

EMPREGO DE AGREGADO SIDERÚRGICO (ESCÓRIA DE ACIARIA) EM BASE E REVESTIMENTO DE PAVIMENTO EM VIAS DA PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO¹

Fernando Machado Ramos²

Celso Reinaldo Ramos³

Vânia Luzia do Espírito Santos Tizo Láo³

Tatiane Rodrigues Costa⁴

Resumo

Conhecer o comportamento do emprego do Agregado Siderúrgico em base e revestimento asfáltico de pavimento, gerando uma fonte alternativa de agregados para pavimentação no Município do Rio de Janeiro. Verificar a diferença quando do emprego de Agregado Siderúrgico no processo de produção e aplicação de massa asfáltica. Estudo das vantagens técnica, ambiental e econômica quando comparado com o processo convencional. O trabalho trata do estado da arte do material desde a sua geração (escória de aciaria) até a sua aplicação final, de forma ambientalmente segura e tecnicamente correta. Quaisquer fatores que influenciem a economia do país repercutem em todos os ramos da sociedade, principalmente nos órgãos públicos, cujos recursos apresentam-se insuficientes para fazer frente à totalidade de obras viárias a serem implantadas ou conservadas. Tornam-se necessários esforços conjuntos de iniciativa privada e pública na adoção de técnicas de custos reduzidos para que possa ter mais obras executadas sem perder em técnica e economia. Levantamento bibliográfico para emprego do Agregado Siderúrgico em pavimentação. Estudo de traço de mistura asfáltica a quente e pedra graduada, com emprego de Agregado Siderúrgico. Aplicação da massa asfáltica e seu controle. Monitoramento do pavimento ao longo de sua vida em serviço. Estudo econômico. Com os estudos realizados até o momento atual de monitoramento de trecho executado, verifica-se que o Agregado Siderúrgico apresenta uma fonte importante de agregados para pavimentação, mostrando grande superioridade na resistência das camadas do pavimento, desenvolvendo boa textura superficial e excelente atrito, além de propiciar economia substancial ao projeto.

Palavras-chave: Agregado siderúrgico; Pavimentação; Base; Revestimento; Escória de aciaria.

THE USE OF STEEL AGGREGATE (STEEL SLAG) IN BASE AND PAVEMENT COVERING IN THE ROADS OF RIO DE JANEIRO CITY

Abstract

To know the application's manner of the Steel Aggregate in asphaltic basis and surface of the floor, generating an alternative source of aggregates for pavement in Rio de Janeiro. Verify the difference of the Steel Aggregate's usage in the process of asphalt's production and application. The study of the technical, environmental and economical advantages, in comparison with conventional process. The text concerns the material's state of the art, since its creation (steel slag) until its final application, in a safe environmental manner and proper technically. Any factors that influence the country economy, reverberate in all branches of the society, mainly civil services, whose resources present insufficient to face all road works, that need to be implemented or conserved. Efforts from the free and civil enterprise are necessary in relation to the usage of techniques of reduced costs, aiming to have more works, that are executed without lost, concerning technique and economy. Research of bibliography for the application of the steel Aggregate on pavement. Study of trace of hot asphaltic mixture and crushed stone, using Steel Aggregate. Application of asphalt and its control. Monitoring of the pavement during its period of work. Economic study. Due to the studies performed at the moment, monitoring the worked distance, it is verified that the Steel Aggregate presents an important source of aggregates for pavement, proving an advantage at the resistance of the pavement's layer, developing a good superficial texture and excellent friction, besides propitiate a substantial economy to the project.

Key words: Steel aggregate; Pavement; Base; Surface; Steel slag.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Engenheiro Civil (UFMG); Pós-graduado em Gerenciamento de Projetos (FGV-RJ); MBA em Gestão Ambiental (UFF); MultiServ Ltda. (21)2510-5180.*

³ *Mestre Engenharia Civil (COPPE/UFRJ); Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro (21) 2589-0454.*

⁴ *Engenheira Civil (FUMEC-MG); Pós-Graduada em Gestão de Negócios (FDC BH); Gerdau Aços Longos S.A. (21) 2414-6222.*

1 INTRODUÇÃO

O artigo compreende o levantamento dos aspectos tecnológicos quanto a especificação, processamento, valor e utilização do Agregado Siderúrgico (escória de aciaria) em aplicações em bases e revestimentos asfálticos de pavimentos rodoviários, de forma a subsidiar de informações pesquisas no Brasil relacionadas ao incremento da utilização do material.

1.1 Siderurgia

Os primeiros contatos do homem com o ferro (metal) foram a partir do ferro meteorítico; em torno de um terço dos meteoritos que atingem a superfície da Terra são de ferro, com teores variáveis de níquel. Desde tempos remotos o homem os utilizava na fabricação de ferramentas, adornos e armas.

Siderurgia é a indústria produtora de aço, a qual engloba os processos de obtenção de produtos à base de ferro (gusa, ferro-esponja, semi-acabados e laminados de aços). Pela sua expressão econômica e importância no contexto nacional, a siderurgia atua de forma pró-ativa na proposição e avaliação de temas relacionados às suas atividades e ao seu papel no contexto do desenvolvimento do País.

Em relação aos resíduos e co-produtos gerados pelos processos produtivos, o setor adota práticas que promovem a reciclagem e reutilização dos mesmos, de forma a minimizar os impactos ambientais. As empresas siderúrgicas têm realizado pesquisas em conjunto com universidades e instituições tecnológicas para o desenvolvimento de alternativas técnica, ambiental e economicamente viáveis para utilização de resíduos, transformando-os em co-produtos do processo de produção do aço.

Ao longo da história, o homem sempre utilizou os recursos naturais do Planeta gerando resíduos, porém sem se preocupar com o seu destino de forma ambientalmente correta. Com o passar do tempo a sociedade passa a pensar e atuar de forma a, cada vez mais, buscar uma melhor compatibilidade entre desenvolvimento, utilização dos recursos naturais e meio ambiente.

Todas estas operações da siderurgia estão atreladas a processos físico-químicos. Do ponto de vista ambiental, cada operação dentro de uma usina siderúrgica está associada ao consumo de matérias-primas, insumos e energia, gerando por sua vez, resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

Estes resíduos podem ser classificados em três grupos: os ditos recicláveis contendo ferro, os resíduos carboquímicos e as escórias.

1.2 Escórias Siderúrgicas

As escórias, de alto-forno e de aciaria, são uma das maiores classes de resíduos gerados em usinas siderúrgicas, porém já possuem uma larga utilização em outros processos industriais, ou emprego in natura. Seu emprego não é maior devido à competição com produtos naturais (calcário), alto custo do frete, necessidade de regulamentação, normalização. Do ponto de vista tecnológico, os aspectos envolvidos na sua aplicação e que precisam de especial atenção são a granulação (escórias de alto-forno) e o controle da expansão (escórias de aciaria).

Não obstante, com relação às quantidades de escória de siderurgia geradas, OLIVEIRA (2006, apud MASUERO et al., 1998; IBS, 2002; PENA, 2004), esclarece

que dentro da siderurgia, a escória de alto-forno (200 kg a 300 kg por tonelada de aço) e a escória de aciaria (116 kg a 120 kg de escória por tonelada de aço) são os resíduos sólidos de maior volume produzidos na fabricação do aço.

A seguir, destacam-se algumas das principais aplicações das escórias siderúrgicas:

- escórias de aciaria: pavimentação (sub-base, base, capa asfáltica), lastro ferroviário, artefatos de concreto (blocos, tubos, guias, blocos intertravados, etc.), contenção de encostas (rip-rap), gabiões, drenagens, fertilizante e corretivo de solos; e
- escórias de alto-forno: matéria-prima para a produção industrial (cimento, lâ mineral, indústria de vidro), bases de estrada, aterros, asfalto, corretivo de solos.

No que se refere à legislação sobre a disposição dos resíduos sólidos, muito pouco pode ser dito no momento. Isto porque seu manuseio, transporte e destinação final ainda não foram objetos de uma regulamentação específica, porém, inúmeras iniciativas estão tramitando na esfera legislativa.

No que tange à normatização técnica, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) já possui homologado normas relativas ao assunto: NBR 10004/2004 – Resíduos Sólidos: Classificação; NBR 10005/2004 – Lixiviação de Resíduos: Procedimentos; NBR 10006/2004 – Solubilização de Resíduos: Procedimentos; NBR 10007/2004 – Amostragem de resíduos: Procedimentos.

A gestão ambiental da escória de aciaria, assim como de outros resíduos, deve ser entendida como uma filosofia de gerenciamento observando-se igualmente critérios técnicos, econômicos e ambientais associados à sua geração, manuseio, processamento, estocagem e destinação final. Os critérios técnicos do processamento e destinação final devem fundamentar-se na melhor tecnologia disponível e aplicável à rota selecionada. Já os critérios econômicos conferem sustentabilidade ao sistema, e os ambientais previnem possíveis impactos que são nocivos à biota e à saúde humana, além de preservar os recursos naturais.

Uma gestão ambiental eficaz da escória de aciaria implica necessariamente na sua valoração econômica, ou seja, a escória de aciaria deve ser entendida como um recurso mineral sintético, uma oportunidade de negócio à indústria geradora. Embora o meio ambiente seja um manancial de recursos latentes, pouco utilizados, importantes de serem identificados e valorados economicamente, não podemos ignorar que o conceito de recursos está condicionado a variáveis históricas, culturais e ao estágio de desenvolvimento tecnológico. Num dado momento da história, o nível de conhecimento tecnológico permite sua utilização de forma econômica e socialmente aceitável. É recurso hoje é o que não foi recurso ontem. Poderá ser recurso amanhã o que não foi percebido como recurso hoje. O exposto indica a necessidade imperativa da indústria siderúrgica de priorizar a gestão ambiental eficaz de seus resíduos, contribuindo assim para sua própria sobrevivência e comungando com os preceitos do desenvolvimento sustentável.

1.3 Mistura Asfáltica

A Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (PCRJ) através do corpo técnico de sua Secretaria de Obras, vem há muitos anos direcionando seus estudos em busca de ligantes e misturas asfálticas de maneira a solucionar ou minimizar a problemática causada ao usuário pelas deformações plásticas da camada do revestimento dos pavimentos de seus logradouros, que é um dos defeitos

característicos dos corredores urbanos de tráfego pesado e intenso e que conta com a contribuição de temperaturas ambiente elevadas.

Com esta forma de proceder e com o arrojo de seu corpo técnico foram estudadas misturas asfálticas com esqueleto mineral mais estruturado e as que despontam no cenário nacional e internacional como promissoras na solução de inúmeros problemas freqüentes na pavimentação.

Entretanto, o Estado do Rio de Janeiro carece de agregados que apresentem desgaste a abrasão Los Angeles abaixo de 40%, sendo uma dificuldade a mais quando se pensa em utilizar tecnologia que depende em grande parte da estruturação do esqueleto mineral.

A legislação ambiental, devido à necessidade de preservar a natureza, vem fazendo com que haja a redução de exploração mineral, o que provoca um acréscimo relevante do custo do agregado mineral. Os órgãos ambientais têm incentivado todas as áreas a desenvolverem materiais e processos através de reciclagem, e no caso da pavimentação os Agregados Siderúrgicos passam a ser uma matéria-prima alternativa de qualidade, que não degrada o meio ambiente e apresenta custo inferior aos agregados naturais.

Com este objetivo, a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, a Gerdau (unidade Cosigua) e a MultiServ Ltda. desenvolveram em convênio estudos que possibilitaram: compor os materiais da base do pavimento; fabricar misturas asfálticas para o revestimento do pavimento; ambos empregando Agregado Siderúrgico e; adequar os processos de fabricação e de execução. Estes estudos estão relatados neste trabalho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Estudo Desenvolvido

2.1.1 Trechos em estudo

Foram selecionados três trechos para o desenvolvimento dos estudos ora apresentados. O primeiro trecho com 4.453 m², o segundo com 1.674 m² e o terceiro com 1.296m², todos situados na Avenida João XXIII no Distrito Industrial de Santa Cruz. Trata-se de uma via de grande solicitação de carga, sendo considerado o número equivalente ao eixo padrão de 8,2t igual a 10⁸.

O estado superficial do revestimento do pavimento apresentava defeitos severos, além do mesmo apresentar greide inferior ao da pista de saída do pólo industrial.

Com base em sondagens, avaliações deflectométricas e com a necessidade de levantamento de greide, adotou-se a estrutura apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Estrutura do pavimento implantado

Revestimento Asfáltico	Capa	6 cm
	Binder	6 cm
Base, CBR > 80%		20 cm
Sub-base > 20%		20 cm

2.2 Estudo de Laboratório

2.2.1 Materiais empregados nas camadas de base e revestimento

- *Ligante Asfáltico*

O ligante asfáltico empregado na fabricação da mistura asfáltica foi o cimento asfáltico de petróleo tipo 30-45. Suas características são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características do CAP 30-45

Ensaios antes do RTFOT	CAP 30/45	Especificação	Método
Densidade, 25° C/25°C	1,05	-	D 70
Penetração, 0,1mm (100g, 5s a 25°C)	31	30-45	NBR-6576
Ponto de amolecimento, °C	55,4	52 mín	NBR-6560
IP	-0,99	-1,5 a 0,7	
Ponto de fulgor, VAC, °C	348	235 mín	NBR-11341
Ductilidade, 25°C, cm	>100	60 mín	NBR-6293
Viscosidade Saybolt-Furol, 135°C	266	192 mín	NBR-14950
Viscosidade Saybolt-Furol, 150°C	130	90 mín	NBR-14950
Viscosidade Saybolt-Furol, 177°C	48	40-150	NBR-14950
Solubilidade em tricloroetileno, %	99,98	99,5 mín	NBR-14855
Ensaios após do RTFOT			
RTFOT - Variação em massa, %	-0,03	0,5 Max	D2872
RTFOT - Penetração Retida, %	63,8	60 mín	NBR-6576
RTFOT - Ductilidade a 25°C, cm	>100	10 mín	NBR-6293
RTFOT - Aumento do ponto de amolecimento, °C	3,1	8 máx	NBR-6560

- *Agregado Siderúrgico (Escória de Aciaria)*

As escórias siderúrgicas são consideradas, universalmente, como uma fonte potencial de matérias-primas artificiais de excelentes qualidades técnicas e de baixo custo ao substituir agregados naturais, com importante economia energética em sua área de influência.

As siderúrgicas estão cada vez mais se ajustando para preservar o meio ambiente, sendo as principais recicladoras de sucatas de ferro. As escórias, fruto deste processo de reciclagem, estão sendo tratadas, classificadas e certificadas, passando então a ser denominadas de “Agregados Siderúrgicos”, que devidamente beneficiados podem substituir os agregados naturais, sem a desvantagem da degradação do meio ambiente. Estudos diversos sobre os impactos ambientais dos agregados siderúrgicos indicam ser de baixo impacto e não prejudicial à saúde.

A Gerdau Cosigua, juntamente com a MultiServ (empresa processadora de escórias), já promovem o beneficiamento da escória de aciaria através de um processo cuidadoso de separação granulométrica e cura em pátio amplo destinado exclusivamente para o envelhecimento da escória posteriormente disponibilizando-a ao mercado em determinada faixa granulométrica (variam de 0” a 1/2” e de 1/2” a 2 1/2”) e com garantia de seu potencial de expansão, permitindo desta forma seu emprego sem risco em camadas do pavimento.

O Agregado Siderúrgico apresenta massa específica aparente solta da ordem de 2,0 t/m³, baixo desgaste a abrasão Los Angeles, inferior a 20%, e CBR, quando bem graduado, acima de 100%.

- *Agregado Natural*

Foi utilizado nos estudos pó de pedra procedente da pedreira Santa Luzia, que atendeu as especificações técnicas da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro que são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características do pó de pedra

Característica	Unidade	Limite	Métodos
Equivalente de areia	%	> 60%	DNER ME 54/97
Granulometria			
Peneiras	mm	% Passante	DNER ME 83/98
9,520		100	
4,750		90-100	
2,000		70-95	
0,425		40-60	
0,177		20-40	
0,075		8-18	

O pó de pedra deverá ser livre de torrões, de argila, material orgânico e substâncias nocivas. Este material foi empregado na composição do material granular aplicado na camada de base e na produção das misturas asfálticas do tipo binder e capa.

Misturas mais pobres de pó de pedra podem ser obtidas com a substituição por agregado siderúrgico fino, dependendo da adequação granulométrica e da dosagem dos materiais.

2.2.2 Composição dos materiais para as camadas de base e revestimento

- *Camada de Base*

A composição dos materiais da camada de base foi obtida através do método das tentativas em função da granulometria da escória e do pó de pedra fornecidos, de forma que atendessem a faixa granulométrica “B” para bases granulares especificadas pelo DNIT. Os percentuais de cada material foram de 48% de escória e 52% de pó de pedra obtendo-se a granulometria desta composição a apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Granulometria do material granular da camada de base

Peneiras	Mistura	Faixa B do DNIT
mm	% Passante	
50,800	100	100
25,400	100	75 – 90
9,520	72,2	40 – 75
4,750	55,4	30 – 60
2,000	44,1	20 – 45
0,425	24,3	15 – 30
0,075	5,1	5,1 – 15

- *Revestimento Asfáltico*

O estudo desenvolvido na elaboração do projeto de Concreto Betuminoso Usinado a Quente para camada de binder e rolamento com Agregado Siderúrgico, agregado natural e ligante asfáltico do tipo CAP 30/45, foi norteado segundo as “Especificações da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro” e “Especificações Gerais para Obras Rodoviárias do DNIT” para “Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico - NORMA DNIT- 031/2004-ES”.

As misturas foram dosadas pelo Método DNER-ME-43/1995, com adoção de 75 golpes por face e com emprego das temperaturas de processo e compactação obtidas na curva de viscosidade SSF, em função da variação da temperatura.

A composição das misturas em relação aos agregados foi obtida através do método das tentativas em função de suas granulometrias, de modo que atendessem a faixa granulométrica especificada para os projetos de mistura. Estas são apresentadas na Tabelas 5, 6, 7 e 8.

Tabela 5 – Composição dos materiais

Faixas	D 12	D12
Revestimento	Binder	Capa
Materiais	Composição, %	
Escória	60	45
Pó de Pedra	40	55

Tabela 6 – Granulometria obtida da mistura dos agregados para binder e capa

Mistura		Binder	Faixa GB 020	Capa	FAIXA D 12
Peneiras		% Passante			
ASTM	mm				
1"	25,40	100	100	100	100
3/4"	19,10	100	100	99	100
1/2"	12,50	75	60 – 75	87	80 – 95
3/8"	9,52	62	53 – 68	78	72 – 87
Nº 4	4,75	42	39 – 55	52	50 – 65
Nº 8	2,36	-	-	-	35 – 50
Nº 10	2,00	32	24 – 40	41	-
Nº 30	0,59	-	-	29	18 – 30
Nº 40	0,425	17	12 – 26	-	-
Nº 50	0,30	-	-	18	13 – 23
Nº 80	0,177	8	6 – 18	-	-
Nº 100	0,155	-	-	10	7 – 15
Nº 200	0,075	3	2 – 10	5	5 – 8

Tabela 7 – Características das misturas asfálticas

Misturas	Binder		Capa	
	Obtidas	Especificadas	Obtidas	Especificadas
Características				
CAP 30/45, % em massa	5,2	5,2 ± 0,2	5,7	5,7 ± 0,3
Resistência a Tração por Compressão Diametral, MPa	1,90	0,65 mín.	1,87	0,65 mín.
Densidade Teórica, g/cm ³	2,917	2,917	2,789	2,789
Densidade Aparente, g/cm ³	2,761	2,761	2,68	2,68
Vazios, %	5,35	5,35	3,90	3,90
RBV, %	71,8	71,8	78,8	78,8
Estabilidade, Kgf	1300	≥ 1000	1200	≥ 1000
Fluência, 1/100"	15	15	15	12 – 18

Tabela 8 – Composição final das misturas

Tipo de Mistura	Binder	Capa
Materiais	Quantidades %	
Escoria	56,88	42,4
Pó de Pedra	37,92	51,9
CAP 30-45	5,2	5,7

2.3 Controle

Os resultados ora apresentados são apenas do trecho 1.

2.3.1 Camada de base

Durante a execução da base o material granular foi coletado e ensaios de granulometria e de CBR foram realizados. Depois de concluída a base procedeu-se a avaliação deflectométrica. Os gráficos da Figura 1 e 2 apresentam os resultados obtidos.

2.3.2 Camada de revestimento

Durante a fabricação e aplicação das misturas asfálticas, binder e capa, amostras foram coletadas e analisadas em laboratório, possibilitando a comparação com os parâmetros especificados em projeto. A tabela 9 apresenta valores médios dos resultados da análise das misturas asfálticas coletadas na pista e os gráficos das Figuras 1 e 2 as deflexões em 0,01 mm obtidas nas camadas de base, binder e capa do trecho 1.

Periodicamente avaliações funcionais do revestimento vêm sendo realizadas. Estudos estão sendo desenvolvidos para verificar a macro e microtextura da superfície do revestimento, o comportamento da estrutura do pavimento e da mistura asfáltica após um ano de vida de serviço.

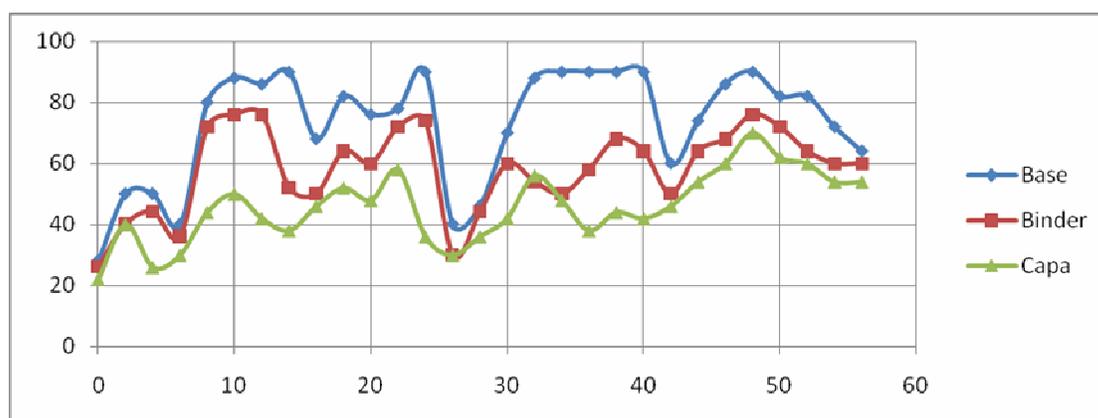


Figura 1 - Avaliação Deflectométrica do bordo direito da via em função do estaquiamento admitido na obra.

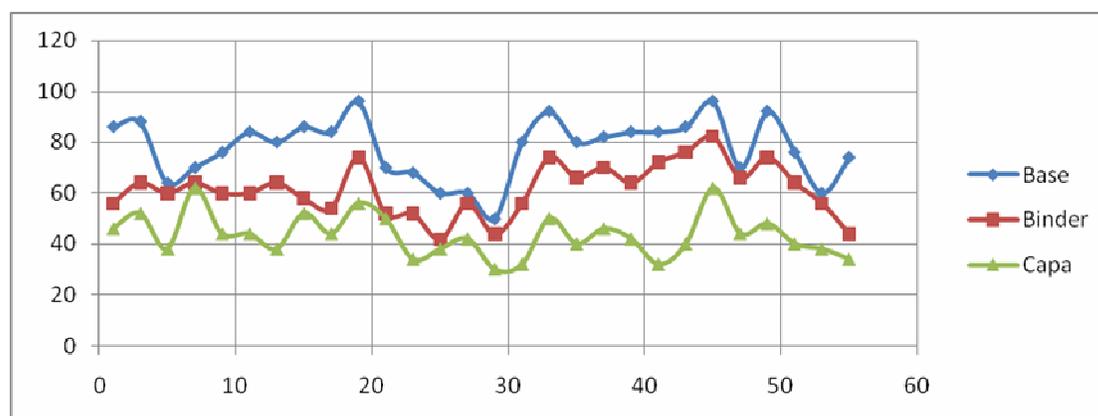


Figura 2 - Avaliação Deflectométrica do bordo esquerdo da via em função do estaquiamento admitido na obra.

3 RESULTADOS

3.1 Execução do Pavimento

3.1.1 Execução da base

Os materiais foram lançados na pista em camadas nas proporções obtidas em laboratório, sendo a primeira camada de pó de pedra e a segunda de escória. Em seguida, estas foram homogeneizadas com auxílio de uma Patrol, adicionado água para que atingisse a umidade ótima determinada em laboratório e, então, compactada com rolos vibratório e pneumático. Após liberação da base, pelo ensaio deflectométrico, esta foi imprimada com asfalto diluído tipo CM – 30 e mantida interdita ao tráfego.

3.1.2 Processamento da mistura asfáltica

As misturas asfálticas foram fabricadas na usina da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro localizada no Pólo Industrial de Campo Grande, que é uma usina do tipo DRUM MIXER, automatizada, de contra fluxo, com produção de 50 toneladas a 80 toneladas.

A mistura asfáltica foi produzida obedecendo às seguintes orientações:

* Temperatura

Faixas de temperaturas de processo e de compactação das misturas asfálticas.

CAP30-45 150°C a 160°C

Agregados 160°C a 170°C

Compactação 140°C a 150°C

As temperaturas das misturas e do ligante asfáltico não excederam a 177°C.

3.1.3 Execução do revestimento asfáltico

Tanto a camada de binder como a de capa foram aplicadas com vibroacabadora e compactadas com rolos vibratório e pneumático. Após o término da aplicação do binder, avaliações deflectométricas foram realizadas e esta camada liberada para receber a pintura de ligação com emulsão RM-1C diluída na proporção de 1:1. Após a cura da emulsão, foi aplicada a capa que posteriormente também sofreu avaliações deflectométricas.

3.2 CONTROLE DO PAVIMENTO

3.2.1 Camada de base

Durante a execução da base, o material granular foi coletado e ensaios de granulometria e de CBR foram realizados. Depois de concluída a base, procedeu-se a avaliação deflectométrica. O gráfico da Figura 1 apresenta os resultados obtidos.

3.2.2 Camada de revestimento

Durante a fabricação e aplicação das misturas asfálticas, binder e capa, amostras foram coletadas e analisadas em laboratório, possibilitando a comparação com os parâmetros especificados em projeto. A Tabela 9 apresenta valores médios dos resultados da análise das misturas coletadas na pista.

Avaliações deflectométricas após o término destas camadas também foram realizadas (Figura 1).

Tabela 9 – Valores médios obtidos na análise das misturas coletadas na pista

Misturas		Binder		Capa	
Características		Obtidas	Especificadas	Obtidas	Especificadas
CAP 30/45, % em massa		5,3	5,2 ± 0,2	5,8	5,7 ± 0,3
Resistência a Tração por Compressão Diametral, MPa		1,58	0,65 mín.	1,62	0,65 mín.
Densidade Teórica, g/cm ³		2,901	2,917	2,784	2,789
Densidade Aparente, g/cm ³		2,73	2,761	2,665	2,68
Vazios, %		5,89	5,35	4,81	3,89
RBV, %		70,8	71,8	75,2	78,8
Peneiras		% Passante			
ASTM	mm	Obtidas	Faixa Trabalho	Obtidas	Faixa Trabalho
1"	25,40	100	100	100	100
3/4"	19,10	100	100	100	100
1/2"	12,50	75	71 – 75	93	80 – 94
3/8"	9,520	65,2	55 – 68	76,5	75 – 85
Nº 4	4,750	42,8	39 – 47	57	50 – 57
Nº 8	2,360	-	-	46	36 – 46
Nº 10	2,000	27,0	27 – 37	-	-
Nº 30	0,590	-	-	28,8	25 – 30
Nº 40	0,425	13,4	12 – 22	-	-
Nº 50	0,300	-	-	17	13 – 23
Nº 80	0,177	7,4	6 – 11	-	-
Nº 100	0,155	-	-	8,8	8 – 12
Nº 200	0,075	4,8	2 – 5	5,5	5 – 7

3.2.3 Custo

Na época da execução da pavimentação com Agregado Siderúrgico, o mercado do Rio de Janeiro praticava o seguinte custo.

Tabela 10 – Custo no Mercado do Estado do Rio de Janeiro

Materiais	Escória	Brita 0	Pó de Pedra	CAP 30-45
Valor unitário, R\$/t	27,95	59,00	32,70	1242,90

Verificou-se que a escória apresenta custo inferior a brita 0, representando uma economia da ordem de 50 % na aquisição de brita 0.

Não foi considerado o custo do ligante tendo vista que o teor de CAP na mistura não revelou valores diferentes dos usuais utilizados na mistura asfáltica no Município do Rio de Janeiro com agregados naturais.

4 CONCLUSÃO

Com base nos estudos de laboratório e aplicação de campo, não se verificou impedimento para emprego de mistura de Agregado Siderúrgico e agregado natural britado para camadas de pavimento, entretanto a garantia de que o agregado siderúrgico apresente baixo potencial de expansão é importante.

O trecho executado no Distrito Industrial de Santa Cruz vem sendo monitorado e até o momento seu comportamento apresenta excelente desempenho.

O Agregado Siderúrgico apresentou custo atraente em relação a brita 0, com economia da ordem de 50%, e excelentes propriedades técnicas requeridas para este tipo de aplicação.

A aderência superficial da mistura asfáltica com agregado siderúrgico em relação ao agregado natural britado, na mesma faixa granulométrica, é sensivelmente superior, dando maior segurança ao usuário principalmente em dias de chuvas.

O agregado siderúrgico apresentou desgaste Los Angeles inferior a 20%, aspecto importante para estruturação do esqueleto mineral, e também para balancear mistura com agregados naturais britados cujo valor típico da maioria das pedreiras no Rio de Janeiro é superior a 40%, para brita 0.

Sabemos que maiores estudos devem ser realizados para emprego do Agregado Siderúrgico em revestimentos asfálticos, porém pela tendência futura no campo ambiental pela dificuldade de exploração mineral de pedreiras e, no campo econômico pela ampliação do pólo siderúrgico no Estado do Rio de Janeiro, o Agregado Siderúrgico passa a ser uma excelente alternativa para emprego em camadas de pavimentação.

Agradecimentos

À Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro; À MultiServ Ltda; À Gerdau Aços Longos S.A.

REFERÊNCIAS

- 1 AN INTRODUCTION to iron and steel processing. Tokyo: JFE 21st Century Foundation, 2003. Cap. 2.
- 2 IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, Asfalto em Revista, Ano I, nº. 1, Rio de Janeiro, Set/Out 2008.
- 3 IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia – Balanço social da siderurgia, 2002.
- 4 IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia – Siderurgia Brasileira - Relatório de Sustentabilidade, 2008.
- 5 Introdução à Siderurgia – Coleção Metalurgia e Materiais, 2007, ABM (vários autores. Coordenador: Marcelo Breda Mourão).
- 6 LENZ E SILVA, G.F.B. *reciclagem de resíduos siderúrgicos sólidos contendo ferro via tecnologia de aglomeração através da solução de um modelo multicriterial hierárquico e de programação linear*. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 7 MASUERO, A.B.; VILELA, A.C.; DAL MOLIN, D. Utilização de escórias de aciaria e de cobre como adições para concreto. In: International congress of concrete technology, Buenos Aires. Anais, p. 447-460, 1998.
- 8 PENA, D.C. Avaliação da expansibilidade da escória de aciaria LD curada a vapor para utilização em peças de concreto para pavimentação. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2004.
- 9 OLIVEIRA, F.U. Avaliação de três métodos de ensaio para determinação do potencial de expansão de escórias de aciaria para uso em pavimentação. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2006.
- 10 SILVA, J. B. Reis da; et al; Análise de risco ambiental no uso de escória de aciaria para aplicações rodoviárias. 61^º Congresso Anual da ABM, 2006.
- 11 UNITED STATES. Environmental Protection Agency. EPA Office of Compliance Sector Notebook Project. *Profile of the iron and steelmaking industry*. Washington, 1995.
- 12 UNITED STATES. Environmental Protection Agency. Ferrous metals production. *Profile of the iron and steelmaking industry*. Washington, 1995 (www.epa.gov/epaoswer/other/mineral).