

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

TÍTULO: INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MOAGEM DA CAL CALCÍTICA
NAS REAÇÕES: POZOLÂNICA, CARBONATAÇÃO E TROCA
DE CÂTIONS.

ALUNA : Solange Maria da Rocha Patrício

SUPERVISOR: Prof. Heber Carlos Ferreira

PERÍODO : Janeiro a Junho de 1985

LOCAL : Laboratório de Solos I, II e III - CCT/UFPB

Campina Grande - Paraíba

1985



Biblioteca Setorial do CDSA. Maio de 2021.

Sumé - PB

ÍNDICE

	Página
1. APRESENTAÇÃO.....	01
2. INTRODUÇÃO.....	01
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	02
3.1 - Mecanismo de Estabilização.....	02
3.2 - Influência da Cal nas Propriedades de Engenharia de Solos.....	04
4. OBJETIVOS.....	05
5. MATERIAIS.....	05
5.1 - Solo.....	05
5.2 - Cal.....	06
6. MÉTODOS DE ENSAIOS.....	06
7. APARELHAGEM.....	06
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	07
9. CONCLUSÕES.....	10

AGRADECIMENTOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÊNDICE

1. APRESENTAÇÃO

Este relatório apresenta as atividades desenvolvidas , pela aluna Solange Maria da Rocha Patrício, matrícula nº7821037-1 do Curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, no período de janeiro a junho de 1985 sob a orientação do Professor Heber Carlos Ferreira da Área de Geotecnia.

2. INTRODUÇÃO

O termo área específica refere-se a área externa total das partículas de um sólido pulverulento referido à unidade de massa, é, normalmente, expressa em m^2/g ou cm^2/g .

Um sólido pulverulento ativo é aquele que possui um valor elevado da área específica. Assim, ativação é o aumento da área específica de um sólido pela subdivisão em partículas de dimensões coloidais ou ultrafinas, Souza Santos (1975).

A importância do estudo da área específica deriva da influência desse parâmetro em relação as estabilizações dos solos com cimentos, cal, cinzas volantes, emulsões asfálticas, entre outros, onde reações químicas nas superfícies das partículas do aditivo e do solo, dependem fundamentalmente da área específica.

Ferreira (1980) descreve três processos para estabilizar-se um solo:

A estabilização física, a estabilização química e a estabilização físico-química.

As reações químicas que ocorrem entre o aditivo e o solo, principalmente nos dois últimos processos citados, dependem dentre outros fatores, da área específica do solo.

No Brasil o método de estabilização física ou mecânica é ainda o mais empregado. Quando não é possível a utilização deste método muitas vezes são sub-utilizados e mesmo abandonados, muitos depósitos de solos que poderiam ser estabilizados por outros métodos. Tem havido algum progresso no estudo de estabilização química, especialmente com o uso do cimento portland. Contudo, mesmo sendo a utilização da cal no tratamento de solos uma das mais velhas técnicas usadas na construção de estradas, no Brasil seu emprego para a estabilização de solos é muito reduzido, e pouco se conhece especialmente sobre seus efeitos nos solos tropicais. É pois justificável o estudo dos solos vermelhos laterizados estabilizados com cal também no Brasil, a exemplo do que vem ocorrendo em outros países tropicais com resultados alentados, Ferro (1977).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - *Mecanismo de Estabilização.*

A estabilização de solos consiste na atuação de uma ou mais propriedades a fim de torná-lo utilizável em estruturas de terra, isto é, estradas, barragens, etc. Um dos métodos usuais se baseia na mistura racional de solo-cal, Aflitos (1981). Ocorrem diversas reações entre a cal e o solo.

As reações iniciais rápidas e que influenciam nas pro-

priedades de trabalhabilidade, plasticidade, massa específica aparente seca, tensão - deformação e resistência a compressão, Aflitos (1981).

Ao adicionar cal a um solo argiloso em presença de água, desenvolvem-se três reações básicas que são:

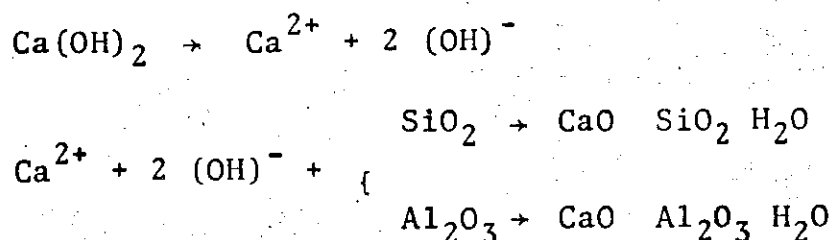
- Reação de Troca de Cátions
- Reação de Carbonatação
- Reação Pozolânica.

O exato efeito de cada uma destas reações na mistura solo cal ainda é assunto controverso.

Diamond e Kinter (1965) reconheceram, p. ex., que duas primeiras reações podem ocorrer, mas preconizam que apenas a reação pozolânica é em última análise, a responsável pela estabilização dos solos. Apesar de tais opiniões, é acreditado pela maioria dos estudiosos do assunto que as três reações acima enumeradas tem acentuada influência no mecanismo de estabilização de solos argilosos pela adição da cal.

A reação de troca de cátions é a primeira reação que provavelmente ocorre quando a mistura solo-cal entra em contato com a água, ocasião em que a cal se ioniza liberando ions de cálcio que vão substituir os ions existentes, Daniels (1971).

A reação pozolânica solo-cal é uma reação entre a cal, água, sílica e/ou alumina, formando agentes cimentícios (sílica - tos e/ou aluminatos de cálcio hidratados estáveis e de poder aglomerante; ou seja:



É um mecanismo semelhante ao do cimento portland, diferindo na obtenção do silicato de cálcio, que na hidratação do cimento, é obtido do silicato de cálcio anidro (2 CaO Si O_2 e 3 CaO SiO_2), independente do tipo de solo. Com a cal ocorre uma reação com os argilo-minerais ou com algum outro material fino, (possivelmente sílica e alumina amorfos) dando origem a silicatos e/ou aluminatos que se tornam gás, os quais cobrem e ligam as frações de argila do solo, obturando os poros. A reação de carbonatação,



$\text{Mg (OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Mg CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ é uma reação indesejável na estabilização de solos, uma vez que há formação de agentes cimentícios muito fracos e solúveis, que expandem durante a sua formação, que são os carbonatos de cálcio (Ca CO_3) e/ou de magnésio (Mg CO_3).

3.2 - Influencia da Cal nas Propriedades de Engenharia de Solos.

A adição da cal aos solos, em especial aos solos argilosos, provoca variações em muitas de suas propriedades de engenharia.

Destas propriedades as que mais interessam ao engenheiro rodoviário, e que por isso tem sido mais intensivamente estudadas, são: plasticidade, granulometria, variações volumétricas, por absorção de água, características de compactação, resistência e durabilidade.

Nesta breve revisão, contudo só será abordado a resistência da mistura solo-cal.

A resistência das misturas solo-cal compactada e, em geral, consideravelmente superior à do solo compactado sem cal. Esta propriedade, nas misturas solo-cal, é afetada principalmente pelas seguintes variáveis:

propriedades do solo natural, tipo de cal e condições de cura.

Omsby e Kinter (1973), mostraram que há diferenças no comportamento de argilas cauliníticas e montmorilonitas estabilizadas com cal, com relação à resistência. Tem sido mostrado (3) que com solos cauliníticos a cal calcítica é mais efetiva no ganho de resistência do que a cal dolomítica.

4. OBJETIVOS

Este trabalho estuda o comportamento de solos lateríticos com 6% de cal calcítica em diferentes tempos de moagem, tendo os seguintes objetivos:

1. Determinar a área específica da cal pelo método do Permeâmetro de Blaine.
2. Estudar as reações pozolânica, carbonatação e troca de cátions com cal calcítica em quatro diferentes tempos de moagem (1, 3, 5 e 15 h) e um mesmo teor de cal, sendo curadas em câmara climatizada para posterior determinação da resistência à compressão simples aos 3, 7 e 28 dias.

5. MATERIAIS

5.1 - Para a realização desta pesquisa foram utilizados dois ti

pos de solos, provenientes das cidades de Teixeira-PB (TEPB) e Teresina-PI (TEPI).

5.2 - Cal calcítica, adquirida na Dolomil, indústria de cal, situada em Campina Grande-PB. Na análise química a cal apresentou, um teor de CaO = 60,73% e MgO = 1,00%.

6. MÉTODOS DE ENSAIO

Para realização deste trabalho, inicialmente os solos lateríticos são passados na peneira de malha de 9,5 mm, e a cal colocada em moinho de bola por períodos de 1,3, 5 e 15 h. Realiza-se o ensaio de determinação de área específica, através do Permeâmetro de Blaine (MB-348/1966). Usou-se como padrão, amostra de cimento fornecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de área específica igual a $0,349 \text{ m}^2/\text{g}$ e densidade de $3,15 \text{ g/cm}^3$, nas cais moídas durante os períodos citados. A seguir são moldados corpos de prova cilíndricos, em diâmetro de 5,0 cm e altura de 10,0 cm, preparados em solo laterítico com 6% de cal calcítica. São feitos corpos de prova com cada tipo de solo laterítico e em cada tipo são utilizadas as cais com os diferentes tempos de moagem. Depois de moldados, os corpos de prova são curados em câmara climatizada com 100% UR e temperatura de 50°C . Posteriormente serão realizados os ensaios de resistência mecânica à compressão simples nos corpos de prova aos 3, 7 e 28 dias.

7. APARELHAGEM

Aparelho de Blaine de Permeabilidade ao Ar.

Balança com precisão de 0,0001 g.

Prensa.

Moinho de bola (búfalo) Mod. GALS.

Câmara Climatizada - Blue - M (Electric Company) Mod.
AC/7502HA-1.

Misturador de amostras.

Peneira de 0,5 mm.

Cilindro de 5,0 x 10,0 cm.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela I apresenta-se os resultados das áreas específicas da cal, obtidas pelo método do Permeâmetro de Blaine para diversos tempos de moagem. Observa-se desta Tabela que a área específica variou de $0,7159 \text{ m}^2/\text{g}$, sem moagem, para $0,9023 \text{ m}^2/\text{g}$ em um tempo de moagem de 15 h para um padrão de cimento utilizado de área específica igual a $0,349 \text{ m}^2/\text{g}$. Valores menores foram encontrados por Brito (1984) onde as áreas específicas dos solos lateríticos variaram de $0,0929 \text{ m}^2/\text{g}$ a $0,3140 \text{ m}^2/\text{g}$ para um padrão de cimento utilizado de área específica igual a $0,349 \text{ m}^2/\text{g}$ e valores maiores foram encontrados por Ferreira e Colaboradores (1972 e 1978) para caulins Nordestinos variando de 1,27 a $3,66 \text{ m}^2/\text{g}$.

Observa-se ainda, desta Tabela, que a proporção que aumenta o tempo de moagem da cal, valores maiores são encontrados para a área específica da mesma.

TEMPO DE MOAGEM (h)	INTERVALO DE TEMPO \sqrt{t} (s)	POROSIDADE C (%)	K	ÁREA ESPECÍFICA. S (m^2/g)
SM (*)	31,67	0,5	226,04	0,7159
1	32,96	0,5	226,04	0,7450
3	34,78	0,5	226,04	0,7862
5	38,73	0,5	226,04	0,8754
15	39,92	0,5	226,04	0,9023

(*) SM - Sem moagem

K - constante de permeabilidade da amostra padrão.

TABELA I - Áreas Específicas da Cal Calcítica Obtidas pelo Método Permeâmetro de Blaine, com Diversos Tempos de Moagem.

As Tabelas II e III apresentam os resultados das resistências à compressão simples dos solos lateríticos TEPB e TEPI, respectivamente com uma mistura de 6% de cal, nos tempos de 1, 3, 5 e 15h de moagem e curadas em câmara climatizada aos 3, 7 e 28 di-s. Observa-se destas Tabelas que a menor resistência encontrada ($0,60 \text{ kg/cm}^2$) foi para o solo TEPB com a cal a 5h de moagem e tempo de cura de 3 d, enquanto que a maior resistência, ($1,49 \text{ kg/cm}^2$) foi do solo TEPI para 1 e 3 h de moagem e 28 d de cura. Aflitos (1981) encontrou uma resistência de $5,75 \text{ kg/cm}^2$ para o solo TEPB com uma mistura de 7% de cal e tempo de cura de 28 d.

Observa-se da Tabela II que o tempo de moagem não influenciou na resistência, uma vez que tem tempos de moagem menores obteve-se resistências maiores que tempos de moagem maiores, bem como o contrário, ou seja, para 1h de moagem aos 7 d de cura a resistência foi de $0,85 \text{ kg/cm}^2$, enquanto que para 5h de moagem com o mesmo tempo de cura a resistência foi de $0,72 \text{ kg/cm}^2$.

Por outro lado para 1 h de moagem e 3 d de cura, a resistência foi de $0,68 \text{ kg/cm}^2$, enquanto que para 15 h de moagem e mesmo tempo de cura a resistência foi de $0,66 \text{ kg/cm}^2$. Observa-se ainda, desta Tabela que a resistência aos 7 d de cura para todos os tempos de moagem.

Os demais tempos de moagem apresentaram uma resistência aos 3 d de cura menor que a resistência aos 28 d de cura.

Segundo Anday (1963) a depender do tipo de solo pode ocorrer ou não uma reação pozolânica, que consiste na formação de vários agentes cimentícios, os quais contribuem para o aumento da tensão de rutura e durabilidade, do sistema solo-cal e que depende também além do tipo de solo, do tipo de cal, bem como da temperatura de cura. Eades et alli (1962), em pesquisas realizadas explica que a carbonatação é uma reação indesejável que ocorre com a cal, quando reage com o dióxido de carbono, da atmosfera, que provavelmente reduz a elevação da tensão de rutura do sistema solo-cal.

CURA (d)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (kg/cm^2) EM FUNÇÃO DO TEMPO DE MOAGEM DA CAL (h)			
	1	3	5	15
3	0,68	0,67	0,60	0,66
7	0,85	0,84	0,72	0,81
28	0,73	0,68	0,62	0,70

TABELA II - Resistência à Compressão Simples do Solo Laterítico TEPB + 6% de Cal.

Observa-se da Tabela III, que também não houve influência, devido ao tempo de moagem. Quanto ao tempo de cura, observa-se que aos 7 d de cura a resistência foi menor que aos 3 e 28 d

de cura, para todos os tempos de moagem.

CURA (d)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (kg/cm ²) EM FUNÇÃO DO TEMPO DE MOAGEM DA CAL (h)			
	1	3	5	15
3	1,15	1,25	1,15	1,00
7	0,85	0,87	0,86	0,88
28	1,49	1,49	1,18	1,41

TABELA III - Resistência à Compressão Simples do Solo Laterítico
TEPI + 6% de Cal.

9. CONCLUSÕES

Foram determinadas áreas específicas da fração fina da cal calcítica, em diferentes tempos de moagem, e também estudadas 2 tipos de solos lateríticos do Nordeste do Brasil com 6% de cal tendo em vista a possibilidade de uma maior resistência, variando a granulometria da cal, podendo-se chegar às seguintes conclusões:

A) Área específica.

Houve aumento da área específica com o aumento do tempo de moagem, embora este aumento não seja considerado significativo;

B) Resistência à compressão simples.

A resistência do solo TEPB, aos 7 d de cura foi maior que a resistência aos 3 e 28 d de cura.

Quanto ao tempo de moagem, a resistência da mistura solo-cal, decresce à medida que aumenta o tempo de moagem de 1 h para 5 h, aumentando sensivelmente a resistência de 5 h para

15 h.

A melhor resistência se deu aos 28 dias de cura.

Quanto ao tempo de moagem a resistência aumenta gradativamente de 1 h para 3 h, diminuindo sensivelmente de 3 h para 5 h e aumentando de 5h para 15h, com excessão dos 3 d de cura , que diminuiu um pouco.

Em resumo, pode-se concluir que não houve influência do tempo de moagem da cal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, na pessoa do Professor Ricardo Correia Lima, responsável pela parte de estágios supervisionados do referido Departamento.

Ao Professor Heber Carlos Ferreira, pela dedicação e incentivo na orientação deste trabalho.

Ao laboratorista João Dantas da Mata pelo auxílio na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - MB-348, Determinação da Finura de Cimento Portland Mediante Emprego do Aparelho de Permeabilidade Ao Ar. (1966).

AFLITOS, A.O. - A Influência de Aditivos Químicos em Propriedades Seleccionadas e de Engenharia de Solos Vermelhos Tropicais do Norte e Nordeste do Brasil - Dissertação de Mestrado, UFPB, Abril de 1981 - Campina Grande-PB.

ANDAY, M.C. - Curing Lime Stabilized Soils Highway Research Record nº 29. HRB (1963).

BRITO, L.P. - Caracterização de Pôs Através da Área Específica - Aplicação a Solos Lateríticos da Região Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, UFPB, Março de 1984, Campina Grande-PB.

DENIELS, D.J. - The Modifying Effects of Additive Quantities of Lime on Varion Clay Soils. M.s.C. Tesis, University Leeds, (1971).

DIAMOND, S. e KINTER, E.B. - Mechanism of Soil - Lime Stabilization an Interpretive Review. Highway Research Record nº 92, pp. 18 - 102 (1965).

EADES, J.L. et alli - Formation of New Minerals With Lime Stabilization as Proven by Field Experiment in Virgínia. High

way Research Board, Bull, nº 335, pp. 31 - 39, (1962).

FERREIRA, H.C. et alli - Correlações Lineares entre Áreas Específicas de Caulins Determinadas por Diversos Métodos. Aplicação a Alguns do Nordeste Brasileiro (Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte), Cerâmica, 18 (71), 333, (1972).

FERREIRA, H.C. et alli - Ensaio de Caracterização e Tecnológicos Visando Aplicação em Cobertura de Papel de Caulins do Nordeste Brasileiro, Editora Universitária, UFPB, João Pessoa-PB, (1978).

FERREIRA, A.M. - Estudos de Três Solos Estabilizados com uma Emulsão Asfáltica Catiônica, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, CCT/UFPB, Campina Grande-PB, (1980).

FERRO, J.G. - A Influência da Cal nas Propriedades de Engenharia de Solos Lateríticos. Federação das Escolas Superiores do Maranhão, 1977.

OMSBY, W.C. e KINTER, E.B. - Effects of Dolomitic And Calcitic Limes on Strength Development in Mixtures with two Clay Minerals. Public Roads, nº 4, Vol. 37, pp. 149 - 160, 1973.

SOUZA SANTOS, P. e CRUZ, P.E.N. - Áreas Específicas de Algumas Argilas Plásticas Brasileiras Usadas em Cerâmica Branca, Cerâmica, 17 (66), 161, (1971).

SOUZA SANTOS, P. - Tecnologia de Argilas Aplicadas às Argilas Brasileiras, Aplicações. Vol. 2, Editora Edgar Blucher Ltda., Editora da USP, São Paulo-SP, (1975).

APÊNDICE

ÁREA ESPECÍFICA - AMOSTRA DE CAL

1) Calibração.

$$\text{Volume } V_c = 2,3956 \text{ cm}^3$$

2) Peso da amostra padrão.

$$S_p = 0,349 \text{ m}^2/\text{g} \quad 3490 \text{ cm}^2/\text{g} \text{ (superfície específica padrão)}$$

$$\delta_p = 3,15 \text{ g/cm}^3 \text{ (massa específica)}$$

$$\epsilon_p = 0,5 \text{ (porosidade)}$$

Amostra N° 101 b

$$P = \delta_p V_c (1 - \epsilon_p) = 3,15 \times 2,3956 (1 - 0,5)$$

$$P = 2,7730 \text{ g} \text{ (cimento)}$$

3) Tempo de fluxo padrão.

Determinações:

$$\begin{array}{l} T_{p1} = 240,08 \text{ s} \quad T_m = 238,54 \\ T_{p2} = 237,00 \text{ s} \quad \sqrt{T_m} = 15,44 \end{array} \quad \left\{ \quad t = 27^\circ\text{C} \right.$$

4) Ensaio de Permeabilidade com a amostra (cal)

$$\epsilon = 1 - \frac{P}{P V_c}$$

$$0,5 = 1 - \frac{P}{2,5167 \times 2,3956} \quad P = 2,0145 \text{ g}$$

5) Tempo de fluxo da amostra (cal)

Cal sem moagem:

$$\begin{array}{l} T_1 = 1006 \text{ s} \quad T_m = 1003 \text{ s} \\ T_2 = 1000 \text{ s} \quad \sqrt{T_m} = 31,67 \text{ s} \end{array} \left\{ \right.$$

1 h de moagem:

$$\begin{array}{l} T_1 = 1133 \text{ s} \quad T_m = 1086,5 \text{ s} \\ T_2 = 1040 \text{ s} \quad \sqrt{T_m} = 32,96 \text{ s} \end{array} \left\{ \right.$$

3 h de moagem:

$$\begin{array}{l} T_1 = 1210 \text{ s} \quad T_m = 1209,5 \text{ s} \\ T_2 = 1209 \text{ s} \quad \sqrt{T_m} = 34,78 \text{ s} \end{array} \left\{ \right.$$

5 h de moagem:

$$\begin{array}{l} T_1 = 1517 \text{ s} \quad T_m = 1500 \text{ s} \\ T_2 = 1483 \text{ s} \quad \sqrt{T_m} = 38,73 \text{ s} \end{array} \left\{ \right.$$

15 h de moagem:

$$\begin{array}{l} T_1 = 1598 \text{ s} \quad T_m = 1594 \text{ s} \\ T_2 = 1590 \text{ s} \quad \sqrt{T_m} = 39,92 \text{ s} \end{array} \left\{ \right.$$

Na presente pesquisa, utilizou-se a equação (3). pois:

$$l = l_p$$

$$Q = Q_p \pm 3^{\circ}\text{C}$$

E a cal pertence a "outros pós".

Cal com Moagem:

$$K_1 = \frac{SP}{\sqrt{T_p}} \quad K_1 = \frac{3490}{15,44} \quad K_1 = 226,04$$

$$S = K_1 \sqrt{T} \quad 226,04 \times 31,67 \quad S = 7158,69 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$S = 0,7159 \text{ m}^2/\text{g}$$

1 h de moagem:

$$K_1 = 226,04$$

$$S = K_1 \sqrt{T} \quad S = 226,04 \times 32,96$$

$$S = 7450,28 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$S = 0,7450 \text{ m}^2/\text{g}$$

3 h de moagem:

$$K_1 = 226,04$$

$$S = K_1 \sqrt{T} \quad S = 226,04 \times 34,78$$

$$S = 7861,67 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$S = 0,7862 \text{ m}^2/\text{g}$$

5 h de moagem:

$$K_1 = 226,04$$

$$S = K_1 \sqrt{T} \quad S = 226,04 \times 38,73$$

$$S = 8754,53 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$S = 0,8754 \text{ m}^2/\text{g}$$

15 h de moagem:

$$K_1 = 226,04$$

$$S = K_1 \sqrt{T} \quad S = 226,04 \times 39,92$$

$$S = 9023,52 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$S = 0,9023 \text{ m}^2/\text{g}$$

Moldagem dos corpos de prova

Solo TEPI:

$$V = 196,35 \text{ cm}^3$$

$$h_i = 0,85\%$$

$$h = 16,6\%$$

$$\gamma_s = 1775 \text{ g/cm}^3$$

$$P_s = V \cdot \gamma_s \quad P_s = 196,35 \times 1,755 \quad P_s = 344,59 \text{ g}$$

$$P_h = P_s (1 + h) \quad P_h = 344,59 (1 + 0,166) \quad P_h = 402 \text{ g}$$

$$P_s = \frac{P_h}{1 + \frac{h_i}{100}} = \frac{402}{1 + \frac{0,85}{100}} \quad P_s = 398,61 \text{ g}$$

$$P_{cal} = P_s \times 6\% \quad P_{cal} = 398,61 \times 0,06 \quad P_{cal} = 23,92 \text{ g}$$

$$P_a = P_s \left(\frac{h - h_i}{100} \right) \quad P_a = 398,61 \left(\frac{16,6 - 0,85}{100} \right)$$

$$P_a = 66,55 \text{ ml}$$

Solo TEPB:

$$V = 196,35 \text{ cm}^3$$

$$h_i = 4,5\%$$

$$h = 19,5\%$$

$$\gamma_s = 1610 \text{ g/cm}^3$$

$$P_s = V \cdot \gamma_s \quad P_s = 196,35 \times 1,610 \quad P_s = 316,12 \text{ g}$$

$$Ph = Ps (1 + h) \quad Ph = 316,12 (1 + 0,195) \quad Ph = 378 \text{ g}$$

$$Ps = \frac{Ph}{1 + \frac{hi}{100}} = \frac{378}{1 + \frac{4,5}{100}} \quad Ps = 361,72 \text{ g}$$

$$Pcal = Ps \times 6\% \quad Pcal = 361,72 \times 0,06 \quad Pcal = 21,70 \text{ g}$$

$$Pa = Ps \left(\frac{h - hi}{100} \right) \quad Pa = 283,42 \left(\frac{19,5 - 4,5}{100} \right)$$

$$Pa = 57,51 \text{ ml}$$