



Código
ME-ECS.000.000-PAV/02

REV.
00

Emissão
04/12/2023

Folha
1/13



Resp. Técnico / Elaborador:
Eng. Reginaldo Jesus

Nº CREA:
SP-5070904250

Rodovia:
Geral

Verificador:
Eng. Claudio Renato Castro Dias

Trecho:
Geral

Aprovador:
Eng. Danilo Pitta

Objeto:
MISTURAS ASFÁLTICAS — PROPRIEDADES VOLUMÉTRICAS DE CONCRETO ASFÁLTICO

Documentos de Referência:
ABNT NBR 16273 – Misturas asfálticas – Propriedades volumétricas de concreto asfáltico.

Descrição das Revisões:
Rev.00 – Emitida primeira versão do documento.

Observação:

| Rev. | Data | Resp. Técnico/ Elaborador | Nº. CREA | Verificador | Aprovador |
|------|------------|---------------------------|---------------|---------------------------------|-------------------|
| 00 | 04/12/2023 | Eng. Reginaldo Jesus | SP-5070904250 | Eng. Cláudio Renato Castro Dias | Eng. Danilo Pitta |

1. OBJETIVO

Este método estabelece e define as propriedades volumétricas das misturas asfálticas densas para concreto asfáltico e seus cálculos.

2. DEFINIÇÕES

Para fins deste método é adotada as seguintes definições:

2.1. Volume de vazios (Vv)

Razão expressa, em porcentagem, entre o volume de ar intergranular disperso na mistura asfáltica compactada (V_a) e o volume total da mistura asfáltica compactada (V_{mb}).

2.2. Vazios no agregado mineral (Vam)

Razão expressa, em porcentagem, entre o volume de ar intergranular disperso na mistura asfáltica compactada (V_a), acrescido ao volume do ligante asfáltico efetivo na mistura (V_{be}), e o volume total da mistura asfáltica compactada (V_{mb}).

2.3. Relação betume vazios (Rbv)

Razão expressa, em porcentagem, entre o volume do ligante asfáltico efetivo na mistura (V_{be}) e o vazio no agregado mineral (V_{am}).

2.4. Teor de ligante asfáltico da mistura asfáltica (Pb)

Razão expressa, em porcentagem, entre a massa de ligante asfáltico total adicionado na mistura asfáltica e a massa total da mistura asfáltica.

2.5. Teor de ligante asfáltico absorvido pelo agregado (Pba)

Razão expressa, em porcentagem, entre a massa de ligante asfáltico absorvida pelo agregado e a massa total dos agregados.

2.6. Teor de ligante asfáltico efetivo (Pbe)

Razão expressa, em porcentagem, entre a massa de ligante asfáltico total adicionada na mistura asfáltica menos a quantidade de ligante absorvida pelos agregados e a massa total da mistura asfáltica.

2.7. Frações de agregados da mistura (A1, A2 ... An)

Frações individuais de agregados que compõem a mistura dos agregados

2.8. Agregado graúdo

Aquele que fica retido totalmente na peneira de 4,75 mm

2.9. Agregado miúdo

Aquele que passa totalmente na peneira de 4,75 mm e fica retido na peneira de 0,075 mm

2.10. Agregado fino

Aquele que passa totalmente na peneira de 0,075 mm

2.11. Porcentagens dos agregados A1, A2...An na mistura dos agregados (PA1, PA2...PAn)

Razão expressa, em porcentagem, entre a massa de cada agregado An e a massa total da mistura dos agregados

2.12. Porcentagem da fração graúda do agregado An (PGAn)

Razão expressa, em porcentagem, entre a massa da fração de agregado graúdo e a massa total do agregado An

2.13. Porcentagem da fração miúda do agregado An (PMAAn)

Razão expressa, em porcentagem, entre a massa da fração de agregado miúdo e a massa total do agregado An

2.14. Porcentagem da fração fina do agregado An (PFAAn)

Razão expressa, em porcentagem, entre a massa da fração de agregado fino e a massa total do agregado An

2.15. Densidade real da mistura dos agregados (Gsa)

Adimensional, obtida através de cálculo específico

2.16. Densidade real do agregado An (Gsan)

Adimensional, obtida através de cálculo específico

2.17. Densidade real da fração graúda do agregado An (GsaGn)

Adimensional, obtida conforme ASTM C 127

2.18. Densidade real da fração miúda do agregado An (GsaMn)

Adimensional, obtida conforme ASTM C 128

2.19. Densidade real da fração fina do agregado An (GsaFn)

Adimensional, obtida conforme ASTM D 854

2.20. Densidade aparente da mistura dos agregados (Gsb)

Adimensional, obtida através de cálculo específico

2.21. Densidade aparente do agregado An (Gsbn)

Adimensional, obtida através de cálculo específico

2.22. Densidade aparente da fração graúda do agregado An (GsbGn)

Adimensional, obtida conforme ASTM C 127

2.23. Densidade aparente da fração miúda do agregado An (GsbMn)

Adimensional, obtida conforme ASTM C 128

2.24. Densidade do ligante asfáltico (Gb)

Adimensional, obtida conforme ABNT NBR 6296

2.25. Densidade efetiva da mistura dos agregados (Gse)

Adimensional, obtida através de cálculo específico

2.26. Densidade aparente da mistura asfáltica compactada (Gmb)

Adimensional, medida com superfície saturada seca, conforme ABNT NBR 15573

2.27. Massa específica aparente da mistura asfáltica compactada (Mea)

Medida com superfície saturada seca, conforme ABNT NBR 15573, expressa em gramas por centí- metros cúbicos (g/cm^3)

2.28. Densidade máxima teórica da mistura asfáltica solta (Gmm)

Adimensional, para o volume de vazios (Vv) igual a zero

2.29. Densidade aparente de projeto da mistura asfáltica compactada (Gp)

Adimensional

2.30. Grau de compactação da mistura asfáltica compactada (GC)

Razão, expressa em porcentagem, entre a densidade aparente do corpo de prova moldado ou extraído da pista e a densidade aparente do projeto da mistura asfáltica compactada

3. REFERÊNCIAS

No preparo deste método foi consultado o seguinte documento:

ABNT NBR 6296, Produtos betuminosos semisólidos – Determinação da massa específica e densidade relativa

ABNT NBR 15573, Misturas asfálticas – Determinação da densidade aparente e da massa específica aparente de corpos-de-prova compactados

ABNT NBR 15619, Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas

ASTM C 127, Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate

ASTM C 128, Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate

ASTM D 854, Standard test method for specific gravity of soils

4. AGREGADOS, PORCENTAGENS E DENSIDADES

A volumetria da mistura também pode ser obtida considerando-se a mistura dos agregados como um único agregado A1.

Tabela 1 - Resumo das porcentagens e das densidades dos agregados.

| Agregados | % | Densidades dos agregados | | | Total % |
|-----------|-----|--------------------------|-------|-------|---------|
| | | Graúdo | Miúdo | Fino | |
| A1 | PA1 | GsbG1 | GsbM1 | – | – |
| | | GsaG1 | GsaM1 | GsaF1 | – |
| | | PGA1 | PMA1 | PFA1 | 100 |
| A2 | PA2 | GsbG2 | GsbM2 | – | – |
| | | GsaG2 | GsaM2 | GsaF2 | – |
| | | PGA2 | PMA2 | PFA2 | 100 |
| A3 | PA3 | GsbG3 | GsbM3 | – | – |
| | | GsaG3 | GsaM3 | GsaF3 | – |
| | | PGA3 | PMA3 | PFA3 | 100 |
| A4 | PA4 | GsbG4 | GsbM4 | – | – |
| | | GsaG4 | GsaM4 | GsaF4 | – |
| | | PGA4 | PMA4 | PFA4 | 100 |
| A5 | PA5 | GsbG5 | GsbM5 | – | – |
| | | GsaG5 | GsaM5 | GsaF5 | – |
| | | PGA5 | PMA5 | PFA5 | 100 |
| An | PAn | GsbGn | GsbMn | – | – |
| | | GsaGn | GsaMn | GsaFn | – |
| | | PGAn | PMAn | PFAn | 100 |
| Total % | 100 | – | – | – | – |
| | | – | – | – | – |

5. CÁLCULOS

5.1. Procedimento A (utilizado em qualquer condição de absorção de água pela mistura dos agregados)

Neste procedimento a densidade máxima teórica da mistura asfáltica solta é obtida através da ABNT NBR 15619.

a) Projeto da mistura asfáltica

Conforme tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades volumétricas para concreto asfáltico – Densidade máxima teórica conforme ABNT NBR 15619

| Propriedades volumétricas para concreto asfálticos | |
|---|------------------|
| Densidade máxima teórica conforme ABNT NBR 15619 – Procedimento A | |
| Densidade aparente do agregado An (Gsb_n) | Definição |
| $Gsb_n = \frac{100}{\left(\frac{PGAn}{GsbGn}\right) + \left(\frac{PMA_n}{GsbMn}\right) + \left(\frac{PFA_n}{GsaFn}\right)}$ | 2.21 |
| PGAn = Porcentagem da fração graúda do agregado A1 | 2.12 |
| PMA _n = Porcentagem da fração miúda do agregado An | 2.13 |
| PFA _n = Porcentagem da fração fina do agregado An | 2.14 |
| GsbGn = Densidade aparente da fração graúda do agregado An – <i>Specific gravity OD</i> | 2.22 |
| Densidade aparente do agregado An (Gsb_n) | - |
| GsbMn = Densidade aparente da fração miúda do agregado An – <i>Specific gravity OD</i> | 2.23 |
| GsaFn = Densidade real da fração fina do agregado An – <i>Apparent</i> | 2.19 |
| Densidade aparente da mistura dos agregados (Gsb) | - |
| $Gsb = \frac{100}{\left(\frac{PA1}{Gsb1}\right) + \left(\frac{PA2}{Gsb2}\right) + \dots + \left(\frac{Pan}{Gsb_n}\right)}$ | 2.20 |
| PA1 = Porcentagem do agregado A1 na mistura total dos agregados | 2.11 |
| PA2 = Porcentagem do agregado A2 na mistura total dos agregados | 2.11 |
| Pan = Porcentagem do agregado An na mistura total dos agregados | 2.11 |
| Gsb1= Densidade aparente do agregado A1 | 2.20 |
| Gsb2 = Densidade aparente do agregado A2 | 2.20 |
| Gsb _n = Densidade aparente do agregado An | 2.21 |
| Densidade efetiva da mistura dos agregados (Gse) | - |
| $Gse = \frac{100 - Pb}{\left(\frac{100}{Gmm}\right) - \left(\frac{Pb}{Gb}\right)}$ | 2.25 |
| Pb = Razão entre a massa de ligante asfáltico e massa da mistura asfáltica, em porcentagem | 2.4 |
| Gmm = Densidade máxima teórica da mistura asfáltica solta para o valor de ligante asfáltico Pb | 2.28 |

| | |
|---|------|
| Gb = Densidade do asfalto | 2.24 |
| Teor de ligante asfáltico absorvido pelo agregado, em porcentagem (Pba) | - |
| $Pba = \frac{100 \times (Gse - Gsb) \times Gb}{Gsb \times Gse}$ | 2.5 |
| Gse = Densidade efetiva da mistura dos agregados | 2.25 |
| Gsb = Densidade aparente da mistura dos agregados | 2.20 |
| Gb = Densidade do ligante asfáltico | 2.24 |
| Pb = Razão entre a massa de ligante asfáltico e a massa da mistura asfáltica, em porcentagem | 2.4 |
| Teor de ligante asfáltico efetivo na mistura, em porcentagem (Pbe) | - |
| $Pbe = Pb - \frac{Pba \times (100 - Pb)}{100}$ | 2.6 |
| Pb = Razão entre a massa de ligante e a massa da mistura asfáltica, em porcentagem | 2.4 |
| Pba = Razão entre a massa de ligante asfáltico absorvido e a massa de agregados, em porcentagem | 2.5 |
| Volume de vazios em porcentagem (Vv) | - |
| $Vv = 100 \times \frac{(Gmm - Gmb)}{Gmm}$ | 2.1 |
| Gmm = Densidade máxima teórica da mistura asfáltica solta | 2.28 |
| Gmb = Densidade aparente da mistura asfáltica compactada – Superfície saturada seca | 2.26 |
| Vazios agregado mineral, em porcentagem (Vam) | - |
| $Vam = 100 - \frac{Gmb \times (100 - Pb)}{Gsb}$ | 2.2 |
| Gmb = Densidade aparente da mistura asfáltica compactada – Superfície saturada seca | 2.26 |
| Pb = Razão entre a massa de ligante asfáltico e a massa da mistura asfáltica, em porcentagem | 2.4 |
| Gsb = Densidade aparente da mistura dos agregados | 2.20 |
| Relação betume vazios, em porcentagem (Rbv) | - |
| $Rbv = 100 \times \frac{(Vam - Vv)}{Vam}$ | 2.3 |
| Vam = Vazios agregado mineral, em porcentagem | 2.2 |
| Vv = Volume de vazio, em porcentagem | 2.1 |

b) Verificação do grau de compactação

Conforme tabela 3.

Tabela 3 – Grau de compactação

| Grau de compactação, em porcentagem (Gc) | Definição |
|---|-----------|
| $GC = 100 \times \frac{G_{mb}}{G_p}$ | 2.30 |
| G _{mb} = Densidade aparente da mistura asfáltica compactada - Superfície saturada seca | 2.26 |
| G _p = Densidade aparente de projeto da mistura asfáltica compactada | 2.29 |

5.2. Procedimento B (utilizado somente quando a absorção de água da mistura dos agregados for menor do que 2,0 %)

Neste procedimento a densidade máxima teórica da mistura asfáltica é obtida pelas densidades dos materiais.

a) Projeto da mistura asfáltica

Conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades volumétricas para concreto asfáltico – Densidade máxima teórica através das densidades dos materiais

| Propriedades volumétricas para concreto asfálticos | |
|---|-----------|
| Densidade máxima teórica conforme ABNT NBR 15619 – Procedimento A | |
| Densidade aparente do agregado An (G _{sbn}) | Definição |
| $G_{sbn} = \frac{100}{\left(\frac{PG_{An}}{G_{sbGn}}\right) + \left(\frac{PM_{An}}{G_{sbMn}}\right) + \left(\frac{PF_{An}}{G_{saFn}}\right)}$ | 2.21 |
| PG _{An} = Porcentagem da fração graúda do agregado An | 2.12 |
| PM _{An} = Porcentagem da fração miúda do agregado An | 2.13 |
| PF _{An} = Porcentagem da fração fina do agregado An | 2.14 |
| G _{sbGn} = Densidade aparente da fração graúda do agregado Na – Specific gravity OD | 2.22 |
| G _{sbMn} = Densidade aparente da fração miúda do agregado Na – Specific gravity OD | 2.23 |
| G _{saFn} = Densidade real da fração fina do agregado Na – Apparent | 2.19 |
| Densidade aparente da mistura dos agregados (G_{sb}) | - |

| | |
|---|------|
| $G_{sb} = \frac{100}{\left(\frac{PA1}{G_{sb1}}\right) + \left(\frac{PA2}{G_{sb2}}\right) + \dots + \left(\frac{PAn}{G_{sbn}}\right)}$ | 2.20 |
| Densidade aparente da mistura dos agregados (Gsb) | - |
| PA1 = Porcentagem do agregado A1 na mistura total dos agregados | 2.11 |
| PA2 = Porcentagem do agregado A2 na mistura total dos agregados | 2.11 |
| Pan = Porcentagem do agregado An na mistura total dos agregados | 2.11 |
| Gsb1= Densidade aparente do agregado A1 | 2.21 |
| Gsb2 = Densidade aparente do agregado A2 | 2.21 |
| Gsbn = Densidade aparente do agregado An | 2.21 |
| Densidade real do agregado (Gsan) | |
| $G_{san} = \frac{100}{\left(\frac{PGAn}{G_{saGn}}\right) + \left(\frac{PMA_n}{G_{saMn}}\right) + \left(\frac{PFAn}{G_{saFn}}\right)}$ | 2.16 |
| PGAn = Porcentagem da fração graúda do agregado An | 2.12 |
| PMA_n = Porcentagem da fração miúda do agregado An | 2.13 |
| PFAn = Porcentagem da fração fina do agregado An | 2.14 |
| GsaGn = Densidade real da fração graúda do agregado An – <i>Specific gravity OD</i> | 2.17 |
| GsaMn = Densidade real da fração miúda do agregado An – <i>Specific gravity OD</i> | 2.18 |
| GsaFn = Densidade real da fração fina do agregado An – <i>Apparent</i> | 2.19 |
| Densidade real da mistura dos agregados (Gsa) | - |
| $G_{sa} = \frac{100}{\left(\frac{PA1}{G_{sa1}}\right) + \left(\frac{PA2}{G_{sa2}}\right) \dots + \left(\frac{PAn}{G_{san}}\right)}$ | 2.15 |
| PA1= Porcentagem do agregado A1 na mistura total dos agregados | 2.11 |
| PA2= Porcentagem do agregado A2 na mistura total dos agregados | 2.11 |
| PAn= Porcentagem do agregado An na mistura total dos agregados | 2.11 |
| Gsa1 = Densidade real do agregado graúdo A1 – <i>Apparent</i> | 2.15 |
| Gsa2 = Densidade real do agregado graúdo A2 – <i>Apparent</i> | 2.15 |
| Gsan = Densidade real do agregado An – <i>Apparent</i> | 2.16 |
| Absorção de água pela mistura dos agregados, em percentagem (A) | - |

| | |
|---|------|
| $A = 100 \times \left(\frac{1}{G_{sb}} - \frac{1}{G_{sa}} \right)$ | - |
| Gsb = Densidade aparente da mistura dos agregados | 2.20 |
| Gsa = Densidade real da mistura dos agregados | 2.15 |
| Densidade efetiva da mistura dos agregados (Gse) | - |
| $G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para } A < 2,0 \%$ | 2.25 |
| Gsb = Densidade aparente da mistura dos agregados | 2.20 |
| Gsa = Densidade real da mistura dos agregados | 2.15 |
| A = Absorção de água pela misturas dos agregados, em porcentagem | - |
| Densidade máxima teórica da mistura asfáltica para valor de ligante asfáltico Pb (Gmm) | - |
| Pb = Razão entre a massa de ligante asfáltico e a massa da mistura asfáltica, em porcentagem | 2.4 |
| Gse = Densidade efetiva da mistura dos agregados | 2.25 |
| Gb = Densidade do ligante asfáltico | 2.24 |
| Teor de ligante asfáltico absorvido pelo agregado, em porcentagem (Pba) | - |
| $P_{ba} = \frac{100 \times (G_{se} - G_{sb}) \times G_b}{G_{sb} \times G_{se}}$ | 2.5 |
| Gse = Densidade efetiva da mistura dos agregados | 2.25 |
| Gsb = Densidade aparente da mistura dos agregados | 2.20 |
| Gb = Densidade do ligante asfáltico | 2.24 |
| Pb = Razão entre a massa de ligante asfáltico e a massa da mistura asfáltica, em porcentagem | 2.4 |
| Teor de ligante asfáltico efetivo na mistura asfáltica, em porcentagem (Pbe) | - |
| $P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} \times (100 - P_b)}{100}$ | 2.6 |
| Pb = Razão entre a massa de ligante asfáltico e a massa da mistura asfáltica, em porcentagem | 2.4 |
| Pba = Razão entre a massa de ligante asfáltico absorvido e a massa de agregados, em porcentagem | 3.5 |
| Volume de vazios, em porcentagem (Vv) | - |
| $V_v = 100 \times \frac{(G_{mm} - G_{mb})}{G_{mm}}$ | 3.1 |

| | |
|--|------|
| Gmm = Densidade máxima teórica da mistura asfáltica para o valor de ligante asfáltico Pb | 2.28 |
| Gmb = Densidade aparente da mistura asfáltica compactada – Superfície saturada seca | 2.26 |
| Vazios do agregado mineral, em porcentagem (Vam) | - |
| $Vam = 100 - \frac{Gmb \times (100 - Pb)}{Gsb}$ | 2.2 |
| Gmb = Densidade aparente da mistura asfáltica compactada – Superfície saturada seca | 2.26 |
| Pb = Razão entre a massa de ligante asfáltico e a massa da mistura asfáltica, em porcentagem | 2.4 |
| Gsb = Densidade aparente da mistura dos agregados | 2.20 |
| Relação betume-vazios, em porcentagem (Rbv) | - |
| $Rbv = 100 \times \frac{(Vam - Vv)}{Vam}$ | 2.3 |
| Vam = Vazios do agregado mineral, em porcentagem | 2.2 |
| Vv = Volume de vazios, em porcentagem | 2.1 |

b) Verificação do grau de compactação

Conforme tabela 5.

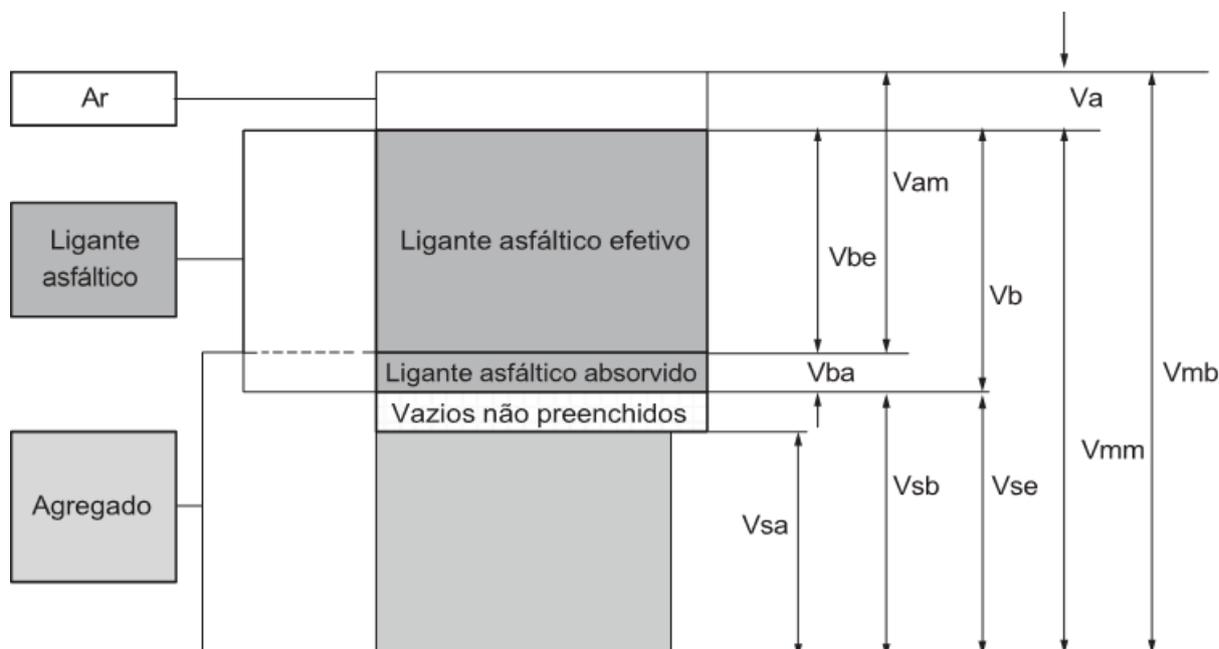
Tabela 5 – Grau de compactação

| Grau de compactação, em porcentagem (GC) | Definição |
|---|------------------|
| $GC = 100 \times \frac{Gmb}{Gp}$ | 2.30 |
| Gmb = Densidade aparente da mistura asfáltica compactada – Superfície saturada seca | 2.26 |
| Gp = Densidade aparente de projeto da mistura asfáltica compactada | 2.29 |

Anexo A

Representação de esquemático de volumes

Conforme Figura A.1.



Legenda:

V_{mb} = Volume da mistura compactada

V_{am} = Volume de vazios no agregado mineral

V_{mm} = Volume da mistura compactada sem vazios V_{be} = volume de ligante asfáltico efetivo na mistura

V_a = Volume de ar

V_b = Volume total de ligante asfáltico

V_{ba} = Volume de ligante asfáltico absorvido pelo agregado V_{sb} = Volume do agregado (densidade aparente)

V_{sa} = Volume do agregado (densidade real) V_{se} = Volume do agregado (densidade efetiva)

Figura A.1 – Representação dos volumes da mistura compactada