

ARTIGOS ABRASFE

Pressão Lateral do Concreto *Verificações de Acordo com a DIN 18218*

Breno Santos



ABRASFE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÓRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 – Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br

Resumo

Neste trabalho, práticas atuais no dimensionamento de fôrmas são apresentadas com foco no cálculo normativo baseado na norma alemã DIN 18218 para pressão do concreto na fôrma. Em 2010, a versão revisada da norma alemã DIN 18218:2010-01 "Fresh Concrete Pressure on Perpendicular Formwork" foi publicada. Esta norma inclui concreto com alto slump, bem como concreto auto-adensável.

Breve Histórico

A norma alemã DIN 18218 foi atualizada pelo comitê NA 005-07-11 AA e emitida em 2010. A DIN 18218: 2010-01 está ligada a norma européia de escoramentos, o EN 12812: 2008 e ao anexo alemão para execução de estruturas de concreto, a DIN 1045-3: 2011-01. A partir desta versão foi incluída a concepção explícita para o concreto altamente fluido e o concreto auto adensável.

Concretos altamente fluidos com classe de consistência F5, F6 e o concreto auto adensável são agora incluídos nesta nova versão da DIN 18218. O conceito simplificado para o cálculo realista e confiável da pressão lateral exercida pelo concreto fluido sobre a fôrma é baseado em vários estudos experimentais e teóricos. Os detalhes normativos são explicados em detalhes no artigo *Formwork pressure induced by highly flowable concrete— design approach and transfer in practice*. Várias equações para o cálculo da pressão lateral na fôrma, estão listados na DIN 18218: 2010-01, uma para cada classe de consistência de acordo com a norma DIN EN 206-1 e DIN 1045-2.

Pressão Lateral do Concreto Fluido

Deve ser feita uma distinção entre o valor absoluto da pressão do concreto fluido e a distribuição desta pressão de concreto fluido sobre a altura da fôrma. A pressão do concreto fluido é indicado como o valor característico da ação σ_{hk} . Ao dimensionar fôrmas, incluindo os seus apoios e ancoragens, esta pressão é considerada como uma carga estática aplicada.

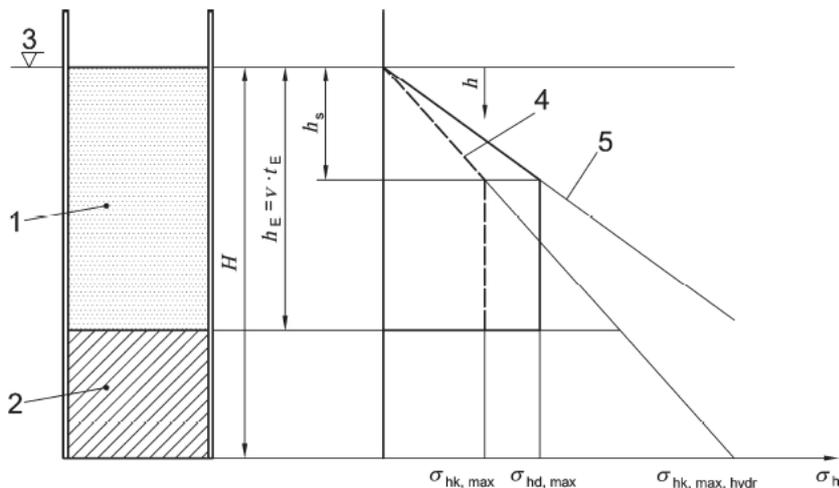
O dimensionamento da fôrma incluindo as ancoragens devem basear-se no valor de cálculo da pressão do concreto fluido $\sigma_{hd} = \gamma_F * \sigma_{hk}$. O fator de segurança parcial γ_F é obtido a partir da DIN EN 12812 "Falsework. Performance requirements and general design". Para as análises em estado limite último fator γ_F utilizado é 1,5 para as ações desfavoráveis. Um fator de segurança parcial γ_F de 1,0 será utilizado nos casos em que a pressão do concreto fluido é assumida a agir favoravelmente no elemento.

Distribuição da pressão do concreto fluido ao longo da altura da fôrma

No estado limite último, a fôrma de altura H deve ser concebida para assumir a posição de carga mais desfavorável no diagrama de distribuição de pressão do concreto mostrado na figura abaixo. A distribuição da pressão de concreto fluido sobre a altura, $h_E = v * t_E$ deve ser considerada como demonstrado abaixo. Quando a altura H da fôrma é maior do que a distribuição da pressão de concreto fresco a carga é movida verticalmente para cima ao longo da altura da fôrma.

Um diagrama de carga adequado deve ser utilizado para a análise da deformação da fôrma no estado limite de utilização, bem como a resistência da peça para o estado limite último.





1	Concreto Fresco
2	Concreto Endurecido
3	Nível final do Concreto
4	Pressão Hidrostática do Concreto
5	Pressão Hidrostática do Concreto multiplicado por γF

H Altura total do elemento construtivo à ser concretado

h_E Altura do concreto no tempo de endurecimento/pega t_E

h_s Altura hidrostática equivalente

v velocidade de concretagem

t_E Tempo de Endurecimento/Pega (tempo decorrido entre a primeira adição de água até o fim do endurecimento/pega do concreto, podendo ser determinado a partir do método de penetração de Vicat)

σ_{hk} Valor característico da pressão lateral do concreto fluido

σ_{hd} Valor de dimensionamento da pressão lateral do concreto fluido

Para o dimensionamento da fôrma, a distribuição da pressão bilinear é utilizada, como mostrado na imagem acima. Por conseguinte, a pressão do concreto fluido é hidrostática até que a pressão característica máxima, $\sigma_{hk,max}$ e a respectiva altura hidrostática equivalente, H_s , é alcançada. Subsequentemente, a pressão lateral é constante na seção restante da altura $h_E = v * t_E$. Se o concreto tem uma idade $\geq t_E$, não será mais considerada pressão lateral do concreto sobre a fôrma. A pressão é assumida como hidrostática até a profundidade h_s , para levar em consideração as incertezas em relação à velocidade de concretagem descontínua ou a vibração interna, devendo o dimensionamento da fôrma cumprir com os requisitos de segurança e confiabilidade da construção.

Classes de Consistência

A consistência do concreto fluido é avaliada de acordo com a norma DIN EN 206-1 ou DIN 1045-2, por meio de classes de consistência, sendo o concreto classificado nas classes F1, F2, F3, F4, F5 ou F6 ou como concreto auto-adensável. Para determinar a consistência do concreto, é utilizado o ensaio de espalhamento de acordo com EN 12350-5



ABRASFE

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994

contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br

Classe de Consistência	Diâmetro de Espalhamento (mm)
F1	≤ 340
F2	350 a 410
F3	420 a 480
F4	490 a 550
F5	560 a 620
F6	≥ 630

Determinação do valor característico da pressão máxima de concreto fluido

Os valores característicos da pressão máxima possível do concreto fluido $\sigma_{hk,max}$ para várias velocidades de concretagem e classes de consistência podem ser calculados com base nas informações apresentadas nas tabelas abaixo.

As equações na Tabela 1 e Figuras B.1 a B.5 baseiam-se nas seguintes condições:

- o concreto fresco possui densidade γ_c de 25 kN / m³;
- O tempo de endurecimento/pega do concreto fluido na fôrma não excede t_E .
- O concreto fluido de classes de consistência F1, F2, F3, F4, F5 e F6 é compactado usando vibradores internos;
- A fôrma é estanque;
- A velocidade de concretagem v do concreto com classes de consistência F1, F2, F3, F4 não é superior a 7,0 m / h em qualquer ponto;
- A concretagem é realizada no sentido oposto ao da subida de nível (isto é, é concretado a partir do topo).

Classe de Consistência	Máxima Pressão Lateral do Concreto Fluido (kN/m²)
F1	$(5v + 21) * K1 \geq 25$
F2	$(10v + 19) * K1 \geq 25$
F3	$(14v + 18) * K1 \geq 25$
F4	$(17v + 17) * K1 \geq 25$
F5	$25 + 30 * v * K1 \geq 30$
F6	$25 + 38 * v * K1 \geq 30$
Concreto Auto Adensável	$25 + 33 * v * K1 \geq 30$

V velocidade de concretagem (m/h)

$K1$ Fator para consideração do tempo de endurecimento/pega do concreto

A Pressão de dimensionamento para a classe de consistência F6 é maior em comparação com o concreto auto adensável devido ao impacto dinâmico da vibração, a qual é necessária na classe F6 de acordo com a DIN 1045 2



Classe de Consistência	Fator K1			
	Tempo Final de Endurecimento/Pega tE=5h	Tempo Final de Endurecimento/Pega tE=10h	Tempo Final de Endurecimento/Pega tE=20h	Formulação Geral ^b
F1 ^a	1,0	1,15	1,45	1+0,03*(tE-5)
F2 ^a	1,0	1,25	1,80	1+0,053*(tE-5)
F3 ^a	1,0	1,40	2,15	1+0,077*(tE-5)
F4 ^a	1,0	1,70	3,10	1+0,14*(tE-5)
F5,F6,CAA	1,0	2,00	4,00	tE/5

a Aplicável para seções com altura máxima de 10,0 metros

b Aplicável para $5h \leq t_E \leq 20h$; t_E em horas

Para o cálculo da pressão característica máxima, as equações da tabela acima devem ser aplicados. A DIN 18218: 2010-01 considera a velocidade de concretagem (v), bem como o endurecimento e pega do concreto através do coeficiente K1. O coeficiente K1 depende do tempo de endurecimento/ pega do concreto (tE), como demonstrado na segunda tabela para as várias classes de consistência.

Se o concreto é colocado a partir do fundo (por exemplo, quando na utilização do concreto auto adensável) $\sigma_{hk,max}$ deve ser considerado como sendo, pelo menos, a pressão hidrostática do concreto fluido no local de concretagem. A diferença máxima de altura entre o local de concretagem e o nível superior do concreto deve, em momento algum ser superior a 3,5 m.

O tempo de endurecimento/pega do concreto fluido é determinado com base na sua composição (relação a/c, o tipo de cimento, aditivos, misturas) e as condições de temperatura (do concreto fluido e da temperatura do ambiente combinado com o tipo de fôrma) no momento da concretagem, e deve ser calculado durante o teste inicial. A DIN 18218 permite utilizar os seguintes valores estimados a partir do tipo classificação de concreto. Concretos com desenvolvimento de resistência classificado como "rápido", de acordo com a DIN EN 206- 1: 2001-07, a uma temperatura superior a 15 °C, ou concretos classificados como "médio" a uma temperatura superior a 20 °C, o tempo de endurecimento/pega pode ser utilizado como $tE = 5 h$ desde que a mistura não contenha quaisquer retardadores. Quando o concreto é de desenvolvimento de resistência "rápida" a uma temperatura superior a 10 °C, ou "médio" a uma temperatura superior a 15 °C, ou "lenta" a uma temperatura superior a 20 °C, o tempo de endurecimento/pega pode ser assumido com $tE = 7 h$, se as outras condições são as mesmas. A estimativa do tempo de endurecimento/pega baseia-se em concreto com uma classe de resistência de, pelo menos, C20/25.

Parâmetros que afetam a Pressão Lateral do Concreto Fluido de acordo com a DIN 18218

Conforme explicitado no artigo Pressão de Concreto – Conceitos, vários fatores afetam pressão do concreto fluido. Neste tópico serão listados os itens considerados na DIN 18218 e o impacto que cada um deles retorna para o cálculo da máxima pressão lateral do concreto fluido.

Quando a concretagem é realizada a partir do topo, a pressão hidrostática do concreto fluido $\sigma_{hk,max,hydr} = \gamma_c * h$ é o máximo valor característico possível da pressão. É para



ser utilizado como o valor limite superior mesmo no caso de um valor mais elevado ser obtido para a pressão como resultado de um ou mais dos parâmetros descritos a seguir.

Um valor diferente de pressão hidrostática $\sigma_{hk,max,hydr}$ pode ser assumido se assegurado que alguma ação está sendo tomada para reduzir a pressão (tal como descrito anteriormente e a seguir). Em tais casos, a velocidade de concretagem permitida é resultado, principalmente, da capacidade de carga da fôrma e o tempo de endurecimento/pega do concreto.

Tempo Final de Endurecimento/Pega

O tempo final de endurecimento/pega, t_E , deve ser utilizado para levar em consideração sua influência na pressão do concreto fluido. Conforme demonstrado nas tabelas acima, ao aplicar a formulação sugerida pela DIN 18218, deve ser utilizado o fator K_1 de correção da pressão. É permitido que valores intermediários sejam obtidos por interpolação linear.

Temperatura

A temperatura influencia o tempo de endurecimento/pega do concreto fluido, bem como afeta o comportamento reológico e, conseqüentemente, a sua pressão. A influência da temperatura do concreto fluido e a temperatura externa devem ser tomadas em consideração na DIN 18218 a partir dos pressupostos indicados abaixo.

A temperatura de referência, $T_{c,ref}$, é a temperatura do concreto fluido utilizada para a determinação do tempo de endurecimento/pega t_E .

Temperatura do Concreto Fluido

Se, durante a concretagem, a temperatura do concreto fluido $T_{c,conc}$, é mais elevada do que a temperatura de referência $T_{c,ref}$, a pressão do concreto fluido, $\sigma_{hk,max}$, pode ser reduzida em 3% para cada 1 °C de diferença de temperatura, limitado a um máximo de 30%. Este procedimento é válido desde que a produção do concreto e / ou o dimensionamento da fôrma e / ou medidas de proteção garantam que a temperatura do concreto fluido permanece a esse nível mais elevado, até que o concreto endureça).

Se a temperatura do concreto fluido durante a concretagem, $T_{c,conc}$, é menor do que a temperatura de referência $T_{c,ref}$ ou se uma temperatura superior a $T_{c,ref}$ não pode ser mantida, $\sigma_{hk,max}$ deverá ser elevado de 3% para cada 1 °C de diferença de temperatura para o concreto das classes de consistência F1, F2, F3 e F4 e de 5% para cada diferença de 1 °C da temperatura para o concreto de classes d e consistência F5 e F6 e o concreto auto adensável. A diferença entre $T_{c,ref}$ e $T_{c,conc}$ não deve ser maior que 10 °C para o concreto de classes de consistência F1, F2, F3 e F4 e não mais que 5 °C para o concreto de classes de consistência F5 e F6 e o concreto auto adensável. Caso contrário, o tempo final de endurecimento/pega ser novamente determinado, com base em uma temperatura de referência inferior $T_{c,ref}$.

Ao usar cimento com baixo calor de hidratação, a menor temperatura do concreto fluido não deve ser inferior a temperatura de referência $T_{c,ref}$ mesmo quando a temperatura exterior é considerada, em casos de concretos com classes de consistência F5 e F6 e o concreto Auto Adensável é utilizado.

Temperatura do Ambiente

A influência da menor temperatura exterior em comparação com a temperatura do concreto durante a concretagem não necessita ser levada em consideração se o concreto é isolado termicamente durante o endurecimento/pega e sua temperatura é mantida.

Assim, a influência da temperatura exterior deve ser levada em consideração quando a temperatura do concreto fresco T_c , diminui enquanto o concreto endurece, para



ABRASFE

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br

um valor menor que a temperatura de concretagem $T_{c_{conc}}$. Neste caso $\sigma_{hk,max}$ deve ser aumentado de 3% para cada 1 °C de diferença de temperatura para o concreto de classes de consistência F1, F2, F3 e F4. Para o concreto de classes de consistência F5 e F6 e para o concreto auto adensável, $\sigma_{hk,max}$ deve ser aumentado em pelo menos 5% para cada 1 °C de diferença de temperatura. A diferença entre $T_{c_{ref}}$ e a menor temperatura do concreto enquanto ocorre a concretagem na fôrma não deve ser maior que 10 °C para o concreto de classes de consistência F1, F2, F3 e F4, e não maior que 5 °C para o concreto de classes de consistência F5 e F6 e o concreto auto adensável.

Se as temperaturas exteriores são mais elevadas do que $T_{c_{conc}}$ este fato não deve ser levado em consideração.

Resfriamento do Concreto

O resfriamento do concreto fluido por meios artificiais, deve ser levada em consideração, de acordo com os predispostos acima, sempre que a temperatura do concreto fluido estiver menor que a temperatura de concretagem $T_{c_{conc}}$.

Densidade do concreto

Se a densidade do concreto fresco γ_c desvia do valor de 25 kN /m³, a pressão lateral do concreto fluido $\sigma_{hk,max}$ determinado conforme itens exemplificados acima será multiplicada pelo factor $K2 = \gamma_c / 25$ (γ_c em kN / m³). A alteração na densidade não afeta a altura hidrostática equivalente H_s .

Compactação do concreto

As equações demonstradas para obtenção da máxima pressão lateral do concreto fluido, são aplicáveis para o concreto compactado usando vibradores internos convencionais do grupo 3, em conformidade com a norma DIN 4235-1: 1978-12. Ao usar vibradores internos dos grupos 1 e 2, a pressão do concreto fluido não deve ser reduzida a um valor menor do que o indicado nas fórmulas. Ao utilizar vibradores internos potentes (como são frequentemente utilizados para as peças de grande volume) uma maior pressão de concreto deve ser assumida. Quando o concreto fresco é compactado usando vibradores externos em conformidade com a norma DIN 4235-3 ou vibradores de fôrma de acordo com a norma DIN 4235-4, a parte da fôrma sujeita à ação destes vibradores durante a compactação deve ser calculada assumindo que o concreto tem uma pressão hidrostática do $\sigma_{hk,max} = \gamma_c * v * t_E$ até o endurecimento/pega.

Profundidade de Penetração dos Vibradores

O valor máximo da pressão de concreto fluido, calculado conforme exposto aplica-se a uma profundidade de penetração do vibrador h_v interna até a altura hidrostática equivalente h_s para o concreto de classes de consistência F1 a F4. Se a profundidade de penetração destina-se a ser maior que H_s a pressão do concreto fresco será aumentada para $\sigma_{hk,max} = \gamma_c * h_v$, sendo h_v equivalente a profundidade de penetração do vibrador interno.

Se o vibrador interno é destinado a concretos de classes de consistência F5 e F6 a uma profundidade de penetração superior a 1 m, a pressão máxima do concreto fluido é $\sigma_{hk,max} = \gamma_c * v * t_E$.



Armação

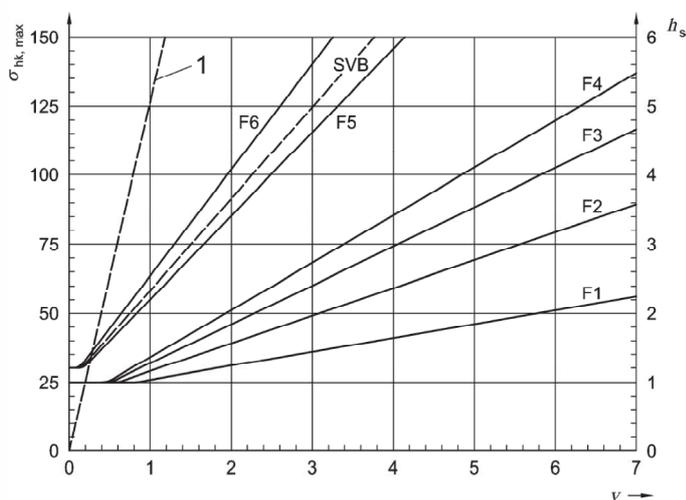
Em casos de peças construtivas fortemente armadas, a pressão lateral do concreto fluido pode ser significativamente menor do que quando partes do edifício não são significativamente reforçadas.

Ao concretar pilares reforçados com concreto auto adensável, o valor característico da pressão do concreto fluido $\sigma_{hk,max}$ pode ser reduzido em 20% se o lado menor não é mais amplo do que $b = 0,5$ m em qualquer ponto. Além disso, a distância entre as barras da armadura vertical e entre as barras da armadura horizontal de tais peças construtivas não deve ser superior a 125 mm, com o diâmetro da barra satisfazendo a condição $ds \geq 8$ mm. O reforço vertical deve se estender ao longo de toda a altura da fôrma e ser contínua.

Diagramas para determinação da Máxima Pressão Lateral do Concreto Fluido

O valor característico da pressão máxima lateral do concreto fluido pode ser verificado de forma simplificada a partir dos diagramas abaixo. Cada diagrama é baseado numa extremidade do tempo de endurecimento/pega do concreto fluido, t_E .

Os seguintes diagramas podem ser utilizados para obtenção do valor máximo da pressão lateral característica do concreto fluido, sendo uma função da velocidade de concretagem, v , para as várias classes de consistência e variando os valores do tempo de endurecimento/pega do concreto fluido, t_E . Em alguns casos, as classes de consistência F5, F6 e o concreto auto adensável têm valores menores do que as outras classes de consistência em velocidades de concretagem $v < 0,5$ m/h. Isto é devido ao fato da determinação da pressão do concreto fluido nestas classes de consistência estar baseado em um modelo de cálculo aperfeiçoado.



Legenda:

1 Pressão hidrostática até t_E

SVB Abreviação alemã para Concreto Auto Adensável



ABRASFE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br

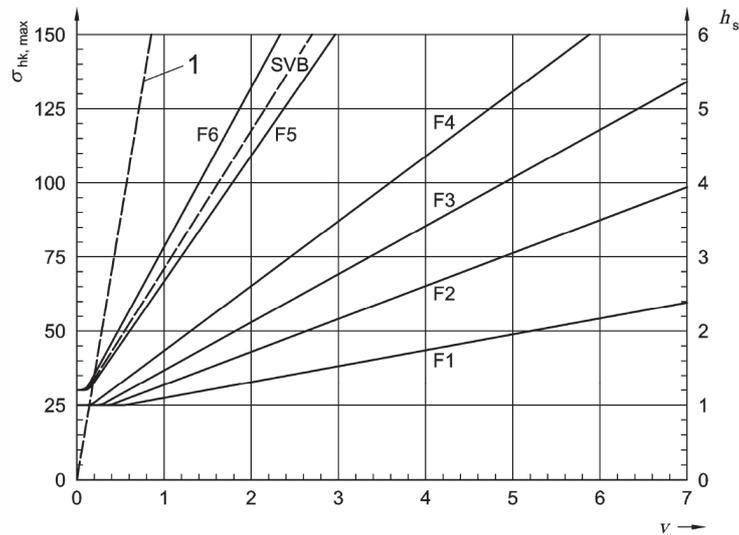
$t_E = 5 h$

$\gamma_c = 25 \text{ kN} / \text{m}^3$

Valor da pressão máxima lateral do concreto fluido $\sigma_{hk,max}$ em kN/m^2

Velocidade de concretagem em m/h

Altura Hidrostática equivalente em m



Legenda:

1 Pressão hidrostática até t_E

SVB Abreviação alemã para Concreto Auto Adensável

$t_E = 7 h$

$\gamma_c = 25 \text{ kN} / \text{m}^3$

Valor da pressão máxima lateral do concreto fluido $\sigma_{hk,max}$ em kN/m^2

Velocidade de concretagem em m/h

Altura Hidrostática equivalente em m

Para as classes de consistência F1 e F4 só se aplica para altura de concretagem até 10,0 metros

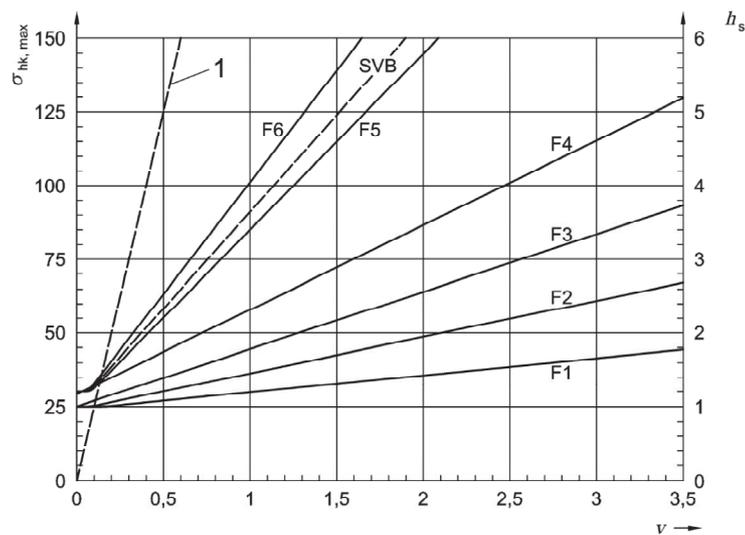


ABRASFE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br



Legenda:

1 Pressão hidrostática até t_E

SVB Abreviação alemã para Concreto Auto Adensável

$t_E = 10 h$

$\gamma_c = 25 \text{ kN} / \text{m}^3$

Valor da pressão máxima lateral do concreto fluido $\sigma_{hk,max}$ em kN/m^2

Velocidade de concretagem em m/h

Altura Hidrostática equivalente em m

Para as classes de consistência F1 e F4 só se aplica para altura de concretagem até 10,0 metros

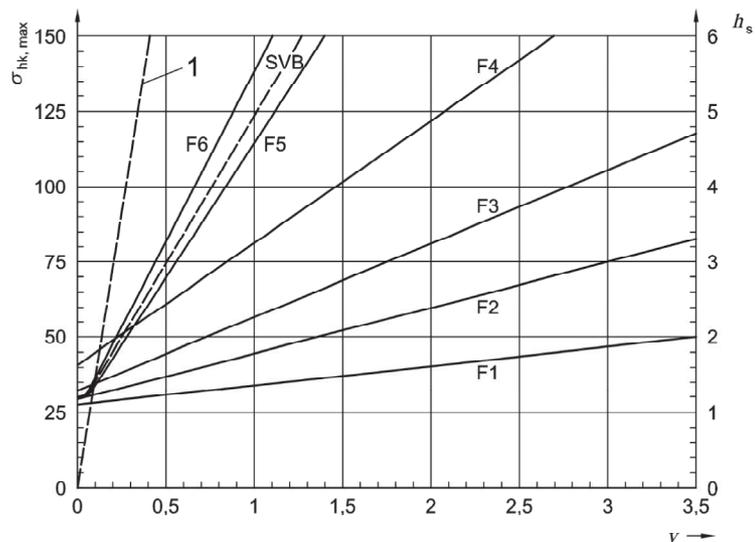


ABRASFE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÓRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br



Legenda:

1 Pressão hidrostática até t_E

SVB Abreviação alemã para Concreto Auto Adensável

$t_E = 15 h$

$\gamma_c = 25 kN / m^3$

Valor da pressão máxima lateral do concreto fluido $\sigma_{hk,max}$ em kN/m^2

Velocidade de concretagem em m/h

Altura Hidrostática equivalente em m

Para as classes de consistência F1 e F4 só se aplica para altura de concretagem até 10,0 metros

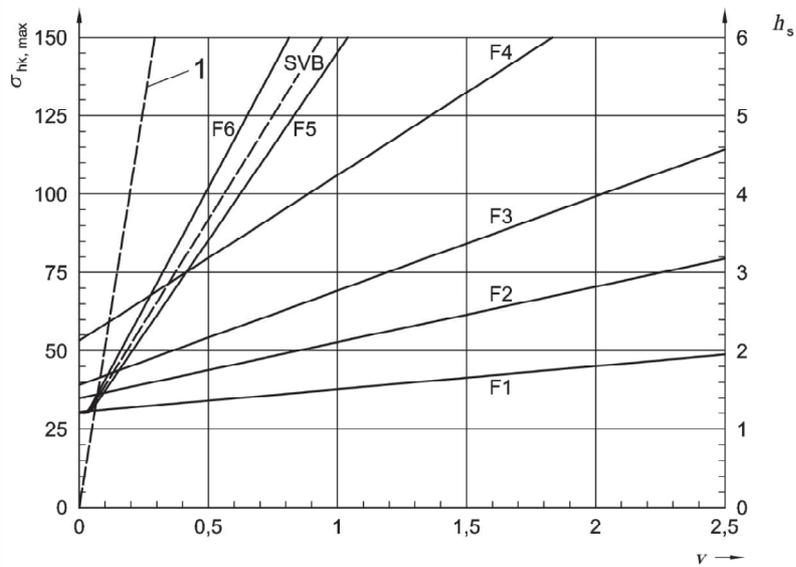


ABRASFE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 – Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br



Legenda:

1 Pressão hidrostática até t_E

SVB Abreviação alemã para Concreto Auto Adensável

t_E = 20 h

γ_c = 25 kN / m³

Valor da pressão máxima lateral do concreto fluido σ_{hk,max} em kN/m²

Velocidade de concretagem em m/h

Altura Hidrostática equivalente em m

Para as classes de consistência F1 e F4 só se aplica para altura de concretagem até 10,0 metros



ABRASFE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br

Referências

Pressure of fresh concrete on vertical formwork English translation of DIN 18218:2010-01

DIN Standard on Formwork Pressures Updated – Concrete International, Tilo Proske, TU Darmstadt

Form pressure generated by fresh concrete: A review about practice in formwork design - Tilo Proske, Kamal Khayat, Ahmed Fathy, Olaf Leitzbach

<http://utiposweb01.doka.com/dokatools/?language=en>

<http://www.peri.com/en/products/software-and-apps/apps/formwork-load-calculator.html>

<http://apps.peri.com/SLR/index.php?lang=en>

<http://www.paschal.de/english/service/concretepressurecalculation.php>

<http://www.meva.ro/en/web-services/concrete-pressure-calculator/index.php>



ABRASFE

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 – Sala 101
São Paulo/SP - CEP 04045-003

www.abrasfe.org.br