

MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE AGREGADOS FINOS

C D T - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Março de 2016



DESIGNAÇÃO - ARTERIS T- 84-13

Método Padrão para Ensaio de

Massa Específica e Absorção de Agregados Finos

Designação ARTERIS T 84 – 13



1. ESCOPO

1.1. Este método estabelece a determinação das massas específicas real e aparente, 23/23°C (73,4/73,4°F), e absorção do agregado fino.

1.2. Este método determina (após 15 a 19 horas de imersão na água) a massa específica real e aparente (bulk) como é definida na M 132, a massa específica aparente com base na massa de um agregado saturada superfície seca, e a absorção como definida na M 132.

1.3. Os valores padrões adotados estão referenciados em unidades do sistema universal.

1.4. Este método pode envolver materiais, operações e equipamentos prejudiciais à saúde. Este método não tem o propósito de atender todos os problemas de segurança associados ao seu uso. É responsabilidade de quem usá-lo estabelecer antecipadamente as práticas apropriadas de segurança e determinar a aplicabilidade dos regulamentos específicos.

2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

2.1. Normas:

- AASHTO M 6 Fine Aggregate for Hydraulic Cement Concrete
- ARTERIS ET-231 Balanças Usadas nos Ensaios
- ARTERIS T 2 Amostragem de Agregados.
- ARTERIS T 11 Análise Granulométrica de Agregados Passante na Peneira de 75µm (Nº200), por Lavagem
- AASHTO T 19M/T19 Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate
- ARTERIS T-85 Massa Específica e Absorção do Agregado Graúdo
- AASHTO T 100 Specific Gravity of Soils
- AAHTO T 133 Density of Hydraulic Cement
- ARTERIS T 248 Redução de Amostras de Agregados para Ensaio
- AASHTO T 255 Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying

2.2. Normas ASTM:

- C 128 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of fine Aggregate
- C 670 Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

2.3 IEEE/ASTM Standard:

- SI 10 American National Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System

3. TERMINOLOGIA

3.1 Definições

3.1.1 Absorção – O aumento na massa de agregado devido à água nos poros do material, mas não incluindo água aderente à superfície externa das partículas, expressa como uma porcentagem da massa seca. O agregado é considerado seco quando for mantido a uma temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por tempo suficiente para remover toda a água combinada até massa constante.

3.1.2 Massa Específica - A relação entre a massa (ou peso ao ar) de um volume de material para a massa do mesmo volume de água destilada livre de gás a temperatura indicada. Os valores são adimensionais.

3.1.2.1 Massa Específica Aparente - A relação entre o peso ao ar de uma unidade de volume da parte impermeável de agregado a uma temperatura indicada para o peso no ar de igual volume de água destilada livre de gás a uma temperatura indicada.

3.1.2.2 Massa Específica aparente (Bulk) – A razão do peso ao ar de um volume unitário de agregado (incluindo os vazios permeáveis e impermeáveis das partículas, mas não incluindo os vazios entre as partículas) a uma determinada temperatura para o peso ao ar do mesmo volume de água destilada livre de gases a uma determinada temperatura.

3.1.2.3 Massa Específica aparente (Bulk) (SSD) – A razão do peso ao ar de um volume unitário de agregado, incluindo a massa de água dentro dos vazios encontrados após a submersão em água entre 15 a 19 horas (mas não incluindo os vazios entre as partículas) a uma determinada temperatura, para o peso ao ar do mesmo volume de água destilada livre de gases a uma determinada temperatura.

4. SIGNIFICADO E USO

4.1. Massa Específica Aparente (Bulk) é a característica usada para cálculo do volume ocupado pelo agregado em varias misturas contendo agregados incluindo concreto de cimento

Portland, concreto asfáltico, e outras misturas que são ponderadas ou analisadas numa base de volume absoluto. Massa Específica Aparente (Bulk) é também usada no cálculo de vazios nos agregados no método AASHTO T19M/T19. Massa Específica Aparente (Bulk) determinada num sistema saturado/superfície seca é usado se o agregado está molhado, isto é, se sua absorção está completa. Alternativamente, a Massa Específica Aparente (Bulk) determinada num sistema seco em estufa é usado para cálculo quando o agregado está ou estará seco quando utilizado.

4.2. Massa Específica Real é pertinente à densidade relativa de um material sólido considerando as partículas constituintes do mesmo não incluindo os espaços vazios dentro das partículas que é acessível à água. Este valor não é largamente usado para agregados na tecnologia de construção.

4.3. Valores de absorção são usados para calcular a mudança na massa de um agregado devido à água absorvida nos espaços vazios dentro das partículas constituintes, comparadas com a condição seca, quando é considerado que o agregado tem estado em contacto com a água tempo suficiente para atender sua absorção potencial. A absorção padrão de laboratório é obtida após imersão total do agregado em água. A exploração de agregados abaixo do lençol d'água poderá ter absorção alta quando usados, se não for permitido secá-los. Alternativamente, alguns agregados quando usados podem conter uma quantidade de umidade absorvida menor do que aquela na condição imersa por 15 horas. Para um agregado que tenha tido contacto com água e que apresenta sua superfície úmida, a porcentagem de umidade livre pode ser determinada pela dedução da absorção do teor de umidade total determinado pela AASHTO T 255 por secagem.

5. EQUIPAMENTO

5.1. *Balança* – Atender aos requisitos da ARTERIS ET-231, classe G2.

5.2. *Picnômetro* – Um frasco ou outro recipiente adequado dentro do qual a amostra a ser ensaiada possa ser facilmente introduzida e no qual o volume do mesmo possa ser reproduzido com $\pm 100 \text{ mm}^3$. O volume do recipiente completo até a marca deve ser no mínimo 50 por cento maior que o espaço necessário para acomodar a amostra. Um frasco volumétrico de 500 ml de capacidade ou uma jarra com boca de picnômetro é também adequado para uma amostra de 350g de agregados mais finos. O frasco de Le Chatelier como descrito na T 133 é adequado para uma amostra de aproximadamente 55 g.

5.3. *Molde* – Um molde de metal na forma de um tronco de cone com as seguintes dimensões: $40 \pm 3 \text{ mm}$ de diâmetro interno no topo, $90 \pm 3 \text{ mm}$ no fundo, e $75 \pm 3 \text{ mm}$ de altura, com espessura mínima da chapa de metal de 0,8 mm.

5.4. *Soquete* – Um soquete de metal tendo uma massa de 340 ± 15 g e tendo uma face plana circular de 25 ± 3 mm de diâmetro.

6. AMOSTRAGEM

6.1. Amostre o agregado de acordo com T 2.

7. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

7.1. Obtenha aproximadamente 1 kg de agregado fino proveniente da amostra usando os procedimentos aplicáveis descritos na T 248.

7.1.1. Seque numa vasilha adequada ou bacia até constância de massa numa temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Esfrie até uma temperatura que permita o seu manuseio, cubra com água, por imersão ou pela adição de, no mínimo, 6% de umidade no agregado fino e deixe em repouso de 15 a 19 horas.

7.1.2. Como alternativa à seção 7.1.1, quando os valores de absorção e massa específica serão usados na dosagem de misturas de concreto de cimento Portland com agregados usados nas condições de umidade “in situ”, o requerido para a secagem inicial até massa constante pode ser eliminado e, se a superfície das partículas foram mantidas umedecidas, o tempo de imersão requerido poderá ser eliminadas.

Nota 1 – Valores para absorção e massa específica na condição saturada-superfície seca podem ser significativamente mais altos para agregados que não forem secados em estufa antes da imersão em água que o agregado tratado de acordo com a seção 7.1.1.

7.2. Decante o excesso de água com cuidado para evitar perda de finos, espalhe a amostra numa superfície plana, não absorvente, exposta sobre uma leve corrente de ar morna e mexa frequentemente para assegurar uma secagem homogênea. Se desejado, ajuda mecânica tais como virador ou agitador podem ser empregados para ajudar a alcançar a condição saturada-superfície seca. Quando o material está suficientemente seco, pode ser necessário manuseá-lo numa ação de friccionamento para desmanchar qualquer conglomerado, grumos ou bolas de agregado que existam. Continue com esta operação até que a amostra esteja totalmente destorroada. Siga o procedimento da seção 7.2.1 para determinar quando exista ou não umidade na superfície das partículas de agregado fino. Espera-se que o 1º teste de avaliação com o cone seja feito com alguma umidade na superfície do agregado. Continue secando e agitando constantemente, e se necessário, friccione a amostra com as mãos, e teste a intervalos frequentes até que o teste indique que a amostra atingiu a condição superfície seca. Se a 1º tentativa indicar que não há umidade na superfície do agregado, a secagem ultrapassou o ponto da condição saturada-

superfície seca. Neste caso homogeneíze a amostra com uns poucos mililitros de água e deixe descansar em um recipiente coberto por 30 minutos. Então reinicie o processo de secagem e teste a intervalos freqüentes para encontrar a condição superfície seca.

7.2.1. *Ensaio do cone para superfície úmida* – Segure o molde firmemente numa superfície plana e não absorvente com o diâmetro maior para baixo. Coloque uma porção do agregado fino parcialmente seco solto no molde por enchimento até que derrame e amontoe algum material adicional sobre o topo do molde segurando-o com o dedos em forma de copo da mão que está segurando o molde. Aplique 25 golpes leves com o soquete no agregado fino dentro do molde. Cada golpe deve iniciar cerca de 5 mm (0,2”) acima da superfície do agregado fino. Permita que o soquete caia livremente pela força gravitacional. Ajuste a altura de início para a nova elevação da superfície após cada golpe e os distribua em toda a superfície. Remova os finos soltos da base do cone e levante o molde verticalmente. Se existe umidade na superfície do agregado fino, a forma tronco cônica se manterá. Quando o agregado fino se desmancha levemente temos a indicação que chegamos à condição superfície seca. Algum agregado fino angular com uma alta proporção de finos pode não se desmanchar quando atinge a condição superfície seca. Este pode ser o caso se os finos se tornam cheios de ar quando se deixa cair uma mão cheia de areia sobre o cone de 100 a 150 mm acima da superfície. Para estes materiais a condição saturada-superfície seca deve ser considerada quando um dos lados desmorona levemente após a remoção do molde.

Nota 2 – O seguinte critério deve também ser usado nos materiais que não se desmoronam prontamente:

1. *Ensaio do cone provisório* – Encha o molde como descrito na seção 7.2.1 usando somente 10 golpes do soquete. Adicione mais agregado fino e dê 10 golpes novamente. Então adicione material mais 2 vezes usando três e dois golpes, respectivamente. Nivela o material com o topo do molde; remova o material solto da base do cone; levante o molde na vertical.

2. *Ensaio da superfície provisória* – Se os vazios forem de tal monta que o agregado fino não desmorona quando já está na condição certa de umidade, adicione mais água ao mesmo, e no começo da condição superfície seca, bata levemente com as mãos aproximadamente 100 g de material numa superfície plana, seca, limpa, escura ou embaçada e não absorvente tais como uma folha de borracha, chapa de aço ou ferro oxidado, ou metal pintado de preto. Após 1 a 3 segundos, remova o agregado fino. Se se notar umidade na superfície da chapa por mais de 1 a 2 segundos, considere que ainda há excesso de umidade no agregado fino.

3. Procedimentos colorimétricos descritos por Kandhal e Lee, Highway Research Record No. 307, pg.44.

4. Para atingir a condição saturado-superfície seca num material de um só tamanho que desmorona ainda úmido, toalhas de papel absorventes podem ser usadas para secar a superfície do material até o ponto que a toalha não apresenta pontos de umidade oriundos das partículas do agregado fino.

8. PROCEDIMENTO

8.1 Pese e registre todas as determinações de massa do agregado fino com aproximação de 0,1g.

8.2 Encha o picnômetro parcialmente com água. Imediatamente introduza no picnômetro 350 ± 10 g de agregado fino saturado-superfície seca preparado como descrito na seção 7, e complete com água até aproximadamente 90% da capacidade total. Manuseie o picnômetro, rolando, invertendo e agitando ou use uma combinação destas ações para eliminar as bolhas de ar (Nota 3). Aplique agitação mecânica, com vibração externa, de maneira que a amostra não se degrade. É suficiente um certo nível de agitação, de forma que somente as partículas individuais se movimentem, sem degradação da amostra, para se conseguir a expulsão das bolhas de ar. Um vibrador mecânico pode ser considerado, se testes de comparação feitos a cada 6 (seis) meses de uso, mostre variações menores que a faixa aceitável de 2 (dois) resultados (D2S), indicados na Tabela 1 de resultados com agitação manual, do mesmo material. Ajuste a temperatura para $23,0 \pm 1,7$ °C ($73,4 \pm 3$ °F), se necessário por imersão em água corrente, e acabe então de encher o picnômetro até a sua marca de referência. Determine a massa total do picnômetro, amostra e água.

Nota 3 – Normalmente são necessários de 15 a 20 minutos para eliminar manualmente as bolhas de ar. Mergulhando uma ponta de uma toalha de papel dentro do picnômetro tem sido útil para dispersar a espuma que algumas vezes aparece no processo de eliminação das bolhas de ar, ou adicionando poucas gotas de álcool isopropílico, após a remoção das bolhas e antes de encher o picnômetro até o nível de referência também tem sido adequado na dispersão da espuma ou bolhas na superfície da água. Não use álcool isopropílico quando usar o método alternativo descrito na seção 8.2.1.

TABELA 1 – PRECISÃO			
	Desvio Padrão (1S), % ^a		Intervalo aceitável de 2 resultados (D2S), % ^a
Precisão um operador:			
Massa Específica Aparente seca (Bulk)	0,011		0,032
Massa Específica Aparente saturada, superfície seca (Bulk)	0,0095		0,027
Massa Específica Real (Apparent)	0,0095		0,027
Porcentagem de absorção ^b	0,11		0,31
Precisão Multilaboratório:			
Massa Específica Aparente seca (Bulk)	0,023		0,066
Massa Específica Aparente saturada, superfície seca (Bulk)	0,02		0,056
Massa Específica Real (Apparent)	0,02		0,056
Porcentagem de absorção ^b	0,23		0,66
^a Estes números representam, respectivamente, os limites (1S) e (D2S) descritos na ASTM C 670. A precisão estimada foi obtida de análises de dados combinados de amostras do laboratório de referência de materiais da AASHTO usando 15 a 19 horas de saturação e outros laboratórios com 24 ± 4 horas. Performance testada em amostras de agregados de massa específica normal e na condição de seco em estufa.			
^b A estimativa de precisão é baseada em agregados com absorções abaixo de 1 por cento e pode diferir para agregados finos manufaturados e naturais com valores acima de 1 por cento.			

8.2.1 *Alternativa para determinação da massa na seção 8.2* – A quantidade de água necessária para encher o picnômetro à temperatura desejada pode ser determinada volumetricamente usando uma bureta com precisão de 0,15 ml. Calcule a massa total do picnômetro, amostra e água como indicado a seguir:

$$C = 0,9975 V_a + S + W \quad (1)$$

Onde:

C = Massa do picnômetro com amostra e água até a marca de calibração, g,

V_a = Volume de água adicionada ao picnômetro, ml,

S = Massa da amostra saturada-superfície seca, g, e,

W = Massa do picnômetro vazio, g.

8.2.2. *Alternativa ao procedimento da seção 8.2* – Use um frasco de Le Chatelier inicialmente preenchido com água até o ponto da boquilha entre a marca de 0 e 1 ml. Registre esta leitura inicial com o frasco e seu conteúdo dentro da temperatura de 23,0 ± 1,7 °C (73,4 ± 3 °F). Adicione 55 ± 5 g de agregado fino na condição saturado-superfície seca (ou outra massa necessária que resulte em subir o nível de água até algum ponto na escala superior da

graduação). Após todo agregado fino ter sido introduzido, coloque a rolha no frasco e role o mesmo numa posição inclinada, ou gentilmente rodopie num círculo horizontal para deslocar todo o ar agarrado, continuando até que nenhuma bolha suba para a superfície (Nota 4). Tome a leitura final com o frasco e seu conteúdo dentro de 1 °C (1,8 °F) da temperatura original.

Nota 4 – Quando usado o método do frasco de Le Chatelier, adicionando devagarzinho uma pequena quantidade medida (não exceder 1 ml) de álcool isopropílico, após a remoção das bolhas de ar, tem sido considerado útil na dispersão da espuma que aparece na superfície da água. O volume de álcool usado deve ser subtraído da leitura final (R_2).

8.3. Remova o agregado fino do picnômetro, seque até massa constante à temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$), esfrie à temperatura ambiente por $1,0 \pm 0,5$ horas e determine a massa.

Nota 5 – No lugar de secar e determinar a massa da amostra que foi removida do picnômetro, uma segunda porção da amostra saturada-superfície seca pode ser usada para determinar a massa seca. Esta amostra deve ser obtida ao mesmo tempo e estar dentro de 0,2 g da massa da amostra que foi introduzida no picnômetro.

8.3.1. Se for usado o método do frasco de Le Chatelier uma porção separada da amostra é necessária para a determinação da absorção. Pese em separado uma porção de 500 ± 10 g de agregado saturado-superfície seca, seque até massa constante, e pese novamente. Esta amostra deve ser obtida ao mesmo tempo em que a amostra que é introduzida no frasco de Le Chatelier.

8.4. Determine a massa do picnômetro preenchido com água a $23,0 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3^\circ\text{F}$) até o seu nível de referência.

8.4.1. Alternativa para determinação da massa da seção 8.4 – A quantidade de água necessária para encher o picnômetro vazio a uma determinada temperatura pode ser determinada volumetricamente usando uma bureta com precisão de 0,15 ml. Calcule a massa do picnômetro cheio de água como segue:

$$B = 0,9975 V + W \quad (2)$$

Onde:

B = Massa do Frasco com água até a marca de calibração, g,

V = Volume do frasco, ml, e,

W = Massa do Frasco vazio, g.

9. MASSA ESPECÍFICA APARENTE (BULK)

9.1 Calcule a massa específica aparente, 23/23°C (73,4/73,4°F), como segue:

$$MEA = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (3)$$

Onde:

A = Massa da amostra seca na estufa, ao ar, g;

B = Massa do picnômetro cheio com água, g;

S = Massa da amostra saturada-superfície seca, g; e

C = Massa do picnômetro com amostra e água até a marca calibrada, g.

9.1.1 Se for usado o método do frasco de Le Chatelier, calcule a massa específica aparente 23/23°C (73,4/73,4 °F), como segue:

$$MEA = \frac{S_1(A/S)}{0,9975(R2 - R1)} \quad (4)$$

Onde:

$S1$ = Massa da amostra saturada-superfície seca usada no frasco Le Chatelier, g.

$R2$ = Leitura final do nível de água no frasco Le Chatelier; e

$R1$ = Leitura inicial do nível de água no frasco Le Chatelier.

10. MASSA ESPECÍFICA APARENTE (BASE SATURADA-SUPERFÍCIE SECA)

10.1. Calcule a massa específica aparente, 23/23 °C (73,4/73,4 °F), na base massa de agregado saturada-superfície seca como segue:

$$MEAs_{ss} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (5)$$

9.1.1. Se for usado o método do frasco de Le Chatelier, calcule a massa específica aparente 23/23 °C, na base de agregado saturado-superfície seca, como segue:

$$MEAs_{ss} = \frac{S_1}{0,9975(R2 - R1)} \quad (6)$$

11. MASSA ESPECÍFICA REAL (APPARENT)

11.1. Calcule a massa específica real, 23/23 °C (73,4/73,4 °F), como segue:

$$MEAr = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (7)$$

12. ABSORÇÃO

12.1. Calcule a porcentagem de absorção, como definida como ASTM C 125, como segue:

$$\% \text{ absor\c{c}\~{a}o} = \frac{S - A}{A} \times 100 \quad (8)$$

13. RELATÓRIO

12.1. Relate os resultados da Massa específica com aproximação de 0,001 (Agregados finos que atendem aos requerimentos da M6 podem ser relatados com aproximação de 0,01) e absorção 0,1 por cento. O Apêndice dá a inter-relação dentre os 3 tipos de massa específica e absorção. Ela pode ser útil para a checagem da consistência dos dados relatados ou para calcular um valor que não foi informado usando os outros dados do relatório.

12.2. Se o agregado fino foi ensaiado na condição de umidade natural em vez de secada na estufa e imersa por 15 horas, relate o local da amostra e os procedimentos adotados para evitar que secasse antes do ensaio.

14. PRECISÃO E VARIÁVEIS

14.1. A estimativa de precisão para este ensaio (listada na tabela 1) é baseada em resultados do programa de amostragem para Laboratórios de referência por competência da AASHTO, com ensaios executados por este método e ASTM C 128. A diferença significativa entre os dois métodos é que o ASTM 128 requer uma saturação de 24 ± 4 horas, e o T 84 um período de 15 a 19 horas. Esta diferença mostrou-se efeito insignificante para a precisão do ensaio. Os dados são baseados em análises de 100 pares de resultados de 40 entre 100 laboratórios.

14.2. Como não há material de referência adequada para a determinação da variação no procedimento do método de ensaio T 84 para medir a massa específica e absorção do agregado fino, nenhum indicador de variáveis é feito.

APÊNDICE

INFORMAÇÃO NÃO MANDATÓRIA

X1. POTENCIAIS DIFERENÇAS NA MASSA ESPECÍFICA APARENTE (BULK) e ABSORÇÃO DEVIDO a PRESENÇA DE MATERIAL MAIS FINO DO QUE 0,075 mm (Nº 200).

X1.1. Verificou-se que pode haver diferenças significativas na massa específica aparente e absorção entre amostra testada com presença e ausência de material mais fino que 0,075mm (n.º 200). Amostras onde o material mais fino que 0,075mm não é removido geralmente dão uma

maior absorção e uma baixa massa específica em comparação com o teste com o mesmo agregado fino do qual o material mais fino que 0,075mm é removido nos procedimentos de teste Método T 11. Amostras com material mais fino que 0,075mm podem revestir as partículas mais grossas do agregado fino durante o processo de secagem da superfície. A massa específica e absorção resultante medida é das partículas de aglomerados revestidas e não a do material original. A diferença de absorção e a massa específica determinada entre amostras do qual o material mais fino que 0,075mm não foram removidos e amostras em que foram removidos o material mais fino que 0,075mm depende da quantidade de material mais fino que 0,075mm presente e da natureza do material. Quando o material mais fino que 0,075mm é inferior a cerca de 4% em massa, a diferença de massa específica entre amostras lavadas e não lavadas é menor que 0.03. Quando o material mais fino que 0,075mm é maior do que cerca de 8% em massa, a diferença de massa específica obtida entre amostras lavadas e não lavadas podem ser maiores que 0.13.

X1.2. O material mais fino de 0,075mm, que é removido, pode-se supor ter a mesma massa específica que o agregado fino. Como alternativa, o massa específica do material mais fino que 0,075mm pode ser ainda mais avaliado usando 100 T; no entanto, esse teste determina a massa específica real e não a massa específica aparente (bulk).

X2. INTERRELAÇÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO COMO DEFINIDA NOS MÉTODOS T 84 E ARTERIS T-85

X2.1. Seja:

S_d = Massa Específica Aparente (Bulk) (Base seca);

S_s = Massa Específica Aparente (Bulk) (Base saturada-superfície seca);

S_a = Massa Específica Real(Apparent); e

A = Absorção em porcentagem.

Então:

$$S_s = \left(1 + \frac{A}{100}\right) S_d \quad (9)$$

$$Sa = \frac{1}{\left(\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}\right)} = \frac{S_d}{\left(1 - \frac{AS_d}{100}\right)} \quad (10)$$

ou

$$Sa = \frac{1}{\frac{1 + A/100}{S_s} - \frac{A}{100}} = \frac{S_s}{1 - \frac{A}{100}(S_s - 1)} \quad (11)$$

$$A = \left(\frac{S_s}{S_d} - 1\right) \times 100 \quad (12)$$

$$A = \left(\frac{Sa - S_s}{Sa(S_s - 1)}\right) \times 100 \quad (13)$$