>	$\sigma = 24.320 \partial_3^{0,240}$
ADF com 4% de cimento	CP <sub>1</sub>	$\sigma = 42.718 \partial_3^{0,290}$
	CP <sub>2</sub>	$\sigma = 41.872 \partial_3^{0,311}$
ADF com 4% de cal e 3% de cimento	CP <sub>1</sub>	$\sigma = 42.012 \partial_3^{0,352}$
	CP <sub>2</sub>	$\sigma = 41.744 \partial_3^{0,328}$

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados, do ponto de vista da aplicação em questão - uso da ADF em obras rodoviárias permite visualizar as suas aplicabilidades, a seguir descritas:

Aproveitamento que favorece não somente o meio ambiente, mas que também proporciona ganho econômico pela redução dos custos operacionais das empresas geradoras de ADF e outras que se dedicam à construção e manutenção do parque rodoviário;

A pesquisa demonstrou que o encapsulamento da ADF com estabilizantes (solo, solo+brita, brita, cal, cimento e cal + cimento) é um processo eficiente para a estabilização;

As misturas com estabilizantes apresentaram propriedades adequadas para compor uma superestrutura de pavimento, no que diz respeito aos parâmetros obtidos nos ensaios de: Índice de Suporte Califórnia, Resistência à Compressão Simples e Módulo de Resiliência.

A ADF apresentou características físicas equivalentes às areias de um solo arenoso, porém quanto à permeabilidade, mostra-se semelhante a um solo coeso, apresentando baixo coeficiente de permeabilidade, conforme resultados de ensaios executados pelo laboratório da Universidade Federal de Santa Catarina e apresentados no quadro de parâmetros físicos.

A ADF também apresentou resultados satisfatórios quanto à resistência à penetração (ISC) e expansibilidade com ensaios executados na **energia normal**, podendo ser aproveitada como material para substituir remoções de solos inservíveis ou de baixo suporte e também como camada final de terraplenagem;

Quando foi analisada com ensaios na **energia intermediária** apresentou resultados satisfatórios podendo também ser usada como camada de reforço ou sub-base estabilizada;

A amostra constituída de 50% de solo siltoso com 30% de brita e 20% de ADF apresentou resultados satisfatórios para seu uso em camada de sub-base;

A amostra formada de 30% de solo argiloso com 30% de brita e 40% de ADF também apresentou resultados satisfatórios para sua utilização em camada de sub-base.

Para a composição de ADF melhorada com os teores de 2, 3 e 4% de cimento apresentou resultados satisfatórios para seu uso em camada de sub-base;

A amostra de ADF melhorada com cal nos teores de 3, 4 e 5% apresentou resultados satisfatórios para seu uso em camada de sub-base;

Para as composições de ADF com 2% de cimento e 3% de cal; ADF com 3% de cimento e 4% de cal e de ADF com 4% de cimento e 5% de cal apresentaram resultados satisfatórios para seu uso em camada de sub-base e base, considerando repouso (isto é, misturado com cal e após 72 horas adicionado cimento e procedida a execução do ensaio);

Também foi executado ensaio sem repouso (misturado cal e cimento e procedida a execução do ensaio), que apresentou resultados satisfatórios para uso em camadas de sub-base e ou base;

A composição de brita com ADF apresentou resultados satisfatórios para seu uso em camada de sub-base e base;

Como estudo complementar serão construídas pistas experimentais com as composições que se mostraram viáveis tecnicamente;

Para obter a viabilidade técnica da aplicação da ADF em obras rodoviárias, os resultados dos ensaios serão analisados com base em especificações de s órgãos rodoviários;

Ainda será feito um estudo de viabilidade econômica, com outras alternativas de pavimento usualmente adotadas.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo principal deste estudo foi identificar a viabilidade técnica do uso da ADF para camada final de terraplenagem, camada de reforço, camada de sub-base e base com uso de estabilizantes como: cal, cimento e cal + cimento.

Com relação às amostras de: ADF pura; solo siltoso + ADF; solo argiloso + ADF; solo siltoso + brita + ADF; solo argiloso + brita + ADF; ADF + cimento; ADF + cal; ADF com cimento + cal é possível concluir que a Areia Descartada de Fundação pode ser utilizada em obras rodoviárias de acordo com os resultados obtidos em laboratório.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho gostariam de registrar os seus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições: TUPY S.A.; DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE SANTA CATARINA; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA; 10º BATALHÃO DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO (em especial ao Coronel Carlos Hassler).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ABICHOU, Tarek; BENSON, Craik; EDIL, Tuncer.** Beneficial Reuse of Foundry By-Products. American Foundrymen's Society, Inc. Research Report. University of Wisconsin-Madison, Madison, 1999, 50p.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – ABIFA, 2009.** ([www.abifa.org.br](http://www.abifa.org.br)).

**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 Fundição 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 Iveraldo.** Valorização do Resíduo Areia de Fundição (R.A.F.) Incorporação nas Massas Asfálticas do Tipo C.B.U.Q. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Florianópolis, 127p.

**CARNIN, Raquel Luísa Pereira.** Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas. Tese de doutorado do Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas. UFPR, 2008, 152p.

**COUTINHO NETO, B.** Reaproveitamento do Resíduo de Fundição em Misturas Asfálticas. Universidade Federal de São Carlos. Departamento de Transportes. Tese de Doutorado, São Carlos, 2004. 197p.

**KLINSKY, Luiz Miguel Gutiérrez.** Proposta de Reaproveitamento de Areia de Fundição em Sub bases e Bases de Pavimentos Flexíveis, através de sua Incorporação a Solos Argilosos. Dissertação de mestrado do Departamento de Transportes da Engenharia Civil. USP, 2008, 215p.

**MILLER, E.; BAHIA, H.; KHATRI, A.; WINTER, M.** Utilization of Foundry Sand in Hot Mix Asphalt. University of Wisconsin at Madison, July 1998. Final Report submitted to University-Industry Relationships.

**PEREIRA, Raquel Luísa.** Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas. Relatório de doutorado apresentado ao Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas. UFPR, 2005.

**STEFENON, Fernando.** Incorporação de Resíduos Industriais em Concreto Betuminoso Usinado à Quente. Universidade de Caxias do Sul. Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Caxias do Sul, 2003.