

Tratamento de Solos.

Camadas de base com ligante hidráulico



Conteúdo

1 Tratamento de solos	11
1.1 Definição de termos	12
1.1.1 Definições de acordo com as „Diretrizes para a padronização das superestruturas de superfícies traficadas“ (RStO 12)	12
1.1.2 Termos e órgãos regulamentadores e regras para o tratamento de solos	14
1.1.3 Regras de correlação e regulamentos com as diferentes camadas	16
1.2 Definição de termos de tratamento de solos	18
1.2.1 Estabilização de solos	18
1.2.2 Melhoria do solo	18
1.2.3 Melhoria do solo qualificado	18
1.2.4 Camadas de base com ligantes hidráulicos	18
1.3 investigações geotécnicas	19
1.3.1 Geral	19
1.3.2 Descrição dos tipos de solos de acordo a norma DIN EN ISO 14688-1 (antiga: 4022, Parte 1)	19
1.3.3 Classificação dos solos de acordo com a DIN 18196	20
1.3.3.1 Grupos de solos	20
1.3.3.2 Princípios de classificação de solos	21
1.3.3.3 Solos de granulação grossa	22
1.3.3.4 Solos de granulação mista	22
1.3.3.5 Solos finos	22
1.3.3.6 Solos organogênicos e orgânicos	22
1.3.3.7 Gráfico	23
1.3.3.8 Classificação de solos de acordo com as suas propriedades de plásticas	24
1.3.3.8.1 Determinação da consistência	24
1.3.3.8.2 Gráfico de plasticidade para a classificação de solos de granulação fina	25
1.3.3.9 Classificação de solos de acordo com a DIN 18196	26
1.4 Susceptibilidade à geada de solos e rochas de força variável	30
1.4.1 Classificando grupos de solos de acordo com a susceptibilidade à geada	30
1.4.2 Suscetibilidade à geada após melhoria do solo com ligante	31
1.5 Aplicação	32
1.5.1 Melhoria do solo	32
1.5.2 Melhoria qualificada do solo	32
1.5.2.1 Redução de espessura do pavimento por meio da melhoria qualificada do solo	34

1.5.2.2	Requisitos na melhoria qualificada do solo ao nível do subleito	35
1.5.3	Estabilização de solos	36
1.5.3.1	Estabilização de solos não considerando o pavimento	36
1.5.3.2	Estabilização de solos considerando o pavimento	37
1.5.3.3	Trecho das “Diretrizes para a padronização das superestruturas de superfícies traficadas” (RStO 12), o Gráfico 1	38
1.5.3.4	Trecho das “Diretrizes para a padronização das superestruturas de superfícies traficadas” (RStO 12), o Gráfico 2	40
1.6	Princípios básicos de terraplanagem	42
1.6.1	Compactação	42
1.6.2	Requisitos de compactação no subsolo e do subleito	42
1.6.3	Requisitos para o subleito	43
1.6.4	Módulo de deformação sobre o subleito (percentual mínimo 10%)	44
1.6.5	Requisitos das características de compactação	45
1.7	Garantia da qualidade	46
1.7.1	Testes a serem realizados antes da construção	46
1.7.1.1	Testes a serem realizados pelo cliente	46
1.7.1.2	Testes a serem realizados pelo empreiteiro	46
1.7.1.3	Especificações de teste para projetos de misturas	49
1.7.2	Testes a serem realizados durante a construção	50
1.7.2.1	Tipo e escopo de testes a serem realizados em operações de tratamento de solos	50
1.7.2.2	Os métodos e procedimentos de testes	52
1.7.2.2.1	Os métodos para teste das características de compactação	53
1.7.2.2.2	Os métodos de teste para determinar os parâmetros de compactação	54
1.7.2.2.3	Teste de módulo de deformação, a posição vertical e horizontal correta e uniformidade no subleito	57
1.8	Solos e materiais de construção minerais para tratamento de solos	58
1.8.1	Solos adequados (de acordo com a norma DIN 18196)	58
1.8.2	Solos (de acordo com a norma DIN 18196) e materiais de construção adequados e suas limitações	58
1.8.3	Solos não adequados	58
1.8.4	Agregados naturais e artificiais e materiais de construção reciclados	59
1.8.5	Influência do sulfato	59
1.9	Ligantes	60
1.9.1	Geral	60

Conteúdo

1.9.2	Tipos de ligante	60
1.9.3	Modo de ação dos ligantes	60
1.9.3.1	Cais de construção	60
1.9.3.2	Cimentos	62
1.9.3.3	Misturas de ligantes	62
1.9.4	Ligantes com propriedades especiais	63
1.9.4.1	Ligantes de baixo nível de poeira	63
1.9.4.2	Ligantes hidrofóbicos	63
1.9.5	Aplicações com ligantes	64
1.9.6	Tempos de processamento de ligantes	66
1.9.7	Tempos de reação de ligantes	66
1.10	Água	68
1.11	Efeitos da água	70
1.11.1	Precipitação	70
1.11.2	Vento	70
1.11.3	Temperatura	71
1.12	Tratamento de solos - Construção	72
1.12.1	Procedimentos de mistura	72
1.12.2	Adição de ligante sem poeira	72
1.12.3	Processo de mistura in situ	74
1.12.3.1	Princípios de construção para o processo de mistura in situ (todos os campos de tratamento de solos)	74
1.12.4	Requisitos para o tratamento dos solos	80
1.12.4.1	Quantidade de ligante	80
1.12.4.2	características de compactação	80
1.12.4.3	Verificação da quantidade de ligante	82
1.12.4.4	Superfície	82
1.12.4.5	Nivelamento	82
1.12.4.6	Espessura de pavimentação	82
1.13	Aterros estruturais	84
1.13.1	Condições	84

1.13.2	Materiais de construção	84
1.13.2.1	Área de drenagem	84
1.13.2.2	Áreas de aterro e cobertura	84
1.13.3	Compactação	85
1.14	Preenchimento de valas	86
1.14.1	Geral	86
1.14.2	Trabalhando com o ligante	86
1.14.3	Compactação	86
2	Camadas de base com ligante hidráulico	91
2.1	Geral	91
2.2	Terminologia	92
2.3	Camadas de base com ligantes hidráulicos em conformidade com o „Condições técnicas adicionais do contrato e diretrizes para a construção de camadas de base com ligantes hidráulicos e pavimentos de concreto „(ZTV Beton-StB) e estabilização do solo em de acordo com as „Condições técnicas adicionais do contrato e as diretrizes para obras de terraplanagem construção de estradas” (ZTV E-StB)	93
2.4	Princípios da Produção	94
2.4.1	Geral	94
2.5	Testes – definição	95
2.5.1	Os testes iniciais (design da mistura)	95
2.5.2	Controle de produção da fábrica	95
2.5.3	Testes de controle interno	97
2.5.4	Verificação da conformidade	97
2.6	Materiais de construção	98
2.6.1	Solos e agregados para estabilização de solos	98
2.6.2	Agregados e misturas de materiais de construção para as camadas de base ligadas hidraulicamente	99
2.6.3	Agregados e misturas de materiais de construção para as camadas de base de concreto	102
2.6.4	Ligantes hidráulicos	103
2.6.5	Água	104
2.6.6	Adjuvantes de concreto/ Aditivos de concreto	104
2.7	Requisitos sobre camadas de base com ligantes hidráulicos	105
2.7.1	Projeto	105
2.7.2	Camadas do pavimento com ligante	105

Conteúdo

2.7.3	Espessura mínima de pavimentação	105
2.7.3.1	Camadas estabilizadas	105
2.7.3.2	Camadas de base ligadas hidraulicamente	105
2.7.3.3	Camadas de base de concreto	106
2.7.4	Delineamento da borda das camadas de base	106
2.7.4.1	Detalhes do delineamento da borda	107
2.7.5	Drenagem de camadas de base	108
2.7.6	Execução em baixas/altas temperaturas e geadas	108
2.7.7	Posição vertical e horizontal corretas	108
2.7.8	Nivelamento	108
2.7.9	Tolerâncias de espessura pavimentação	109
2.7.10	Sulcos ou juntas	109
2.7.11	Cura	110
2.7.11.1	Tabela: Resumo dos requisitos para camadas de base com ligantes hidráulicos em de acordo com as “Condições técnicas adicionais de contrato e diretrizes para a construção de camadas de base com ligantes hidráulicos e pavimentos de concreto” (ZTV Beton-StB)	112
2.8	Produzindo camadas estabilizadas	114
2.8.1	Requisitos das misturas de pavimentação para camadas estabilizadas	114
2.8.2	Produção	114
2.8.3	Processo de mistura in situ	114
2.8.4	Processo de mistura na planta	115
2.8.5	Colocação e compactação	116
2.8.6	Requisitos sobre o grau de compactação	116
2.9	Produzir camadas de base ligantes hidráulicos	117
2.9.1	Requisitos para a mistura pavimentação	117
2.9.2	Produção, transporte e colocação	117
2.9.3	Requisitos para a camada final	118
2.10	Tipo e escopo dos testes	119
2.10.1	Testes iniciais para as camadas estabilizadas	119
2.10.2	Testes iniciais para camadas de base ligadas hidraulicamente	121
2.10.3	Controle interno e testes de conformidade para as camadas estabilizadas	122
2.10.4	O controle interno e testes de conformidade para as camadas de base ligadas hidraulicamente	124

2.10.5	O controle interno e testes de conformidade para as camadas de base de concreto	125
2.11	Usando asfalto reciclado e materiais de pavimentação com alcatrão recuperado em camadas de base com ligantes hidráulicos	126
2.11.1	Geral	126
2.11.2	Matérias-primas – Agregados	126
2.11.3	Aditivos	126
2.11.4	Armazenamento de materiais pavimentação com alcatrão recuperado	127
2.11.5	Misturas de materiais de construção	127
2.11.6	Requisitos	127
2.11.7	Testes iniciais	127
Referências		128
Corpo de normas e regulamentos técnicos		129

1.6 Princípios básicos de terraplenagem

1.6.1 Compactação

No início da compactação, o empreiteiro deve completar um campo de teste para verificar se os requisitos de compactação serão cumpridos.

A espessura máxima da massa (ou espessura máxima da camada de melhoria, respectivamente) deve ser de tal modo que o grau de compactação especificada é obtido ao longo de toda a espessura da camada.

Condições especiais para compactação ou construção aplicam-se aos ombros de aterros. Isto pode influenciar a largura das grandes quantidades de um aterro no caso de estabilização do solo ou a estabilização do pavimento.

Ao colocar materiais de construção sensíveis a intempéries, as superfícies em massa tem que ser construídas com uma inclinação não inferior a 6%.

1.6.2 Requisitos de compactação no subsolo e do subleito

O subsolo ou subleito de estradas e caminhos tem que ser compactados, de modo a atender aos seguintes requisitos, percentual mínimo de 10%

para o grau de compactação D_{Pr} ou o percentual máximo de 10% para os vazios de ar n_a respectivamente.

Área	Grupos de solos	D_{Pr} em %	n_a em % em volume
Subleito a uma profundidade de 1,00 m para os aterros Subleito a uma profundidade de 0,50 m para os cortes	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	100	–
1,00 m abaixo do nível de base de aterro	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	98	–
Subleito para aterro base Subleito, a uma profundidade de 0,50 m para cortes	GU*, GT*, SU*, ST* U, T, OU ¹⁾ , OT ¹⁾	97	12 ²⁾

¹⁾ Estes requisitos aplicam-se a solos de grupos OU e OT apenas se suas condições de adequação e colocação foram investigados separadamente e determinadas em consulta com o cliente.

²⁾ Se os solos não são melhoradas por meio da estabilização do solo ou melhoria qualificada dos solos, uma exigência de no máximo 10% para a proporção de vazios de ar é recomendada como se segue:

- 8% em volume ao colocar grãos mistos sensíveis a água ou solos de granulação fina, e
- 6% em volume ao colocar pedra de força variável.

Isso tem que ser indicado na especificação de obras.

1.6.3 Requisitos no subleito

O subleito deve cumprir com as especificações de termos de posição vertical e horizontal correta, regularidade e capacidade de carga.

Requisitos para a posição vertical e horizonte corretas:

Desvio: ± 3 cm do nível de design
 ± 2 cm, se o aterro é para ser revestido com uma camada de base ligada

O subleito deve ter a seguinte inclinação transversal:

- > $\geq 4,0\%$ para os solos sensíveis à água e materiais de construção
- > $\geq 2,5\%$ depois do tratamento dos solos com ligantes

Reduzindo a inclinação transversal depois do tratamento dos solos resulta em grandes economias potenciais em material de pavimento.

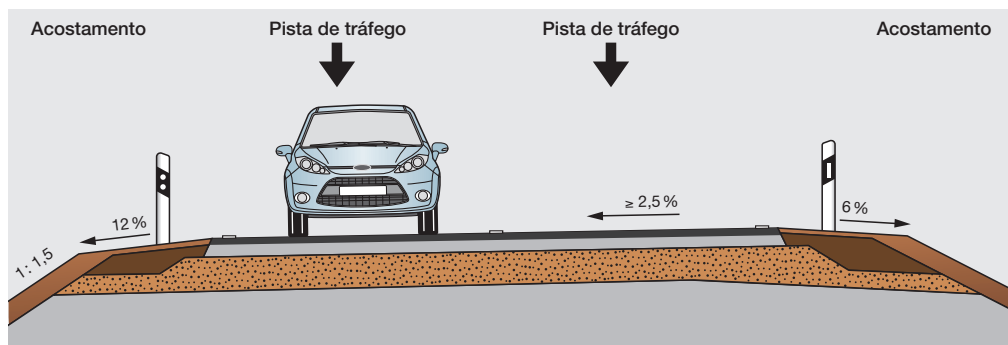
Exemplo: $q_{\text{Pavimento}} = 2,5\%$

$q_{\text{Subleito}} = 4,0\%$

Largura do subleito = 6,00 m

→ **Economia: aprox. 0,30 m³/m**

Na borda elevada da faixa de rodagem, o subleito tem de ser concebido com um gradiente inverso.



Ao executar operações de melhoria do solo em nível do subleito, o design das bordas da estrutura de aterro podem exigir excesso de perfilação, devido aos métodos de produção e equipamentos utilizados.

1.12 Tratamento do solo – Construção

1.12.1 Procedimentos da mistura

É feita uma distinção geral entre dois diferentes procedimentos quais podem ser usados para produzir um mistura solo-ligante.

> **Processo de mistura em usina**

Sempre que o processo de mistura no local não puder ser utilizado por razões técnicas (devido, por exemplo, bueiros existentes, ravinas, alargamentos de estradas, estruturas, trincheiras, etc) ou se for antieconômico, misturas de solo ligante produzidas usando processo de mistura em usina podem ser aplicados.

Nas operações de tratamento do solo, o processo de mistura em usina não são normalmente economicamente viáveis para a produção de misturas de solo-ligante.

> **Processo de mistura in situ**

O processo de mistura in situ é o método padrão de construção usado em operações de tratamento de solos.

O misturador passa na camada preparada para tratamento, trabalhando na camada com ligante previamente espalhados e, quando apropriado, a quantidade necessária de água.

Variações na sequência das fases de operações individuais são possíveis dependendo da localização das escavação e do local da pavimentação.

> **Processo especial**

Quando o local de pavimentação não permite a utilização de um misturador (em caso de alargamentos da estrada, de preenchimento trincheiras de utilidade ou aterros estruturais, em áreas ou locais onde ligantes devem ser evitados etc), o ligante pode ser espalhado e misturados no local de escavação. A mistura solo-ligante é em seguida transportada para o local de pavimentação, colocada e compactada.

1.12.2 Adição de ligante sem poeira

O espargidor de ligante „S-Pack“ (Spreader-Pack), integrado opcionalmente na WR 240, WR 240 i ou WR 250, serve para espalhar o ligante sem poeira na reciclagem a frio e na estabilização do solo. Controlado por um microprocessador, ele aplica cal ou cimento diretamente em frente ao rotor de fresagem e mistura. Principalmente em autoestradas, em zonas industriais com normas de emissão rígidas e em áreas residenciais ou de proteção ambiental, o „S-Pack“ garante uma aplicação de ligantes segura e, principalmente, sem poeira. O enchimento completo do espargidor ocorre em menos de cinco minutos.

Um transportador de silo comum de 27 t esvazia o „S-Pack“ dentro de duas horas. A operação e o monitoramento do processo de espalhamento ocorrem de forma intuitiva, através do display de controle. A excelente mobilidade em diferentes terrenos da série WR permite agora espalhar ligante de forma segura e precisa também em locais onde não é possível usar espargidores de ligante automotores com carga pesada.



2.2 Terminologia

Dependendo da tecnologia, materiais de origem e do processo de mistura utilizado, as camadas de base com ligantes hidráulicos são distinguidas em:

> **Camadas estabilizadas com ligantes hidráulicos**

Estabilização de solos é composta por uma série de processos de construção destinados a aumentar a resistência das camadas de base granular das tensões causadas pela carga de tráfego e clima.

- A mistura do material de construção é compactada após a conclusão da operação de estabilização. No processo, o ligante hidráulico e a água são adicionados aos solos e/ou misturas de materiais de construção que utilizam o processo de mistura in situ ou mistura na planta.

- Processo de mistura in situ

O misturador passa pela camada preparada para a estabilização do solo, escarificando e misturando o ligante hidráulico específico na quantidade de água requerida.

> **Processo de mistura na Usina**

(O solo ou mistura de agregado é mesclado com o ligante especificado em quantidade de água requerida (água da mistura) em plantas de mistura estacionárias, e instaladas para o canteiro de obras.

> **Camadas de base de ligantes hidráulicos**

(produzido usando o processo de mistura na usina apenas)

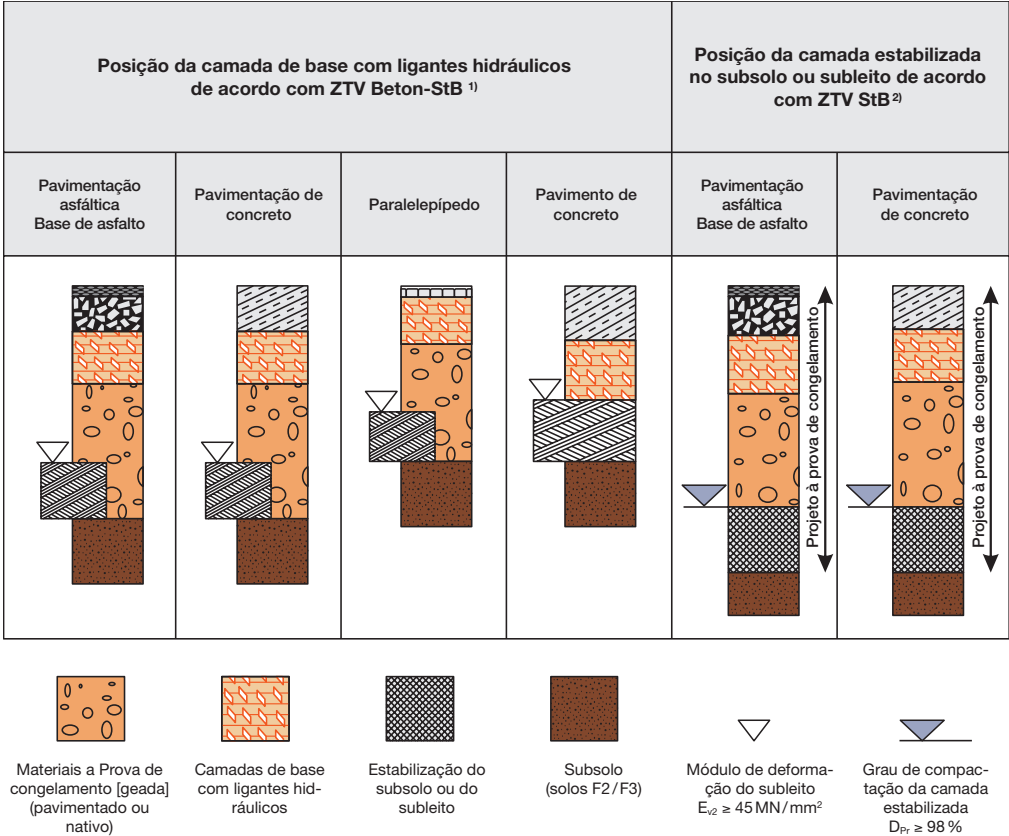
Camadas de base de ligantes hidráulicos consistem em materiais de construção não triturados e/ou triturados e ligantes hidráulicos. A classificação da mistura de material de construção tem de estar dentro dos limites de classificação especificados. A mistura de pavimentação deve ser produzida em usinas.

> **Camadas de base de concreto**

(Camadas de base de concreto são camadas base com concreto de acordo com a norma DIN EN 206-1 e DIN 1045-2.



2.3 Camadas de base com ligantes hidráulicos em conformidade com ZTV Beton-StB¹⁾ e estabilização do solo em de acordo com ZTV E-StB²⁾



¹⁾ Condições técnicas adicionais de contrato e diretrizes para a construção de camadas de base com ligantes hidráulicos e pavimentos de concreto

²⁾ Condições técnicas adicionais de contrato e diretrizes para obras de terraplanagem na construção de estradas

2.6.3 Agregados e misturas de materiais de construção para as camadas de base de concreto

Agregados como descritos na seção 2.6.2, Agregados e misturas de material de construção para as camadas de base de ligantes hidráulicos, sendo que a única restrição é que as cinzas volantes de carvão apropriadas não podem ser

utilizadas como uma adição aos agregados, mas apenas como um aditivo. As curvas de classificação a serem observadas são baseadas nos requisitos da norma DIN EN 206-1 e DIN 1045-2.



2.6.4 Ligantes hidráulicos

Os cimentos de acordo com a norma DIN EN 197 ou DIN 1164-10, como mostrado na tabela abaixo ou no solo hidráulico e nos ligantes rodoviários,

em conformidade com a norma DIN 18506 (classes de resistência 12.5 e 32.5) são utilizados como ligantes.

Principais tipos de cimento	Designação de tipos de cimento	principais constituintes	
CEM I	Cimento Portland		
CEM II	Escória de portland de alto-forno de cimento	A/B	S escória granulada de alto-forno
	Cimento sílica fume Portland	A	D Sílica de fumo
	Cimento pozolânico Portland	A/B	P/Q pozolanas
	Cinzas de cimento Portland	A	V Fly cinzas
	Cimento xisto queimado Portland	A/B	T Shale
	Cimento Portland de calcário	A	LL Calcário
CEM II-M	Cimento Portland composto	A	S-D, S-T, S-LL
			S-P, S-V
			D-T, D-LL, D-P
			D-V
			T-LL
			P-V, P-T, P-LL
			V-T, V-LL
		B	S-D, S-T, S-P
			D-T, D-P
			P-T
CEM III	Alto-forno de cimento de escória	A	S
		B	S
CEM IV	O cimento pozolânico	B	P ¹⁾
CEM V	Cimento composto	A	S-P ²⁾
		B	

¹⁾ Aplica-se apenas a Trass de acordo com DIN 51043 como o principal constituinte de até max. 40% em mass

²⁾ Aplica-se apenas a Trass de acordo com DIN 51043 como constituinte principal