

ESTRADAS E PAVIMENTAÇÃO

SUMÁRIO

1-	ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DE UMA ESTRADA	3
2-	CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS	10
3-	USINAS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS	18
4-	TIPOS DE SISTEMAS DE DOSAGEM E MISTURA EM USINA DE ASFALTO	22
5-	FALTA DE CONTROLE DE PESO E ADEQUAÇÕES	28

REFERÊNCIAS

1- ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DE UMA ESTRADA

Três fases são essenciais na construção de uma rodovia: planejamento, projeto e construção. No planejamento define-se a função principal da rodovia, que pode ser comercial, turística ou militar. A finalidade a que se destina a rodovia determina seu traçado, resistência e materiais a serem usados no projeto.



Se a rodovia for destinada a uso comercial, seu traçado é curto e deve permitir acesso rápido e fácil aos centros econômicos da região a ser integrada. A rodovia turística precisa ligar todos os pontos de interesse. Uma estrada desse tipo só eventualmente servirá para o transporte de cargas e assim poderá ter curvas fechadas e rampas íngremes, com menor capacidade de escoamento do tráfego. A rodovia de finalidade militar deve aproveitar ao máximo a topografia do terreno e reduzir o uso de obras de arte (viadutos e pontes), alvos fáceis de ataques.

Na fase do planejamento são calculados também o volume, velocidade e densidade do tráfego, os tipos e pesos dos veículos que farão o trânsito na rodovia, as horas de

O perfil longitudinal da rodovia é uma sucessão de rampas, planos e declives condicionados pela topografia do terreno, cujas ondulações são atenuadas por uma sucessão de cortes e aterros. As rampas e declives só muito raramente excedem a inclinação de cinco por cento e os diversos segmentos são ligados por curvas circulares ou parabólicas.

O perfil transversal é formado por uma pista pavimentada, protegida por acostamentos laterais e depende do tráfego previsto e da ondulação natural do terreno. A pista pode ter largura que varia de 2,5m em estradas secundárias até 12 ou 18 metros nas rodovias principais. Nas estradas com largura superior a 12m, é freqüente o emprego de duas pistas, separadas por canteiros de dois a cinco metros de largura, gramados ou arborizados. Cada pista é destinada ao trânsito em mão única. Nos trechos em corte a pista é protegida lateralmente por valetas, de modo a assegurar o rápido escoamento das águas das chuvas.

O pavimento é a superfície lisa e impermeável sobre a qual os veículos circulam, constituída de material de resistência e durabilidade adequadas ao tráfego estimado e às condições meteorológicas. O pavimento compõe-se de duas partes: a primeira, que é a camada de fundação, serve de alicerce e a segunda, denominada camada de desgaste, é disposta por cima da primeira e constitui a superfície.



A camada de fundação destina-se a oferecer resistência às cargas verticais e transmiti-las ao terreno, distribuindo-se por uma área cuja extensão varia de acordo com a consistência do solo. Usa-se geralmente uma camada de macadame ordinário (feita de brita e saibro fortemente compactados) ou de concreto magro. A espessura depende da natureza do terreno e do valor das cargas que vão transitar pela estrada e oscila entre 15 e 25cm.

A camada de desgaste deve ter as seguintes características: resistência às cargas verticais e ao desgaste, superfície plana e aspereza para evitar as derrapagens. O efeito mais violento a combater é o desgaste provocado pelas rodas dos veículos, o que exige o uso de materiais resistentes e aglutinados, capazes de evitar o desagregamento pela ação das rodas. Entre os tipos mais comuns de pavimento de desgaste destacam-se o macadame ordinário revestido de uma camada betuminosa, paralelepípedos ou placas de rocha dura, agregado impregnado de asfalto, concreto etc., cuja escolha exige estudos prévios sobre a intensidade do tráfego e a tonelagem média. Enquanto as rodovias de tráfego leve devem ser dotadas de pavimento aderente e resistente ao desgaste, as de tráfego pesado exigem camadas de fundação mais sólidas.

Sinalização e manutenção

Depois da abertura da estrada e preparação do pavimento de acordo com as especificações do projeto, é feita a demarcação e sinalização da rodovia, de modo a orientar os motoristas quanto aos limites de velocidade adequados a cada trecho, às entradas e saídas e às distâncias de cada localidade servida pela rodovia. A obra é terminada com a arborização e outros acabamentos de caráter paisagístico.

A manutenção da estrada, geralmente função de órgãos públicos ou supervisionada por eles, deve ser permanente e interferir o mínimo possível com o fluxo de tráfego. Dependendo do tipo de pavimento, será preciso remendar buracos na superfície asfáltica, cimentar rachaduras no concreto, nivelar estradas de terra com o uso de tratores, renivelar placas de concreto mediante a injeção de material, consertar

proteções, reparar valetas, aterros e cortes, pintar a sinalização e remover a vegetação excessiva.



Os transportes fluvial, naval, ferroviário e aéreo são de importância vital para a economia de cada país. A rodovia, no entanto, mantém sua antiga e insubstituível finalidade de comunicação e abastecimento dos núcleos populacionais. Sua construção e manutenção continuam sendo atividades essenciais à infra-estrutura de cada nação

Construção de rodovias: Entenda o procedimento



Você já deve ter se perguntado alguma vez como uma rodovia é construída, e qual seria o procedimento para chegar ao resultado final.

A resposta é que, para que ela se torne de fato uma rodovia, são muitas etapas e detalhes que vão desde estudos prévios, até a escolha de **produtos asfálticos** para que ela esteja preparada para a circulação dos veículos.

Além destes, existem outros diversos detalhes que fazem parte deste processo e outros requisitos a cumprir. Continue lendo para saber mais informações sobre a construção de rodovias.

Rodovia: o que é

Rodovia é uma **via pavimentada e pública**, destinada ao tráfego de veículos de todos os tamanhos, principalmente aqueles que apresentam grande porte. Por ela, passam as principais **transportadoras de cargas e passageiros**, por isso ela é tida como um elemento linear, que se estende por diversas regiões.

Por trás de um projeto de construção de rodovias, sempre existem diversos interesses e fatores a serem levados em conta, como por exemplo, o desenvolvimento social, econômico e a interligação de regiões. Até que elas sejam construídas, existirão muitas etapas.

Fase de construção

Existem três fases a serem seguidas para que a obra de uma rodovia obtenha sucesso, entre elas:

Planejamento

É no planejamento que é decidida a **principal função da rodovia**, se turística, comercial ou militar. Além de pensar nos cálculos de volume, densidade do peso, e tipos de veículos que passarão por ela.

Projeto

Momento onde se desenha, calcula e entende o projeto todo para deixar tudo pronto para a etapa seguinte, que é a construção.

Construção

A hora de colocar o projeto em prática, e para isso, é necessária uma **equipe especializada**, e um material de qualidade para que a obra possa suportar o peso dos automóveis.

Quais as etapas para a construção de rodovias?

Para a construção de rodovias, o processo é bastante extenso. São mais de **20 fases** até chegar ao momento de aplicação do chamado selante asfáltico, e estar apta para a passagem dos transportes.

Entre as etapas, as mais importantes incluem:

- O desmatamento com um trator de esteira;
- A fundação de toda a estrutura;
- Estaqueamento (por meio de escavação, cravação a percussão, prensagem ou vibração de madeira, etc);
- Terraplanagem de bueiro;
- Corte;
- Compactar o solo.

2- CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS

O nível de desempenho em serviço de um determinado agregado depende também das propriedades geológicas da rocha de origem. São importantes, portanto, informações sobre o tipo de rocha, sua composição mineralógica, sua composição química, sua granulação, seu grau de alteração, sua tendência à degradação, abrasão ou fratura sob tráfego e o potencial de adesão do ligante asfáltico em sua superfície. A variedade de agregados passíveis de utilização em revestimentos asfálticos é muito grande. Contudo, cada utilização em particular requer agregados com características específicas e isso inviabiliza muitas fontes potenciais.

Os agregados utilizados em pavimentação podem ser classificados em três grandes grupos, segundo sua (i) natureza, (ii) tamanho e (iii) distribuição dos grãos.

Quanto à natureza Quanto à natureza, os agregados são classificados em: natural, artificial e reciclado. Natural – Inclui todas as fontes de ocorrência natural e são obtidos por processos convencionais de desmonte, escavação e dragagem em depósitos continentais, marinhos, estuários e rios. São exemplos os pedregulhos, as britas, os seixos, as areias etc. Ou seja, os agregados naturais podem ser empregados em pavimentação na forma e tamanho como se encontram na natureza, ou podem ainda passar por processamentos como a britagem. Os agregados provenientes de rochas naturais pertencem a um de quatro tipos principais, que são ígneos, sedimentares, metamórficos ou areias e pedregulhos: I rochas ígneas são aquelas que se solidificaram de um estado líquido e apresentam composição química, granulação, textura e modos de ocorrência muito variáveis. Alguns tipos são resultantes de esfriamento lento de grandes massas no interior da crosta terrestre, resultando, por exemplo, em granitos e dioritos de granulação grossa. Outros tipos são extrusivos, provenientes de fluxos de lava para a superfície da Terra, resultando em rochas de granulação fina, como os basaltos; I rochas sedimentares são tipicamente formadas pelo intemperismo e erosão de rochas preexistentes, e seu resultado transportado pela ação da água, vento ou gelo. São caracterizadas por camadas estratificadas, originadas pelos processos de deposição. Elas podem ser formadas também por precipitação química de minerais dissolvidos em água, como é o caso do calcário; I

rochas metamórficas ocorrem como resultado de alteração por aquecimento, pressão ou atividade química de rochas ígneas ou sedimentares existentes e compõem um grupo bastante complexo de rochas; I areias e pedregulhos são agregados naturais, provenientes das rochas de que são originários e dos processos de transporte sofridos antes da deposição.

Os agregados naturais são compostos por diferentes minerais, com composições variáveis. Mesmo com agregados de mineralogia uniforme, as suas propriedades podem ser alteradas pela oxidação, hidratação, lixiviação ou intemperismo. Entretanto, a mineralogia não pode produzir sozinha uma base para prever o comportamento de um agregado em serviço. Exames petrográficos são úteis, e o desempenho de agregados similares em obras existentes, sob condições ambientais e de carregamento semelhantes ajuda na avaliação dos agregados. O quartzo e o feldspato são minerais duros e resistentes ao polimento e são normalmente encontrados em rochas ígneas, tais como granito e granito-gnaiss. Por outro lado a calcita e a dolomita que ocorrem no calcário são exemplos de minerais macios. O calcário tem uma alta porcentagem de materiais macios que tendem ao polimento mais rapidamente do que a maioria dos outros tipos de agregados.

A instrução de ensaio do DNER-IE 006/94 pode fornecer uma indicação da presença de minerais que podem dar às rochas uma tendência maior ou menor ao polimento quando usadas como agregados para fins rodoviários. Essa instrução de ensaio apresenta uma metodologia de análise petrográfica, tanto microscópica como macroscópica, de materiais rochosos empregados em rodovias. A descrição microscópica deve ser feita através da análise em lâmina delgada que deverá indicar características como granulação, textura e estrutura, composição mineralógica, modos de ocorrência e minerais secundários. Também deve indicar o estado e o estágio de alteração dos minerais primários, os diferentes tipos de microfissuras e suas densidades, presença de vazios ou poros, natureza dos materiais, sílica na forma amorfa ou criptocristalina, vidros vulcânicos ricos em sílica, alumina livre, zeólitas, sulfetos e minerais argílicos do tipo expansivo. A descrição macroscópica compreende a indicação de características gerais tais como cor, granulação, mineralogia, classificação genética sumária, textura, estrutura, alteração, coerência e grau de ocorrência. A análise petrográfica pode ser uma análise visual das partículas

individuais dos agregados usando um microscópio óptico, às vezes complementado por difração de raios X, análise térmica diferencial, microscopia eletrônica ou análises químicas. Pode ser usada para medir a quantidade relativa dos tipos de rochas e minerais, os atributos físicos e químicos (tais como forma da partícula, textura superficial, dureza, características de porosidade e atividade química), e a presença de contaminantes nocivos. Análises petrográficas mais detalhadas, como a de lâmina delgada, devem ser mais utilizadas na prática da pavimentação, uma vez que a quantidade de informações obtida é elevada e de grande importância.

As rochas ígneas são também classificadas segundo a quantidade de sílica presente, O sentido dos termos ácido e básico não corresponde ao utilizado na química, mas está relacionado à carga elétrica superficial das partículas do agregado. Os minerais nas partículas de agregados apresentam seus átomos dispostos em uma rede cristalina, onde os átomos da superfície exercem atração sobre átomos de gases, líquidos ou sólidos que com ela tenham contato, promovendo a adsorção química. Essa adsorção é o principal fator na adesividade entre o agregado e os ligantes asfálticos. A maioria dos agregados silicosos tais como arenito, quartzo e cascalho torna-se negativamente carregada na presença de água, enquanto materiais calcários conduzem carga positiva na presença de água. Muitos agregados contêm ambas as cargas porque são compostos de minerais tais como sílica com carga negativa e também cálcio, magnésio, alumínio ou ferro com carga positiva. Agregados típicos que apresentam essa condição incluem basaltos e calcários silicosos. A dolomita é um exemplo de caso extremo de agregado eletropositivo e o quartzito um exemplo de agregado eletronegativo. Os agregados de rochas classificadas como ácidas costumam apresentar problemas de adesividade, enquanto os de rochas classificadas como básicas costumam apresentar melhor adesividade ao ligante asfáltico.

Em algumas regiões do país onde existe falta de material rochoso, um dos principais materiais alternativos utilizados na construção rodoviária são as concreções

lateríticas, obtidas por peneiramento e, às vezes, complementadas por lavagem. Conforme Guimarães e Motta (2000), denomina-se no meio rodoviário brasileiro de laterita a um solo concrecionado enriquecido com óxidos hidratados de ferro ou alumínio, tendo a caulinita como argilo-mineral predominante, com coloração vermelha, amarela, marrom ou alaranjada. Nogami e Villibor (1995) citam que as lateritas contêm também freqüentemente a magnetita, a ilmenita, a hematita e, sobretudo, o quartzo; e ainda alertam para um dos problemas da laterita que é a grande variação de propriedades, o que dificulta a previsão de comportamento. Em misturas asfálticas, empregam-se preferencialmente as lateritas lavadas, resultantes do processo de separação dos agregados graúdos desse material, maiores que 4,8mm. O processo de lavagem da laterita é semelhante ao processo de extração de areia dos rios. Em vez de se dragar o fundo do rio, draga-se um tanque onde a laterita bruta é previamente depositada por caminhões basculantes. Após ser depositada, a laterita sofre uma pré-lavagem com mangueiras de pressão e o material é em seguida dragado do fundo do tanque através de tubos, sendo conduzido a um peneirador, onde a granulometria desejada é obtida.

Artificial – São resíduos de processos industriais, tais como a escória de alto-forno e de aciaria, ou fabricados especificamente com o objetivo de alto desempenho, como a argila calcinada (Cabral, 2005) e a argila expandida. O tipo de agregado artificial atualmente mais utilizado em pavimentação são os vários tipos de escórias, subprodutos da indústria do aço. Elas podem apresentar problemas de expansibilidade e heterogeneidade, requerendo tratamento adequado para utilização, porém podem apresentar alta resistência ao atrito. Reciclado – Nessa categoria estão os provenientes de reuso de materiais diversos. A reciclagem de revestimentos asfálticos existentes vem crescendo significativamente em importância e em alguns países já é a fonte principal de agregados. A possibilidade de utilização de agregados reciclados vem crescendo em interesse por restrições ambientais na exploração de agregados naturais e pelo desenvolvimento de técnicas de reciclagem que possibilitam a produção de materiais reciclados dentro de determinadas especificações existentes para utilização. Destaca-se também a utilização crescente de resíduo de construção civil em locais com ausência de agregados pétreos ou

mesmo em áreas urbanas que possuam pedreiras, como forma de reduzir os problemas ambientais de disposição destes resíduos (Fernandes, 2004).

Quanto ao tamanho

Os agregados são classificados quanto ao tamanho, para uso em misturas asfálticas, em graúdo, miúdo e material de enchimento ou fíler (DNIT 031/2004 – ES): I graúdo – é o material com dimensões maiores do que 2,0mm, ou seja, retido na peneira no 10. São as britas, cascalhos, seixos etc.; I miúdo – é o material com dimensões maiores que 0,075mm e menores que 2,0mm. É o material que é retido na peneira de no 200, mas que passa na de abertura no 10. São as areias, o pó de pedra etc.; I material de enchimento (fíler) – é o material onde pelo menos 65% das partículas é menor que 0,075mm, correspondente à peneira de no 200, e.g., cal hidratada, cimento Portland etc.

O tamanho máximo do agregado em misturas asfálticas para revestimentos pode afetar essas misturas de várias formas. Pode tornar instáveis misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente pequeno e prejudicar a trabalhabilidade e/ou provocar segregação em misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente grande. A norma ASTM C 125 define o tamanho máximo do agregado em uma de duas formas: I tamanho máximo – é a menor abertura de malha de peneira através da qual passam 100% das partículas da amostra de agregado. Na metodologia SHRP-Superpave o tamanho máximo do agregado é definido como a abertura de malha imediatamente maior do que a correspondente ao tamanho nominal máximo; I tamanho nominal máximo – é a maior abertura de malha de peneira que retém alguma partícula de agregado, mas não mais de 10% em peso. Na metodologia SHRP-Superpave o tamanho nominal máximo é definido como a abertura de malha de peneira imediatamente maior do que a da primeira peneira a reter mais de 10% do material.

Quanto à distribuição dos grãos

A distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas principais características e efetivamente influi no comportamento dos revestimentos asfálticos. Em misturas asfálticas a distribuição granulométrica do agregado influencia quase todas as

propriedades importantes incluindo rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente, resistência ao dano por umidade induzida etc. (ver no Capítulo 6). A distribuição granulométrica dos agregados é determinada usualmente por meio de uma análise por peneiramento. Nessa análise uma amostra seca de agregado é fracionada através de uma série de peneiras com aberturas de malha progressivamente menores, conforme ilustrado na Figura 3.1. Uma vez que a massa da fração de partículas retida em cada peneira é determinada e comparada com a massa total da amostra, a distribuição é expressa como porcentagem em massa em cada tamanho de malha de peneira.

De acordo com a norma DNER-ME 035/95 os tamanhos de peneiras a serem usadas na análise granulométrica são os mostrados na Tabela 3.3. Porém, nem todos os tamanhos são necessariamente usados em cada especificação. Ressalta-se que, embora a referida norma não cite a peneira de abertura 12,5mm, esta é muito utilizada nos projetos de misturas asfálticas.

A norma DNER-ME 083/98 descreve o procedimento de análise por peneiramento. Os resultados são expressos na forma de tabelas ou gráficos como indicado na Figura 3.2(a). A metodologia SHRP-Superpave utiliza uma outra forma de apresentar a distribuição granulométrica na qual a porcentagem de agregados passante em uma certa malha de peneira está no eixo y e o tamanho da malha elevado a uma potência n (normalmente $n=0,45$) como unidade no eixo x – Figura 3.2(b). Nesse caso, a distribuição granulométrica com densidade máxima aparece como uma linha reta iniciando-se em zero e se desenvolvendo até o tamanho máximo. Uma vez que a distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas mais importantes características físicas, a subdivisão da graduação em algumas classes auxilia na distinção de tipos de misturas asfálticas, que serão abordadas no Capítulo 4. A seguir são denominadas as mais importantes graduações.

l agregado de graduação densa ou bem-graduada é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, próxima à de densidade máxima; l agregado de graduação aberta é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, mas com insuficiência de material fino (menor que 0,075mm) para preencher os vazios entre as

partículas maiores, resultando em maior volume de vazios. Nas frações de menor tamanho a curva granulométrica é abatida e próxima de zero;

l agregado de graduação uniforme é aquele que apresenta a maioria de suas partículas com tamanhos em uma faixa bastante estreita. A curva granulométrica é bastante íngreme; l agregado com graduação com degrau ou descontínua é aquele que apresenta pequena porcentagem de agregados com tamanhos intermediários, formando um patamar na curva granulométrica correspondente às frações intermediárias. São agregados que devem ser adequadamente trabalhados quando em misturas asfálticas, pois são muito sensíveis à segregação.

PRODUÇÃO DE AGREGADOS BRITADOS

As características físicas dos agregados como resistência, abrasão e dureza são determinadas pela rocha de origem. Entretanto, o processo de produção nas pedreiras pode afetar significativamente a qualidade dos agregados, pela eliminação das camadas mais fracas da rocha e pelo efeito da britagem na forma da partícula e na graduação do agregado (Marques, 2001). Normalmente nas pedreiras existe uma camada de solo e de rocha alterada sobrejacentes que devem ser removidas antes que a rocha sã seja encontrada. Essa parte superficial e não-útil na produção de britas é designada como “estéril”.

Operação de britagem

O propósito básico da exploração de uma pedreira é o desmonte da rocha sã por meio de explosivos e, utilizando uma série de britadores e outras unidades, reduzir o material de modo a produzir os agregados utilizáveis na execução de um pavimento. Também é desejável produzir agregado britado que tenha formato cúbico e não achatado ou alongado. Segundo Roberts et al. (1996) as unidades de britagem são escolhidas para atender os seguintes objetivos: l reduzir os tamanhos dos blocos de rocha; l produzir formas e tamanhos desejados de agregados; l ter capacidade compatível com as cargas envolvidas para permitir seu manuseio; l minimizar a ocorrência de entupimentos e colmatação nas unidades durante a operação; l requerer um mínimo de pessoal; l satisfazer exigências de britagem sem a necessidade de estágios de britagem adicionais e equipamentos auxiliares; l

minimizar a demanda de energia por tonelada de agregado produzida; I não haver desgaste excessivo dos componentes metálicos; I operar economicamente com um mínimo de manutenção; e I permitir uma vida de serviço longa

3- USINAS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS

Usinas asfálticas e transporte da mistura: a base para uma pavimentação de qualidade



PROCESSO DE FABRICAÇÃO E TRANSPORTE

Mistura

As misturas asfálticas são normalmente fabricadas em usinas asfálticas contínuas ou do tipo lote. A usina asfáltica pode ser móvel ou fixa. A capacidade normalmente varia entre 100 e 300 toneladas por hora em usinas do tipo lote, enquanto as usinas asfálticas contínuas são usadas para a produção de volumes maiores do mesmo tipo de mistura. Aqui, a capacidade varia entre 50 e 600 toneladas por hora.

Obviamente, todos os componentes de uma mistura asfáltica terão uma influência decisiva na qualidade final da mistura. Visto que mais de 90% da mistura é composta de agregados, a qualidade da mistura é altamente dependente da qualidade do agregado, a qual é uma função do processo de britagem. Também é importante

manusear o agregado da maneira correta, para evitar deterioração da curva de granulometria e exposição à umidade. Um agregado seco e bem graduado é a base de uma boa mistura asfáltica.

Em usinas modernas, a proporção de agregado é grandemente controlada por controladores automáticos de processo, de acordo com receitas pré-programadas.

O agregado é seco e aquecido em tambores de secagem. No processo efetivo de fabricação, o betume e o material de enchimento são adicionados ao agregado para formar a mistura. Existem diferentes tipos de filler, de acordo com as propriedades desejadas da mistura. As aminas são adicionadas para melhorar as qualidades dos adesivos, as fibras são usadas para proporcionar maiores volumes de betume, e os polímeros melhoram as propriedades do ligante.

Os constituintes são misturados no misturador de acordo com um padrão definido, para a obtenção de uma mistura asfáltica homogênea. O tempo de mistura variará, de acordo com a mistura e o tipo de misturador. É importante à qualidade final que o tempo não seja nem muito curto e nem muito longo. Quando pronta, a mistura é transportada para silos de armazenamento isolados e/ou aquecidos, a fim de reduzir o efeito de resfriamento. Também devem ser adotadas medidas para certificar-se de que a mistura asfáltica não sofrerá oxidação ou segregação.

Transporte

O transporte da mistura da usina asfáltica para o canteiro passa por três estágios antes de ser aplicada na superfície da estrada: carregamento na usina asfáltica, transporte para o canteiro de obras e derramamento no silo da pavimentadora. Para evitar interrupções, o transporte deve ser bem planejado e realizado corretamente.



Utilizar um alimentador móvel aumenta a capacidade de pavimentação de maneira geral evitando, ao mesmo tempo, o contato entre o caminhão e a pavimentadora. Ela também proporciona uma temperatura mais homogênea da mistura e melhor uniformidade. A velocidade constante e a qualidade do material pavimentado também melhoram o resultado da compactação.

Durante o carregamento, é importante minimizar o risco de segregação. O carregamento deve ser rápido e a carga deve ser distribuída o mais uniformemente possível sobre o reboque. Um amontoado com laterais inclinadas fará com que a mistura sofra segregação. O transporte para o canteiro de obras deve ser bem planejado. Se uma pavimentadora tiver que parar para aguardar uma nova carga, a qualidade da estrada revestida será afetada. Isso pode levar a irregularidades e menor compactação, as quais podem reduzir a vida útil da estrada. Por outro lado, deve-se evitar comboios de caminhões em espera no canteiro de obras. A mistura asfáltica pode esfriar e/ou segregar durante a espera, o que pode causar resultados de compactação insatisfatórios ou a necessidade de descartar a mistura. O descarregamento da massa asfáltica requer habilidade, para evitar a segregação e interrupções.

Uma grande quantidade da mistura asfáltica retém o calor por um período maior que uma quantidade menor. Se for colocada em um caminhão isolado e coberta corretamente, a probabilidade dela ser entregue na temperatura correta aumenta

significativamente. Uma caçamba arredondada no caminhão ou reboque também é vantajosa, pois pode-se evitar os cantos frios de um caminhão convencional.

Há várias fórmulas matemáticas para determinar o custo do transporte de uma mistura asfáltica. A finalidade primordial de tais cálculos deve ser, naturalmente, a obtenção de um transporte econômico e a manutenção da qualidade da mistura asfáltica.

Camada aderente / Pintura de ligação / Imprimação

A camada aderente é a utilização de uma emulsão asfáltica ou asfalto diluído para “colar ou ligar duas camadas da superfície; por exemplo, ao adicionar uma nova camada de rolamento em uma estrada previamente pavimentada. A camada aderente é um estágio importante do revestimento de estradas, sendo frequentemente especificada nas regulamentações para a construção de estradas.

Corretamente aplicada, a camada aderente evita o desgaste e a corrugação causados pelo tráfego. Ele também é essencial às propriedades de suporte de carga, para que as camadas unam-se bem. A melhor adesão proporcionada pela camada aderente significa que haverá menos tendência ao deslocamento da mistura ou formação de trincas durante a rolagem.

4- TIPOS DE SISTEMAS DE DOSAGEM E MISTURA EM USINA DE ASFALTO



A função principal de uma usina de asfalto é dosar, secar, aquecer e misturar os agregados minerais com o ligante asfáltico (CAP) em alta temperatura, produzindo uma mistura asfáltica homogênea e de qualidade, cumprindo com a formulação. A mistura asfáltica desenvolvida em laboratório, onde o tempo de produção de poucos corpos de prova pode durar um dia inteiro, em uma usina é produzida em altas taxas, acima de 100 toneladas por hora, dependendo do porte do modelo de máquina.

Há no mercado vários tipos de usinas, com formas diferentes de dosar os agregados e executar a mistura asfáltica, porém poucas pessoas conhecem com clareza as opções disponíveis e suas características principais, além do impacto financeiro e da qualidade final do produto.

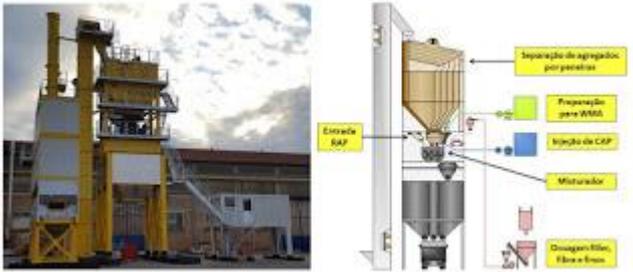
SISTEMA DE DOSAGEM DE AGREGADOS MINERAIS

Basicamente há somente duas opções: sistema de dosagem dinâmica por pesagem e sistema de separação por peneiramento.

Dosagem por pesagem dinâmica: é característica das usinas móveis com produção contínua. Em função das dimensões reduzidas do equipamento não há espaço para um sistema de separação por peneiras. Cada agregado é adicionado em um silo de recebimento. Um sistema automatizado faz a leitura através de célula de carga localizada na correia dosadora, pela parte inferior de cada silo de agregado. Se ocorrer diminuição de material em um determinado silo, o sistema detecta e automaticamente reduz a velocidade dos demais silos, mantendo a proporção dos materiais sempre constante. Assim a fórmula da mistura asfáltica é mantida. A desvantagem deste sistema é a ocorrência de contaminação de materiais entre os silos, visto que não há separação por peneiras. No Brasil mais de 90% das usinas de asfalto no país são do tipo móvel com produção contínua e dosagem dinâmica dos agregados.



Separação por peneiramento: é característica das usinas fixas com produção descontínua. Os diferentes agregados são transportados para a parte alta de uma torre e por gravidade passam por peneiras, onde ocorre a separação granulométrica para compartimentos específicos. Por ter uma produção descontínua (em bateladas) os diferentes materiais são armazenados e transferidos para o misturador quando atingem a pesagem correspondente ao traço (porcentagem) da mistura. É um sistema excelente de dosagem, eliminando todos os riscos de contaminações, porém por suas dimensões maiores se adequa somente em uma torre de usina do tipo fixa (gravimétrica). Este tipo de usina exige maior área e tempo de instalação, tem maior custo de aquisição e maiores dificuldades para transporte. É recomendada a instalação de uma usina gravimétrica em situações onde não há previsão de deslocamento do equipamento para outras obras.

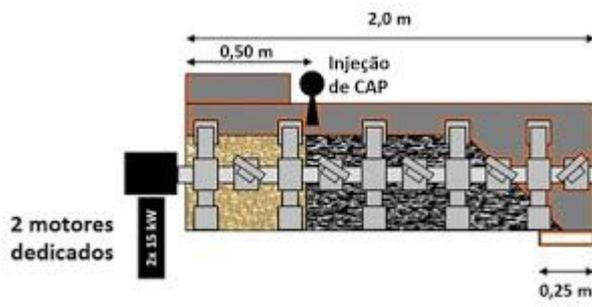
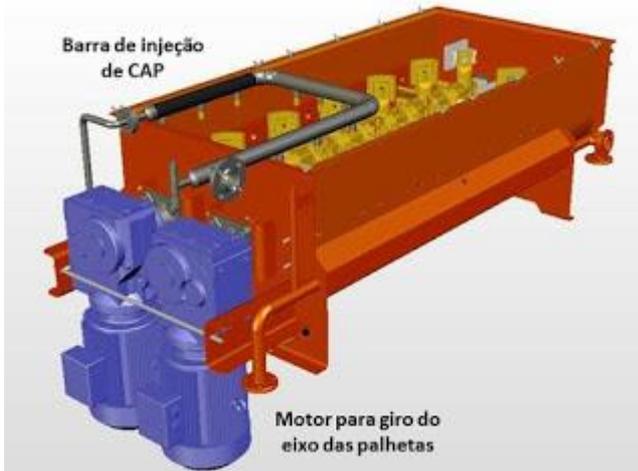


Embora o sistema por peneiramento típico das usinas gravimétricas seja excelente, a utilização do sistema de dosagem por pesagem dinâmica das usinas contínuas pode também produzir misturas asfálticas de altíssima qualidade. Desde que os profissionais envolvidos tenham o devido treinamento e executem o serviço com o cuidado necessário.

SISTEMA DE MISTURA DE AGREGADOS COM O LIGANTE ASFÁLTICO (CAP)

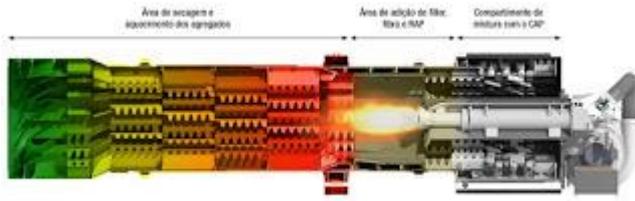
Os agregados dosados, secos e aquecidos entram para o compartimento de mistura com o ligante asfáltico. Há dois tipos de sistema de mistura: compartimento pug-mill e compartimento rotativo externo.

Misturador externo do tipo pug-mill: o misturador é localizado em um compartimento externo, separado do tambor de secagem. Este compartimento possui dois eixos dotados de braços com palhetas. O giro dos eixos com as palhetas promove a mistura dos agregados com o CAP. A vantagem deste tipo de misturador é que a injeção do CAP ocorre em um compartimento separado, sem contato com as altas temperaturas internas do tambor secador. Entende-se que estas altas temperaturas podem provocar efeitos de envelhecimento precoce do ligante asfáltico, reduzindo a vida útil da mistura. Hoje no Brasil a maioria dos fabricantes adotaram o misturador externo como padrão em suas usinas de asfalto.



Misturador externo rotativo: é uma câmara de mistura acoplada ao tambor secador da usina. Após a secagem e aquecimento os materiais entram por este compartimento, onde o giro do tambor promove também a movimentação das aletas que executam a mistura dos agregados com o CAP. Como o compartimento de mistura está dentro do tambor há o risco de que as altas temperaturas internas causem danos ao ligante asfáltico, favorecendo a oxidação precoce do mesmo. Em função disto a maioria dos fabricantes passaram a produzir usinas de asfalto com o misturador externo, abolindo o uso da mistura interna. Em contrapartida este tipo de tambor apresenta como diferencial a grande área de mistura dos agregados a seco. Para misturas asfálticas especiais é fundamental que haja uma mistura homogênea dos materiais antes da injeção do CAP. Esta maior área permite também maior percentual do uso de material asfáltico fresado (RAP) na mistura.





5- FALTA DE CONTROLE DE PESO E ADEQUAÇÕES

Um dos maiores problemas das rodovias brasileiras é a total falta de controle e fiscalização do peso dos caminhões que transitam em nossas estradas. Somado às falhas básicas na execução e ao excesso de água no pavimento sem a devida drenagem (água é o inimigo número 1 de pavimentos) o que resulta são rodovias em péssimo estado de conservação de norte a sul do Brasil. Embora este problema seja muito grave, pouca gente conhece com clareza os efeitos do excesso de carga na estrutura da rodovia e o perigo de permitir que caminhões cada vez mais pesados transitem em nossas estradas.

Os pavimentos são projetados para suportar uma carga definida (eixo-padrão rodoviário brasileiro é de 8,2 toneladas), por um tempo definido (vida útil) e para um número estimado de repetições de carga (tráfego). Os métodos de dimensionamento são similares em todo o mundo. O que muda de um país para outro é o valor da carga do eixo-padrão ou a quantidade de repetições. Para suportar mais carga obviamente o pavimento projetado necessita de espessuras maiores.

Primeiramente é preciso entender o cálculo do fator de equivalência de carga. A ação de cinquenta carros de 1 tonelada não é a mesma que um caminhão de 50 toneladas. Embora tenha sido um estudo feito no exterior (considerando carga padrão de 80 kN = 8,16 t), na figura abaixo podemos ver um exemplo melhor deste cálculo:



Para o dimensionamento é considerando um certo número de repetições de carga para um eixo padrão de 8,2 toneladas. Quando ocorre o sobrepeso, com aumento considerável da carga aplicada em cada eixo, a vida útil do pavimento é bastante encurtada. Portanto é extremamente importante que haja o controle não apenas do peso do caminhão, mas sim da carga aplicada por cada eixo. Existe alguns tipos de balanças aptas para executar o serviço. O problema é que no Brasil a grande maioria das balanças estão abandonadas, como na foto abaixo.



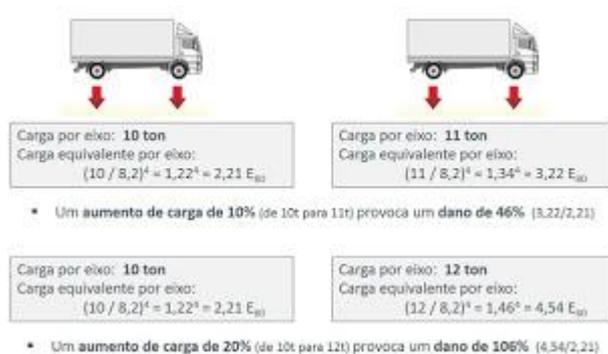
Balança abandonada em estrada brasileira



Balança em funcionamento em rodovia alemã

As balanças podem ser utilizadas também para contagem do tráfego, uma vez que é uma variável importante no dimensionamento de pavimentos. Quando há circulação de veículos pesados, estes precisam entrar no cálculo. Aumentar as fiscalizações e instalar balanças nas rodovias teria como prioridade número um coibir a circulação de caminhões extremamente pesados, que reduzem significativamente a vida útil da estrutura do pavimento.

O nível de degradação ao pavimento não ocorre por soma aritmética da carga, conforme mostra o exemplo abaixo:



A situação de boa parte das rodovias brasileiras é a falta de capacidade de suporte de pavimentos, pois estes não foram dimensionados para suportar a carga atual. Portanto o uso das balanças e a melhoria da fiscalização teria dupla função. A primeira em não permitir o tráfego de cargas excessivas que destroem a estrutura das estradas. E a segunda para estudar melhor o tráfego atual visando dimensionar adequadamente as soluções de reabilitação estrutural para a rodovia.

Uma das melhores soluções para reforço estrutural de rodovias visando se adequar às cargas do tráfego atual é a reciclagem in-situ com uso de agentes estabilizadores tais como cimento, emulsão asfáltica ou espuma de asfalto. Na figura abaixo um exemplo do aumento da capacidade de suporte através da reciclagem com uso de cimento.



Fresagem fina e microfresagem

A fresagem asfáltica é a remoção de uma ou mais camadas do pavimento com largura e profundidade de corte pré-determinadas através do uso de uma fresadora de asfalto. Este equipamento é amplamente utilizado em todos os tipos de obras de pavimentação no Brasil e no exterior. Embora seja uma técnica muito conhecida e utilizada, ainda há pouca informação sobre os diferentes tipos de tambores de corte disponíveis para as fresadoras e as respectivas sugestões de aplicação.

Um tambor de corte padrão tem um espaçamento de 15 mm entre as linhas de corte no pavimento. Este foi o distanciamento escolhido para ser padrão de fábrica. Com este espaçamento é possível a remoção da capa asfáltica de rolamento e também de camadas granulares de base em uma única passada. Devido à versatilidade de aplicações é o tambor utilizado nos mais variados modelos de fresadoras.

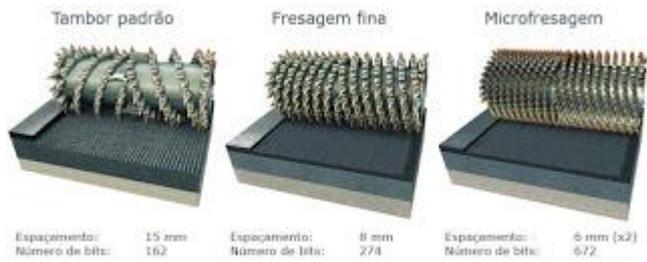


É possível equipar a fresadora de asfalto com tambores de diferentes espaçamentos entre as linhas de corte no pavimento, e conseqüentemente com um número diferente de bits (ferramentas de corte). Além do tambor de fresagem padrão existe as opções de utilização de um tambor econômico com menor número de bits e os tambores de fresagem fina e microfresagem, estes com maior número de bits.



Tambor de fresagem

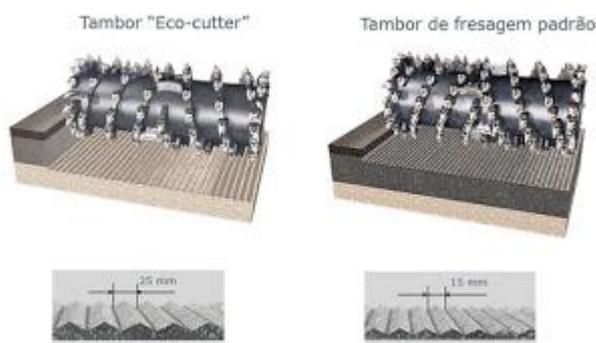




LA = espaçamento entre linhas	x = altura teórica (mm)
20	5,77
15	4,33
8	2,31
6	1,73

Tambor econômico (Eco-cutter):

Possui menor quantidade de bits em relação ao tambor padrão, logo maior espaçamento entre as linhas de corte no pavimento. Ainda é um tipo de tambor de fresagem desconhecido no Brasil e na América Latina. Quanto maior a distância entre as linhas resultará também em sulcos maiores. Esta aplicação é recomendada quando o objetivo é a remoção total das camadas do pavimento com fresagem superior a 20 centímetros de profundidade. Por ter um menor número de ferramentas de corte conseqüentemente haverá menos desgaste e substituição destas peças, desta forma se alcança uma redução nos custos operacionais. Por ter maior espaçamento entre os bits resultará em um material fresado de maior granulometria.



Tambor de fresagem fina:

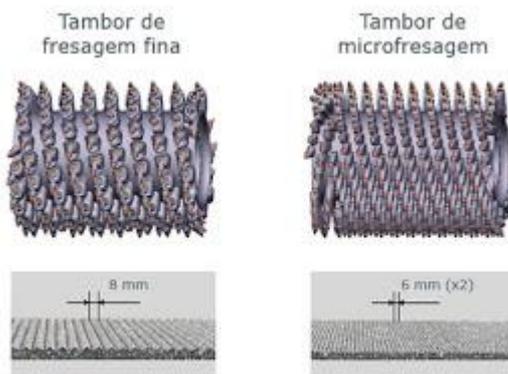
Trata-se de um tambor de corte com maior quantidade de bits e menor espaçamento entre as linhas de corte no pavimento. Em comparação com o tambor de fresagem padrão, o espaçamento reduz de 15 mm para 8 mm. Desta forma os sulcos produzidos são muito menores, cuja altura interna dos mesmos é reduzida de 4,33 mm para 2,31 mm. Por exemplo, quando há aplicação de micropavimento sobre a camada fresada ocorre melhor aderência e principalmente uma redução no consumo do material novo em função da diminuição dos sulcos resultantes do corte.

Por ter um número maior de bits não é recomendado a aplicação com profundidade superior a 8 centímetros. Um tambor de 2 metros de largura de fresagem convencional tem 162 bits. Já um tambor 2 metros de fresagem fina possui 274 bits, um aumento próximo de 70% na quantidade. Este maior número de ferramentas de corte significa maior resistência ao corte e também maior custo operacional em função do desgaste dos bits. Portanto as aplicações recomendadas são para fresagem rasa e correções de pequenos defeitos localizados. Em relação à fresagem convencional haverá uma grande redução nos torrões de asfalto fresado, melhorando a granulometria do material para um possível reuso.

Tambor de microfresagem:

Equipado com um alto número de bits, conseqüentemente possui menor capacidade de profundidade de corte. Ao contrário dos demais tambores o objetivo de aplicação não é a remoção da camada mas sim uma correção superficial do pavimento. O espaçamento entre as linhas de corte é reduzido de 8 mm para 6 mm e realizada de uma forma mais forte e precisa pelo fato deste tambor ser do tipo "6x2", ou seja, a cada rotação completa do tambor passam dois bits na linha de corte no pavimento. Os demais tambores funcionam com um único bit passando na linha de corte a cada rotação do cilindro. O tambor de microfresagem com 2 metros de largura é equipado com 672 bits. Com este número elevado de ferramentas de corte é recomendável aplicar a microfresagem no máximo com 3 centímetros.

Por ser mais um trabalho de correção superficial do que remoção, a microfresagem é recomendada para operações de aumento de aderência, preparação para tratamento superficial ou micropavimento, correções de irregularidades inferiores a 3 cm e remoção de pintura de sinalização. A distância entre as linhas de corte é tão pequena que o tráfego pode ser liberado sem a necessidade de aplicação de um novo material de revestimento.



Tambor de microfresagem



Aplicação com microfresagem (à esquerda)



Alguns modelos de fresadoras apresentam como opcional um sistema de troca rápida dos tambores de corte, agregando maior flexibilidade e versatilidade ao equipamento. Este sistema é composto por um compartimento de fácil abertura das comportas laterais com conexões por parafusos onde o cilindro é fixado em sua posição de trabalho. Assim em menos de duas horas é possível substituir um tipo de tambor por outro. É uma ótima opção para empresas que buscam estar dispostas a atender as mais variadas aplicações em fresagem asfáltica.



Falha comum: segregação asfáltica

Diversos elementos estão envolvidos na construção de pavimentos resistentes e duráveis, tais como profissionais qualificados, materiais de qualidade e equipamentos de primeira linha. Segundo o Asphalt Institute dos Estados Unidos, há quatro processos da área de mistura e pavimentação que desempenham um papel crucial na vida do pavimento: segregação do material, operação de aplicação pela pavimentadora de asfalto, compactação e juntas.

A segregação da mistura asfáltica é um problema comum há décadas na pavimentação e que ocorre não apenas no Brasil, mas em todo o mundo. Ocorre uma distribuição não uniforme de agregados de diversos tamanhos, com a separação dos agregados de maior tamanho em relação aos menores. Assim a mistura deixa de ter consistência homogênea e perde suas características estruturais definidas em projeto, principalmente em relação à densidade, baixando a qualidade da pavimentação com o surgimento de falhas prematuras após a liberação do tráfego. É fácil identificar pontos segregados já que estas áreas são muito mais rugosas do que o restante do pavimento.



Segregação asfáltica na capa de rolamento após a aplicação do material pela pavimentadora de asfalto.

A segregação ocorre com mais frequência nas seguintes etapas: projeto da mistura, estoque de agregados, carregamento dos silos dosadores da usina de asfalto, silo de descarga de material, carregamento do caminhão de transporte e execução na pista com a vibroacabadora (pavimentadora de asfalto).

Projeto da mistura asfáltica

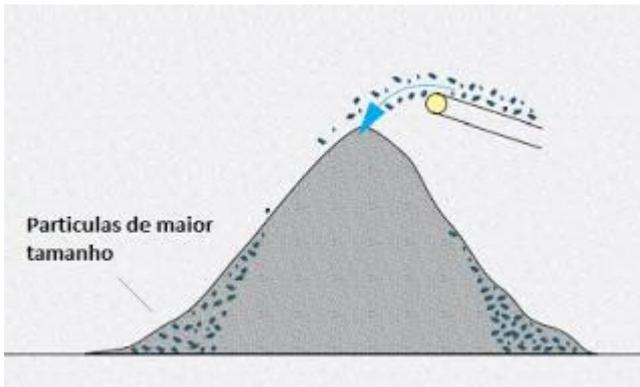
O aumento da porcentagem de uso de material fino (passante na peneira 200) nos projetos de pavimentação pode ocasionar segregação. O efeito do uso é a diminuição dos vazios e da coesão da mistura, assim com sua trabalhabilidade e durabilidade. O volume de vazios e o teor de asfalto devem ter correlação ótima definida em laboratório para que a mistura não apresente problemas. Experiências relatam que o baixo teor de asfalto apresenta tendência à segregação. O uso excessivo de finos ocasiona maior consumo de ligante asfáltico (CAP), mas nem sempre a dosagem de CAP é corrigida e assim a mistura apresenta um teor de asfalto inferior à porcentagem ótima. Outro fator de grande importância é a correta graduação dos agregados. Usinas obsoletas, que não possui um sistema de dosagem aferido, podem ocasionar problemas na graduação da mistura asfáltica.

Segregação na estocagem de agregados

Para que não haja segregação já na etapa anterior à usinagem, é recomendado que as pilhas de agregados não sejam de formato cônico excessivamente altas, evitando que as pedras de maior tamanho rolem pelos lados. Estas pilhas de agregados para o uso na pavimentação em geral são separadas em pó-de-pedra, brita zero e brita um. Mesmo dentro de uma mesma graduação há diferenciação no tamanho dos agregados, assim o efeito da segregação deve ser evitado também com a estocagem de pilhas mais baixas e com menor ângulo de inclinação.



A pilha de agregados deveria ter uma altura mais reduzida, em formato não-cônico, para evitar que os materiais rolem para baixo, não ocorrendo a separação das pedras de maior tamanho.



Efeito da segregação ainda na fase de estocagem de agregados

Carregamento dos silos da usina de asfalto

O operador da pá-carregadeira que abastece a usina precisa ser orientado e treinado para que os silos sejam mantidos cheios, mas de forma nivelada. A formação de uma pilha cônica e alta pode também ocasionar efeitos de segregação. É importante também que não haja contaminação entre materiais, que afetam totalmente a graduação da mistura. Uma usina de asfalto de dosagem contínua não detecta a variação de material uma vez que haja contaminação de um material de um silo para outro. O sistema de dosagem ocorre individualmente para cada silo, onde deve ser utilizado um único material apenas.



Contaminação entre agregados de diferentes silos da usina de asfalto.

Carregamento do caminhão

Uma das principais causas de segregação é a forma com que o material é transferido ao caminhão de transporte. Se a mistura asfáltica for descarregada de uma só vez, formará uma enorme pilha em formato cônico. E isto provoca a segregação pelo fato dos grãos maiores terem a tendência de se acumular no entorno deste monte. Quanto mais alta a pilha, maior será o volume de material segregado.

Portanto é preciso carregar o caminhão de maneira parcial. Em vez uma grande pilha, o carregamento é realizado ao menos em três pequenas pilhas, dependendo do tamanho da caçamba. Entre as descargas devem ocorrer um efeito de sobreposição dos lados cônicos. Este procedimento reduz a distância que as partículas maiores poderiam percorrer do topo da pilha até a parte mais baixa da caçamba. Não irá eliminar totalmente a segregação, mas espalha melhor o material e minimiza o seu efeito.



O carregamento em pelo menos três pilhas separadas evita o efeito da segregação no caminhão de transporte.

Silos de descarga e armazenamento dimensionados

O silo de descarga é a última parte da usina por onde a mistura asfáltica recém produzida irá passar antes da descarga ao caminhão de transporte. Ao longo dos anos os projetos das usinas de asfalto foram evoluindo de modo a eliminar a segregação ainda dentro do equipamento, especialmente na produção de misturas de

granulometria descontínua, mais sensível à segregação. O uso de chapas defletoras que evitam uma queda direta do material reduziu muito o problema. Usinas antigas e obsoletas tecnicamente ainda sofrem com este efeito durante a descarga do material asfáltico.

Já os silos de armazenamento foram projetados com sistemas direcionadores para evitar cones ou planos inclinados, além de um sistema de aquecimento para manter a temperatura do material.

Execução da pavimentação

A segregação pode ocorrer durante a pavimentação nos procedimentos de trocas de caminhões que transportam o material asfáltico para a pavimentadora. A caçamba deve ser elevada de forma suave assim que a comporta traseira estiver liberada. A pavimentadora empurra através do contato dos roletes de encosto com os pneus do caminhão, proporcionando um carregamento constante e proporcional.

Jamais esvaziar completamente o silo de recebimento da pavimentadora entre um caminhão e outro. É recomendado manter com material asfáltico pelo menos 25% de volume enquanto o equipamento estiver em movimentação. A alimentação da parte central do silo deve ser constante, evitando que material se acumule nas abas basculantes do equipamento e haja o esfriamento do material. Se a correia transportadora central ficar sem material pode ocorrer a segregação quando o material contido nas abas cair diretamente sobre a mesma. O operador deve ser orientado e treinado para que mantenha esta alimentação suave e proporcional.



Abas laterais do silo em posição aberta



Movimentação das abas para alimentar a correia central com material

Uma forma de evitar a segregação em obras rodoviárias é a utilização de alimentadores de asfalto entre o caminhão e a pavimentadora, já publicado aqui no Blog em junho de 2014. Este equipamento possui um sistema aquecido com distribuidores helicoidais, o que provoca um efeito de mistura no material e evita também a segregação térmica. É altamente recomendável quando utilizado uma mistura asfáltica descontínua (exemplo: SMA) que por sua característica física apresenta tendência à segregação.

Antes de procurar as melhores opções técnicas em equipamentos, o sucesso de uma obra de pavimentação depende ainda basicamente do treinamento dos operadores. As equipes de trabalho devem ser capacitadas em relação às técnicas de pavimentação e como usar corretamente cada equipamento disponível.

Melhoria de vias rurais e estradas não-pavimentadas

Um país de extensão continental e com baixo percentual de rodovias pavimentadas requer soluções técnicas para a melhoria de suas vias rurais e estradas sem pavimentação. Como há escassez de dinheiro para a pavimentação, agravado ainda mais em função da crise econômica que o Brasil atravessa desde 2014, é preciso utilizar novas técnicas para a melhoria das condições de tráfego.

As vias não pavimentadas representam mais de 80% da extensão da malha rodoviária brasileira somando as rodovias federais, estaduais e ligações municipais. Muitos municípios ainda não possuem acessos pavimentados. A grande maioria de locais de produção agrícola também não têm ligação asfáltica. As estradas não-pavimentadas apresentam normalmente o leito deteriorado em função também de ter uma construção inadequada. A manutenção é feita sem planejamento e de forma precária. Além de não estar dotada de uma camada de rolamento adequada, estas vias sofrem também com a falta de capacidade de suporte para o tráfego de caminhões cada vez mais pesados.

As estradas de terra precisam apresentar boa capacidade de suporte e boas condições de rolamento para garantir condições de tráfego satisfatórias. Mas nem sempre as soluções adotadas são as mais adequadas para solucionar os problemas.

ALTERNATIVA TÉCNICA: ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS COM RECICLADORAS



Uma alternativa de melhoria técnica com custo bastante inferior ao pavimento asfáltico convencional é o processo de estabilização de solos com o uso de uma máquina recicladora de asfalto. Um método relativamente fácil e rápido, amplamente utilizado em muitos países, mas ainda desconhecido pela maioria dos profissionais da área de pavimentação no Brasil. Alguns manuais utilizados para conservação e recuperação de estradas vicinais de terras são ainda dos anos 80, utilizando técnicas já defasadas e de baixa durabilidade tais como patrolamento (passagens múltiplas da motoniveladora), encascalhamento, etc.

ESTUDOS PRELIMINARES

É preciso primeiramente que sejam feitos estudos para diagnosticar as condições e definir a forma com que a estabilização será executada.

- LVC (Levantamento Visual Contínuo): para avaliação dos problemas e identificação dos defeitos;

- Estudos de tráfego: contagem volumétrica, volume médio diário (VMD), determinação do número N, etc;
- Estudos geotécnicos: coleta e ensaios dos materiais quanto à granulometria, limites, densidade real, compactação e valor de CBR. Através deste estudo é definido se haverá a necessidade ou não de reforço do solo existente com um pequeno percentual de agentes ligantes tais como cal e cimento;
- Estudos topográficos: inclinação transversal, rampa, definição dos pontos dos eixos do traçado, verificação da necessidade de superelevação, etc;
- Estudos geométricos: largura de plataforma, determinação da velocidade de tráfego, etc.
- Estudos de drenagem: verificação das condições de drenagem (caso existam) e levantamento da necessidade de implantação de dispositivos para escoamento da água.

PROCESSO EXECUTIVO DA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

A máquina recicladora possui um compartimento de mistura com um cilindro de corte. Em uma única passada ocorre o corte, a mistura e a homogeneização do material. A mistura deve apresentar ao final um material homogêneo, de coloração uniforme e com teor de água próximo da umidade ótima. Somente a recicladora é capaz de proporcionar tais resultados, ao contrário do uso de motoniveladora, trator de esteira ou pá carregadeira.

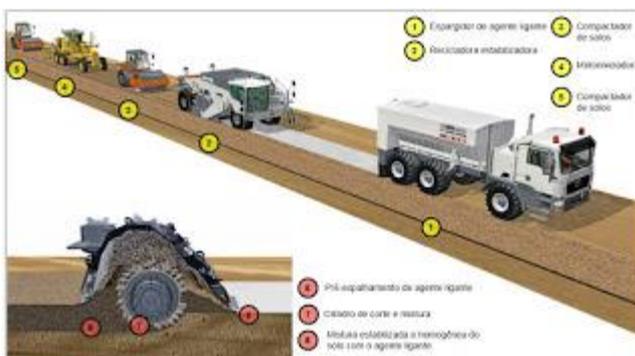
Outra grande vantagem da técnica é a possibilidade de adicionar material de reforço ao solo para melhoria de suas características. Entre os materiais utilizados estão as britas para correção granulométrica e aumento da capacidade de suporte de carga, o uso de material coesivo misturado ao material granular para evitar o problema do “areião” (dificuldade de tráfego de veículos quando seco), e a adição de cal ou cimento para melhoria das propriedades do solo.



Em uma única passagem ocorre a mistura e homogeneização do material dentro do compartimento de corte.

Quando não há a necessidade de reforço de agente ligante (cal ou cimento) ocorre a melhoria física do solo. A passagem da recicladora torna o solo mais homogêneo e com melhor granulação, facilitando a compactação. Materiais mais finos como a argila atuam como um aglutinante entre as partículas de maior tamanho e também regulariza a superfície final de rolagem quando está bem misturada com os demais materiais. E somente com a recicladora é possível obter bons resultados de mistura e de homogeneização.

A qualidade da mistura é influenciada pela velocidade de avanço, de rotação (rpm) do cilindro de corte e em alguns casos é necessário executar mais de uma passada. A recicladora também tem sistema de dosagem eletrônica de água, podendo corrigir a umidade caso o material esteja abaixo da umidade ótima.

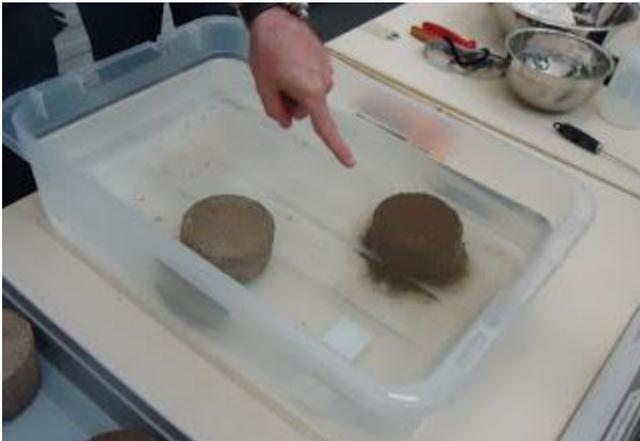


Comboio de equipamentos necessários para a estabilização e esquematização da execução

REFORÇO E MELHORIA DO MATERIAL

Quando o estudo do solo apresenta que o mesmo não possui características técnicas adequadas é necessário aplicar um pequeno reforço com a utilização de agentes ligantes. Os materiais mais utilizados são a cal e o cimento:

- Cal: possibilita a redução do teor de água e a sensibilidade do solo contra a umidade. Aumenta a resistência ao cisalhamento e minimiza os efeitos de deformação. Diminui o índice de plasticidade (IP) e limite de liquidez (LL), assim reduz a suscetibilidade à água. Permite uma melhor compactação devido ao fato de que a curva Proctor se desloca para o lado úmido. Recomendado para solos de característica coesiva de alta plasticidade (argila, silte, etc.);
- Cimento: por ser um ligante hidráulico ocasiona o endurecimento do material, geralmente em uma proporção entre 2% e 4% em relação à massa do solo. Por esta razão não pode ser adicionado em excesso pois quando aplicado em maior percentual gera trincas que podem rapidamente se espalhar pela camada. Apresenta maior resistência, aumentando consideravelmente a capacidade de carga do material. Para que ocorra o efeito de solidificação do solo é preciso que haja granulometria mais grossa na composição da mistura.
- Ligante misto (cal e cimento): dependendo da classificação do tipo de solo é utilizado o ligante misto. Geralmente quando o solo é uma mistura de material coesivo com material granular.



Duas amostras do mesmo solo com e sem a presença da cal imersas em água.



Estabilização de solos com adição de cal (esquerda) e cimento (direita).

ESPARGIDOR/DISTRIBUIDOR ELETRÔNICO DE CAL OU CIMENTO:

No caso de adição de agentes ligantes é importante utilizar um distribuidor eletrônico à frente da recicladora. O uso de um equipamento correto de dosagem garante que o ligante seja espalhado uniformemente e a quantidade de material aplicado estará de acordo com o especificado em projeto após análises e estudos de laboratório. Uma dosagem inadequada de agentes ligantes afetará totalmente o desempenho da nova camada.

O grande diferencial técnico do distribuidor eletrônico é a correção instantânea quando ocorre a variação de velocidade de avanço do caminhão. O alimentador rotativo com

inúmeros compartimentos de igual volume aumenta ou diminui sua rotação de acordo com a mudança de velocidade. Assim, a quantidade de material dosado será sempre conhecida e constante. Em obras de estabilização o maior percentual dos custos é o próprio cal ou cimento. Desta forma o uso do distribuidor evita além de problemas técnicos também o desperdício financeiro.



Espargidor/distribuidor em operação aplicando cal sobre um solo..

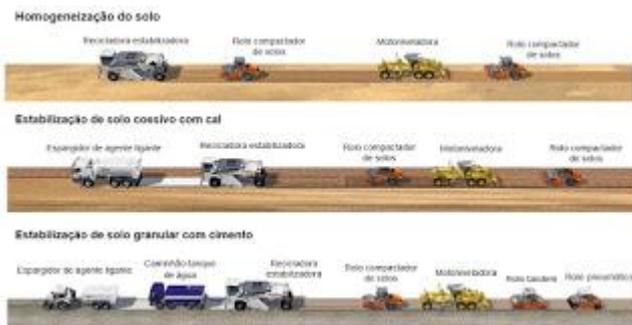
COMPACTAÇÃO:

Após a passagem da recicladora é importante que haja compactação imediata com a utilização de um rolo compactador de maior energia de compactação. Em vez de rolos da classe de 11 toneladas (mais utilizados no Brasil) pode ser utilizado um rolo de 20 toneladas. Além de compactar mais rápido e permitir que a recicladora trabalhe mais horas por dia, também não ocorre perda de umidade que dificulta o aumento da densidade do solo. No caso de uso do cimento é necessário compactar antes do tempo de reação, que ocorre em até duas horas após a aplicação.

Uma motoniveladora deve ser utilizada após a passagem do primeiro rolo para remover o excesso de material solto que surge na superfície. Posteriormente, os demais rolos finalizam a compactação. A sugestão técnica é que se utiliza um rolo compactador vibratório de cilindro liso para complementar a compactação. No caso de aplicação de cimento com material granular, é recomendado a utilização de um rolo de pneus lisos para a finalização, selando a pista.



Compactação do solo melhorado após a passada da recicladora e antes da passada da motoniveladora



Tipos de rolos compactadores são selecionados de acordo com o tipo de aplicação.

MOTONIVELADORA:

A motoniveladora pode ser utilizada mais de uma vez dentro do processo de estabilização. Antes da passagem da recicladora é necessário remover rochas de grande tamanho que estejam sobre o leito. Através do escarificador traseiro estas

pedras de grande tamanho podem ser retiradas mesmo que estejam enterradas na profundidade onde a recicladora irá cortar. O ideal é que não haja pedras maiores do que 70 mm dentro do compartimento de corte e mistura da recicladora. Em caso de reciclagem mais rasa, o tamanho máximo dos agregados deve ser de 1/3 (um terço) em relação à profundidade de corte.



Remoção de rochas de sobretamanho com o escarificador..

ACABAMENTO SUPERFICIAL:

O acabamento superficial pode ser realizado com a aplicação de um revestimento primário selante ou a utilização de um tratamento superficial, ambos com custo inferior ao asfalto convencional. Para vias de menor volume de tráfego pode ser utilizado também o “salgamento”, que é o espalhamento de agregados finos sobre uma imprimação.

NIVELAMENTO:

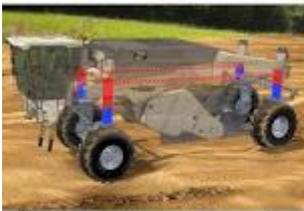
A recicladora pode também nivelar transversalmente a via não-pavimentada, deixando um leve caimento para escoar a água da chuva. A movimentação independente das quatro colunas de movimentação da recicladora garantem que o nivelamento no corte seja sempre constante.



Sensor de inclinação, fixado na parte central do chassi



Profundidade e inclinação de corte são controlados via display no painel de operação



Quatro eixos independentes mantem a máquina estável, em relação a horizontal



A inclinação do compartimento de corte e mistura é automaticamente corrigida, mantendo o valor designado (em %)

DRENAGEM

A drenagem é de extrema importância para estradas sem pavimentação. É preciso que além da inclinação transversal da pista tenha também uma valeta de drenagem. Desta forma o greide da estrada fica mais elevado em relação às bordas.

Por redução de custos a sarjeta para drenagem pode ser revestida com proteção vegetal para evitar erosão. A limpeza rotineira destas valetas se faz necessário pelo fato da água carregar materiais finos do solo, acumulando resíduos ao longo do tempo.



A utilização de técnicas de manutenção e melhoria para vias não-pavimentadas geram grandes benefícios econômicos. De acordo com o Banco Mundial, há uma economia no transporte superior a três vezes o valor investido na manutenção de estradas. A conservação rotineira evita que maiores danos ocorram a ponto de impedir o tráfego na via, sendo necessário intervenções mais longas de recuperação e de maior custo. A estabilização de solos permite uma economia de até 40% em relação aos métodos tradicionais de transportar novos materiais para o local da obra somente pela drástica redução do transporte necessário.

REFERÊNCIAS

<https://civilizacaoengenhaira.wordpress.com/2017/07/14/como-e-feita-a-construcao-de-uma-rodovia/#:~:text=Tr%C3%AAs%20fases%20s%C3%A3o%20essenciais%20na,a%20serem%20usados%20no%20projeto.>> acesso em 05/08/2020

<https://etesco.com.br/construcao-de-rodovias-entenda-o-procedimento/>> acesso em 05/08/2020

<https://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2018/03/Cap-3-Agregados.pdf>>acesso em 05/08/2020

<http://dynapac.blog/manual-de-compactacao-pavimentacao-e-fresagem/usinas-asfalticas-e-transporte-da-mistura-a-base-para-uma-pavimentacao-de-qualidade/?lang=pb>>acesso em 05/08/2020

<http://asfaltodequalidade.blogspot.com/2018/05/tipos-de-sistemas-de-dosagem-e-mistura.html>>acesso em 05/08/2020

<http://asfaltodequalidade.blogspot.com/2017/>>acesso em 05/08/2020