

O USO DE ESCÓRIA DE ACIARIA COMO BASE GRANULAR EM MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE (CBUQ) EM SUBSTITUIÇÃO AOS AGREGADOS PÉTREOS SUCESSOS E INSUCESSOS¹

*Eudier Antonio da Silva²
Maria Antonina Magalhães Coelho³
Eudier Antonio da Silva Júnior⁴*

Resumo

O objetivo deste trabalho é relatar a utilização de escória de aciaria em base, sub-base e misturas afálticas em substituição aos agregados pétreos naturais. Foram utilizadas 1.500.000 toneladas de escória de aciaria em 200 km de estrada com 4 pistas na Venezuela. A escória de aciaria foi utilizada nas camadas de sub-base e base, na camada asfáltica pré-misturada a quente, Binder e na capa de rolamento. Com esta utilização conciliou-se técnica, economia e meio ambiente com resultados positivos devido a um controle tecnológico eficiente na preparação granulométrica da escória e na execução dos serviços. O início desta utilização foi em Vitória ES em 1986, para pavimentação de 105 km de ruas, avenidas e rodovias utilizando escória de aciaria produzida pela CST. O projeto foi executado e, após 20 anos, não apresenta qualquer tipo de fadiga. Após este trabalho, o uso foi se disseminando em função do maior conhecimento técnico dos executores, mas foram aparecendo alguns insucessos como na pavimentação do Pátio do Apart Hospital, também em Vitória.

Palavras-chave: Escória de aciaria; Pavimentação.

STEEL SLAG USE IN ASPHALT BASE, SUB-BASE AND ASPHALT MIXTURES

Abstracts

The aim of this paper is to present the steel slag use in asphalt base, sub-base and asphalt mixtures in substitution to natural aggregates. It has been used in 1.500.000 tons of slag in 200 km of road with 4 tracks, in Venezuela. The slag was used in sub-base and base layers, in hot pre mixtures asphalt layer and in the rolling layer. With this use was conciliated technique, economy and sustainability with positive results due to efficient technological control in the aggregate sized preparation of the slag and in the execution of the services. The beginning of this use was in Vitória, ES in 1986, in 105 km of streets, avenues and highways pavement using slag produced by CST. The project was executed and, after 20 years, it does not present any fatigue. After this first application, the use was spreading due to technician knowledge of the executors, but it had been appearing some failures as in the pavement of the Patio of the Apart Hospital, Serra, ES.

Key words: Steel slag; Asphalt mixtures; Aggregates.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Eng. Civil, Prof. da UCL, Consultor Técnico, Member Of The Pan American Institute Of Highways, MCs, Profa. no curso de Arquitetura da UNIVIX e Profa. no curso de Eng. de Produção Civil da UCL-Faculdade do Centro Leste,*

³ *Graduando do curso de Engenharia de Produção Civil da UCL, Estagiário Consulpavi Projetos e Consultoria LTDA.*

1 INTRODUÇÃO

A Escória de Aciaria LD é um co-produto decorrente do processo da fabricação e refino do aço em convertedores LD, solidificando-se após resfriamento à temperatura ambiente, consistindo essencialmente de silicatos de cálcio, óxido de ferro e ferrita cálcica. Esta escória apresenta elevada resistência ao desgaste, aliada a uma textura rugosa e morfologia cúbica, módulo de resiliência 42% superior a da brita de basalto e 65% superior a da brita de granito e boa adesividade para CAPs (Concreto Asfáltico de Petróleo) e Emulsões. É caracterizada por elevada densidade, baixa absorção de água e coloração predominante cinza claro.

A Escória de Aciaria LD possui CaO e MgO livres em sua composição que durante o processo de envelhecimento, envolvem reações de hidratação e carbonatação que resultam em expansão volumétrica. No caso do CaO a expansão pode ser de até 99% em volume e 55% em superfície e o MgO livre pode expandir até 120% em volume formando trincas radiais, fissurações longitudinais irregulares e descontínuas generalizadas, soleirações longitudinais e transversais traduzidas por protuberâncias e deslocamentos rotacionais refletindo na camada do CBUQ quando não atendido o seu percentual de expansão máximo de 3,0% pelo ensaio PTM-130⁽¹⁾ preconizado pelo Instituto de Engenharia da Pensilvânia – EUA. A ASTM C 1260/5⁽²⁾ o índice de expansão de no máximo 0,10% para que o agregado seja considerado não reativo.

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da aplicação da escória de aciaria em sub-base e base granular e nas misturas asfálticas a quente na pavimentação de 200 km com 4 pistas sendo sido executados pela Construtora Norberto Odebrecht S/A na Auto Pista do sistema Vial Mixto sobre o Rio Orinoco, Trecho Macapaima a La Viuda, em Porto Ordaz, Venezuela. A escória de aciaria utilizada foi produzida pela Siderúrgica SIDOR – Porto Ordaz – Venezuela.

O início da utilização da escória de aciaria em pavimentação foi em Vitória ES em 1986, quando da execução do Projeto Transcol (Transporte Coletivo) da Grande Vitória, para pavimentação de 105 km de ruas, avenidas e rodovias utilizando escória de aciaria produzida pela CST (Companhia Siderúrgica Tubarão). O projeto foi executado e, após 20 anos, não apresenta qualquer tipo de ruínas. Após este trabalho, o uso foi se disseminando em função do maior conhecimento técnico dos executores, mas foram aparecendo alguns insucessos como na pavimentação do pátio do estacionamento do Apart Hospital, também em Vitória, ES.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A escória de aciaria produzida pela SIDOR – Porto Ordaz apresenta composição química apresentada na Tabela 1 e granulometria conforme Tabela 2. A idade da escória quando da sua utilização foi de 5 anos.

Tabela 1 - Composição química da escória de aciaria (%).

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	FeO	S	CaO livre	MgO livre
35,4	9,6	36,4	10,2	1,0	0,69	8,14	1,14	0,16	1,2	0,9

Fonte: Consulpavi.

Tabela 2 – Granulometria da escória de aciaria.

Peneira (mm)	50	32	25	19	9,5	4,75	2,0	1,25	0,075
Teor (%)	100	96	92	82	75	62	45	30	7

Fonte: Consulpavi.

A análise petrográfica e a reatividade química são ensaios que devem fazer parte das informações quando a expansão da escória de aciaria apresentar valores próximos dos valores máximos preconizados pelas normas.

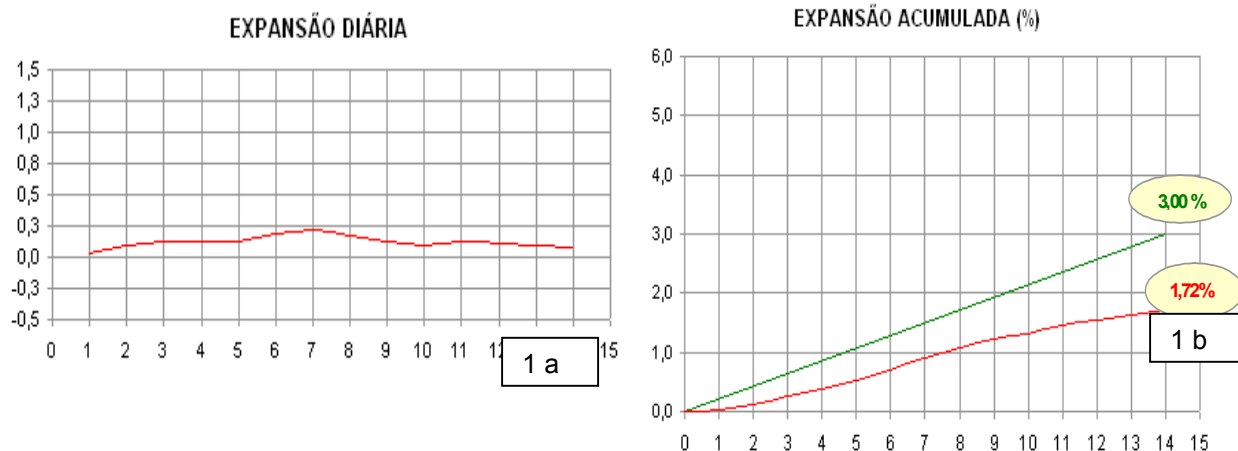
Os índices das propriedades físicas os quais a escória de aciaria utilizada deve atender, como agregado, estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades físicas da escória de aciaria.

Propriedade	Índices	Propriedade	Índices
Massa específica real (g/cm ³)	3,0 a 3,5	Abrasão Los Angeles (%)	15 a 25
Massa específica aparente (g/cm ³)	1,6 a 1,8	Adesividade A-20	satisfatória
Absorção de água (%)	1,0 a 3,0	Expansão: PTM-130 (%)	< 3,0
		ASTM C 1260/5 (%)	< 0,10
Partículas cúbicas (%)	85,0 a 98,0	Treton - seca (%)	96,2
Impurezas orgânicas	isento	Treton – úmida (%)	83,1

Fonte: Consulpavi.

O ensaio de expansão da escória de aciaria foi realizado dentro do que preconiza a norma do Instituto de Engenharia da Pensilvânia PTM-130⁽¹⁾, devendo ser de no máximo 3,0%. A Figura 1a apresenta a expansibilidade diária verificada pela escória de aciaria e a Figura 1b apresenta a expansibilidade acumulada em 14 dias na curva (em vermelho) e o limite de expansibilidade preconizado pela norma PTM 130⁽¹⁾ do Instituto de Engenharia da Pensilvânia (em verde).



Fonte: Consulpavi.

Figura 1 – a) Expansibilidade diária; b) Expansibilidade acumulada em 14 dias verificada na escória de aciaria (em vermelho) e o limite de expansibilidade preconizado pela norma PTM 130⁽¹⁾ – Instituto de engenharia da Pensilvânia (em verde).

A argila A-7-6 apresenta diâmetros inferiores a 10 mm e foi utilizada para dar plasticidade à mistura escória/argila utilizada na sub-base e na base do pavimento

combatendo o alto módulo de rigidez e contribuindo para permitir as deformações advindas de possíveis expansões da escória de aciaria.

O pedrisco de escória apresenta diâmetros inferiores a 4,8 mm e foi utilizado no Binder – FAIXA X.

A areia de empréstimo apresenta diâmetros inferiores a 10 mm e foi usada para compor a granulometria da parte fina que falta na escória e diminuir o módulo de rigidez da mistura alfáltica.

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP 20), utilizado nas camadas dos pavimentos alfálticos.

Metodologia

A sub-base foi preparada com 70% de Escória de aciaria com diâmetro ≤ 50 mm e com 30% de Argila A-7-6 com diâmetro < 10 mm. O módulo de resiliência da mistura deve ser de 200 MPa.

A base foi preparada com os percentuais de escória de aciaria apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Percentuais utilizados na mistura para a base.

Material	Teor (%)
Escória 2 (32 mm $> \varnothing > 19,0$ mm)	38
Escória 1 (19,0 mm $> \varnothing > 9,5$ mm)	30
Escória 0 e 00 - $\varnothing < 9,5$ mm)	19
Argila A-7-6 - $\varnothing < 10$ mm)	13

Fonte: Consulpavi.

O PMQ (Pré-Misturado à Quente) Faixa X foi preparado com os percentuais apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Percentuais utilizados no Pré- misturado a Quente.

Material	Teor (%)
Escória 2	57,90
Escória 1	34,80
Escória 00 ($\varnothing < 6,3$ mm)	3,90
CAP-20	3,40

Fonte: Consulpavi.

O BINDER – FAIXA VII foi preparado com os percentuais apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Percentuais utilizados no Binder – FAIXA VII.

Material	Teor (%)
Escória 2	18,50
Escória 1 (3/4" $> \varnothing > 3/8$ ")	38,14
Escória 0 (9,5 mm $> \varnothing > 6,3$ mm)	14,40
Escória 00 ($\varnothing < 6,3$ mm)	5,15
Pedrisco + Pó ($\varnothing < 4,8$ mm)	14,87
Areia de Empréstimo ($\varnothing < 10$ mm)	4,29
A-20	4,65

Fonte: Consulpavi.

A CAPA – FAIXA III foi preparado com os percentuais apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Percentuais utilizados na CAPA – FAIXA III.

Material	Teor (%)
Escória 1 (3/4" > Ø > 3/8")	49,90
Escória 0 (3/8" > Ø > 1/4")	7,60
Escória 00 (Ø < 1/4")	5,10
Pedrisco + Pó (Ø < 3/16")	17,70
Areia de Empréstimo (Ø < 10 mm)	4,30
A-20	5,40

Fonte: Consulpavi.

3 RESULTADOS

Os ensaios das características da mistura para a sub-base foram realizados em laboratório e os resultados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Características da mistura da sub-base em laboratório.

Características	Resultados
Massa específica aparente máxima seca (energia intermediária)	2,315 g/cm ³
Umidade ótima de controle	8,2 %
Limite de Liquidez (LL)	NL
Índice de Plasticidade (IP)	NP
Índice Suporte Califórnia (ISC)	120,2 %
Expansão	0 %
Módulo de resiliência	335 MPa

Fonte: Consulpavi.

Os ensaios das características da mistura para a base foram realizados em laboratório e os resultados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Características da mistura da base em laboratório.

Características	Resultados
Massa específica aparente máxima seca (energia intermediária)	2,527 g/cm ³
Umidade ótima de controle	8,9 %
Limite de Liquidez (LL)	NL
Índice de Plasticidade (IP)	NP
Índice Suporte Califórnia (ISC)	195,7%
Expansão	0 %
Módulo de resiliência	449 MPa

Fonte: Consulpavi.

Os resultados dos ensaios das características do Pré-Misturado à Quente estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Características do Pré-Misturado à Quente.

Características	Resultados
Massa específica efetiva da fração retida na peneira no 4	3,331 g/cm ³
Massa específica da fração passando na peneira no 4	3,273 g/cm ³
Massa específica relativa da mistura dos agregados	3,328 g/cm ³
Massa específica do A-20 25/25 °C	1,013 g/cm ³
Massa específica teórica da mistura betuminosa	3,088 g/cm ³
Massa específica aparente da mistura compactada	2,617 g/cm ³
Teor ótimo de asfalto	3,40 %
Vazios totais (vv)	15,20 %
Estabilidade Marshall	1.024 kgf
Módulo de resiliência	960 MPa

Fonte: Consulpavi.

Os resultados dos ensaios das características do BINDER – FAIXA VII estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Características do BINDER – FAIXA VII.

Características	Resultados
Massa específica efetiva da fração retida na peneira no 4	3,306 g/cm ³
Massa específica da fração passando na peneira no 4	2,979 g/cm ³
Massa específica relativa da mistura dos agregados	3,189 g/cm ³
Massa específica do A-20 25/25 °C	1,020 g/cm ³
Massa específica teórica da mistura betuminosa	2,902 g/cm ³
Massa específica aparente da mistura compactada	2,735 g/cm ³
Teor ótimo de asfalto	4,65 %
Vazios totais (vv)	5,75 %
Vazio do Agregado Mineral (VAM)	18,22 %
Grau de saturação (RBV)	68,40 %
Estabilidade Marshall	1.342 kgf
Fluência da mistura	12,8 1/100"
Módulo de resiliência	2000 MPa

Fonte: Consulpavi.

Os resultados dos ensaios das características da CAPA – FAIXA III estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Características da CAPA – FAIXA III.

Características	Resultados
Massa específica efetiva da fração retida na peneira no 4	3,309 g/cm ³
Massa específica da fração passando na peneira no 4	2,979 g/cm ³
Massa específica relativa da mistura dos agregados	3,173 g/cm ³
Massa específica do A-20 25/25 °C	1,020 g/cm ³
Massa específica teórica da mistura betuminosa	2,848 g/cm ³
Massa específica aparente da mistura compactada	2,738 g/cm ³
Teor ótimo de asfalto	5,4 %
Vazios totais (vv)	3,86 %
Vazio do Agregado Mineral (VAM)	18,36 %
Grau de saturação (RBV)	79,0 %
Estabilidade Marshall	1.212 kgf
Fluência da mistura	13,1 1/100"
Módulo de resiliência	3800 MPa

Fonte: Consulpavi.

Usando o programa ELSYM-5 com os dados dos Módulos de resiliência, pode-se comparar o comportamento do pavimento com camadas de escória graduada de aciaria com os da brita graduada, ambos com a ação do tráfego.

Foram avaliadas as deformações horizontais de extensão na base do revestimento, e as deformações verticais compressivas no topo do sub-leito, responsáveis pelo processo de trincamento no revestimento pelo acúmulo de deformações permanentes. Para definir as deformações admissíveis empregou-se o método sul-africano proposto por Peterson e Maree em 1978, e revisado em 1994. E em função do nº de operações do eixo padrão $N = 10^7$ adotou-se $CBUQ = 7,5$ cm (DNER, 1979).

Os resultados apresentados pelo ELSYM-5, de deformação horizontal de extensão específica (ϵ_h) admissível na base do revestimento é de $0,538 \times 10^{-3}$ e a deformação vertical de compressão específica ($-\epsilon_v$) admissível no topo do sub-leito é de $0,547 \times 10^{-3}$.

Foi utilizado o módulo de resiliência do CBUQ igual a 3800 MPa, as espessuras das camadas da base e sub-base variando de 25cm a 40cm e módulo de resiliência médio de 200 MPa para o sub-leito deste pavimento.

Os resultados das deformações elásticas no pavimento com escória graduada de aciaria e os da brita graduada estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Deformações elásticas no pavimento com escória graduada de aciaria comparada com brita graduada.

Material	Escória Graduada de Aciaria		Brita Graduada	
	$-\epsilon_h (x10^{-3})$	$-\epsilon_v (x10^{-3})$	$-\epsilon_h (x10^{-3})$	$-\epsilon_v (x10^{-3})$
Estrutura				
7,5 cm CBUQ e 25 cm	0,349	0,406	0,421	0,504
7,5 cm CBUQ e 30 cm	0,375	0,368	0,452	0,462
7,5 cm CBUQ e 40 cm	0,447	0,322	0,523	0,400

Fonte: Consulpavi.

4 DISCUSSÃO

Os resultados das características encontrados para a mistura da sub-base, da base, do Pré-Misturado à Quente, do Binder – FAIXA VII e da CAPA – FAIXA III estão de acordo com as normas do DENIT.

Considerando que a tensão confinante atuando no plano médio da base de um pavimento flexível deve ser de 100 KPa, foi possível verificar que o módulo de resiliência da escória de aciaria utilizada na base, igual a 449 MPa é 42% superior ao da brita de basalto (324 MPa), e 65% superior ao da brita de granito (278 MPa).

A Figura 2 mostra o trevo para Palital no sistema vial misto Ponte sobre o Rio Orinoco, Venezuela.



Fonte: Eng. Mauro Martins, 2003

.Figura 2. a - Trevo para Palital no sistema vial misto Ponte sobre o Rio Orinoco, Venezuela; b trecho autopista Guarampo, Venezuela.

Analisando os resultados da Tabela 13 pode-se observar que um pavimento composto de 7,5 cm de CBUQ e 40 cm brita graduada de basalto apresenta deformações elásticas equivalentes a uma estrutura composta de 7,5 cm de CBUQ e 25 cm de escória graduada de aciaria, resultando em uma estrutura bem menor e conseqüentemente, mais econômica.

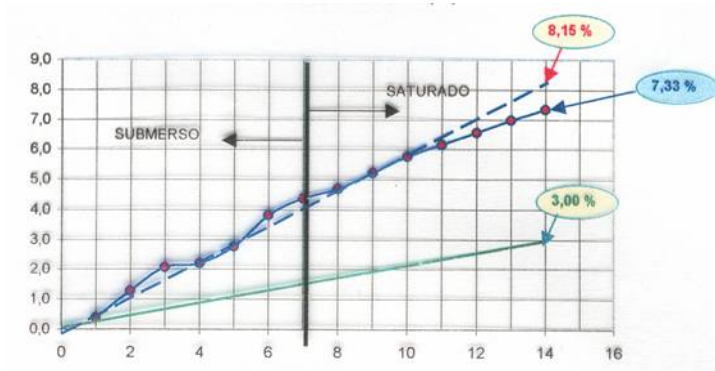
Sucessos e Insucessos: Pátio do Apart Hospital – Serra, ES

A escória utilizada na pavimentação do pátio do Apart-Hospital apresentou granulometria com excesso de finos e teores de cálcio e magnésio livre em teores que precociaram expansibilidade acima de 3,0 %, valor este preconizado pelo PTM 130.

A Tabela 11 apresenta o resultado do ensaio de expansão da escória de aciaria utilizada na pavimentação do pátio do Apart Hospital – Carapina – Serra – ES no valor de 7,33% que é superior ao preconizado pelo ensaio PTM-130 do Instituto de Engenharia da Pensilvânia – EUA que é de no máximo 3,0%. A ASTM C 1260/5 preconiza o índice de expansão de no máximo 0,10% para que o agregado seja considerado não reativo.

A Figura 2 mostra o gráfico com o resultado da Tabela 14 do ensaio de expansão da escória de aciaria utilizada na pavimentação do Pátio do Apart Hospital.

Nas Figuras 3 e 4 pode-se observar que apareceram trincas radiais, fissurações longitudinais irregulares e descontínuas generalizadas, soleirações longitudinais e transversais traduzidas por protuberâncias e deslocamentos rotacionais na camada do CBUQ.



Fonte: Consulpavi

Figura 3 – Gráfico mostrando o resultado do ensaio de expansão da escória de aciaria utilizada na pavimentação do Pátio do Apart Hospital.



Fonte: Consulpavi

Figuras 4 e 5 - Trincas e protuberâncias na camada do CBUQ do Pátio do Apart Hospital – Carapina – Serra – ES.

A Tabela 14 apresenta a análise química da escória de aciaria e a Tabela 15 apresenta a granulometria da escória de aciaria utilizada na pavimentação do Pátio do Apart Hospital.

Tabela 14 - Composição química da escória de aciaria (%) utilizada no Pátio do Apart Hospital.

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	FeO	S	CaO livre	MgO livre
45,8	11,6	16,4	12,4	2,0	1,0	10,4	2,6	0,19	3,9	3,1

Fonte: Consulpavi.

Tabela 15 – Granulometria da escória de aciaria utilizada no Pátio do Apart Hospital.

Peneira (mm)	50	32	25	19	9,5	4,75	2,0	1,25	0,075
Teor (%)	100	100	100	96	89	76	65	40	11

Fonte: Consulpavi.

5 CONCLUSÕES

Os estudos de laboratório mostraram que a utilização da escória graduada de aciaria como agregado atende ao que preconiza as normas do DENIT e que, quando comparada com a brita natural graduada, ambas com mesma granulometria (faixa A do DNER), e compactadas na mesma energia (proctor intermediário), apresentaram desempenho semelhantes no que tange ao seu comportamento quanto à deformidade elástica nas camadas de Base e de Sub-base.

Observou-se, também, que a escória graduada de aciaria apresentou módulo resiliente bem superior ao da brita natural graduada para quaisquer níveis de tensão confinante, comprovando seu excelente desempenho quanto às deformações elásticas conforme Ceratti e Vilela.⁽⁴⁾

Com o estudo dos resultados de expansão da escória de aciaria utilizada no pátio do Apart Hospital, pode-se observar que a escória de aciaria não deve apresentar expansão maior do que 3% como preconiza a norma PTM-130 do Instituto de Engenharia da Pensilvânia – EUA.

Agradecimentos

Agradecemos à Construtora Norberto Odebrecht S/A em nome do Engenheiro Gerente de Contrato Estevão Timponi pelo apoio na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 PTM - Pennsylvania Testing Method – 130, 1978. Método de ensaio para avaliação do potencial de expansão da escória de aciaria.
- 2 ASTM C 1260/5 – Standard Test Method for Potential Reactivity of Aggregates.
- 3 ASTM C 227 - Standard Method for samples.
- 4 CERATTI, Jorge A. P., VILELA, Antonio César F. Avaliação do tempo de estabilização da escória de aço-carbono para fins de camada de pavimento. Relatório Técnico. UFRS. 2002.