



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Covilhã | Portugal

Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura

DESENVOLVIMENTO DE UNIDADES DE REVESTIMENTO DE BASE POLIMÉRICA COM RESÍDUOS DAS MINAS DA PANASQUEIRA

Cláudia Sofia Rodrigues Antunes

Junho, 2009

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil - Construção, pela Universidade da Beira Interior, sob a orientação de:

Professor Doutor João Paulo de Castro Gomes,
Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura

Agradecimentos

Ao orientador desta tese, Professor Doutor João Paulo de Castro Gomes, pelo incentivo, orientação e disponibilidade.

Aos meus pais, pelo incentivo incessante durante a realização desta tese de mestrado.

À minha irmã Sandra Antunes e ao Rui Paulo, pelas palavras de apreço, incentivo, acompanhamento e ajuda durante a realização desta tese de mestrado.

Aos meus amigos pela compreensão e ajuda. Em especial ao João Ferro, pela ajuda no \LaTeX .

Ao Professor Doutor Abílio Pereira da Silva, do Departamento de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior, pela ajuda e colaboração no laboratório, relativamente aos ensaios de flexão dos provetes.

Ao João Correia, técnico do Departamento de Engenharia Electromecânica e Albino Alves, técnico do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, da Universidade da Beira Interior pela ajuda em alguns procedimentos laboratoriais.

À Universidade do Minho e em especial ao Professor Rui Miguel Ferreira e técnicos de laboratório do departamento de Engenharia Civil, Fernando Pokee, Carlos Palha e Carlos Jesus, pela disponibilidade e ajuda em alguns ensaios laboratoriais dos provetes elaborados.

À Mestre Marisa Dinis Almeida, pela bibliografia cedida sobre as Minas da Panasqueira e pela amizade e camaradagem durante os trabalhos no laboratório do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da Universidade da Beira Interior.

Ao Professor Doutor Rafael Cano Peralbo da Universidade de Granada, Espanha, pela bibliografia cedida, pelo incentivo na produção de novos materiais com elevado valor arquitectónico e artístico e pela ajuda no procedimento de produção destes.

À Mestre Rute Eires, da Universidade do Minho, pela bibliografia cedida.

Ao Carlos Foguet, da empresa Plastiform, SA, pela bibliografia sobre a resina de poliéster Crystic 199 e pela ajuda a nível de informação técnica sobre esta.

Desenvolvimento de Unidades de Revestimento de Base Polimérica com Resíduos das Minas da Panasqueira

Resumo: Esta tese tem como objectivo o desenvolvimento de uma unidade de revestimento de base polimérica com resíduos grossos das Minas da Panasqueira, com características físicas e mecânicas para obtenção de marcação CE, de acordo com a norma EN 13748-2, bem como com coloração, brilho e textura de elevado valor arquitectónico. Este tipo de unidade de revestimento permitirá reaproveitar e valorizar os resíduos grossos vindos das Minas da Panasqueira a baixo custo, e também baixo gasto de energia, tendo em conta o processo de fabrico destas unidades de revestimento.

Para integração deste trabalho no tipo de materiais compósitos de base polimérica foi necessário efectuar uma revisão de literatura sobre o tipo de materiais poliméricos já existentes, as suas aplicações na construção civil e vantagens, bem como o tipo de polímeros naturais existentes e quais as vantagens destes em relação aos polímeros sintéticos.

Foi elaborado um programa experimental onde são estudadas as características físicas, químicas e mecânicas, e geométricas dos resíduos grossos das minas para o desenvolvimento da unidade de revestimento, bem como da resina utilizada.

Para proceder ao desenvolvimento das unidades de revestimento, foram estudadas quais as vantagens e desvantagens dos protótipos iniciais e a forma como foram elaborados e optimizados, tendo em conta a dosagem óptima de resina necessária para obter óptimas características físicas e mecânicas, coloração e brilho, assim como o tamanho e coloração mais adequados dos resíduos grossos utilizados. Após a realização dos protótipos, estes foram submetidos aos ensaios necessários para que fosse possível uma futura marcação CE. Os ensaios realizados foram os seguintes: Resistência à Flexão; Resistência à Compressão; Resistência ao Desgaste por Abrasão; Resistência ao Escorregamento/Deslizamento; Resistência às Intempéries, através dos ensaios de Absorção de Água e Resistência ao Gelo/Degelo; Desempenho ao Fogo; Condutividade Térmica.

Finalmente, após a realização das unidades de revestimento foram analisados todos os resultados obtidos a fim de comparar com os valores exigidos na normalização vigente, EN 13748-2 para unidades de revestimento para uso externo.

Palavras-chave: Resíduos de Minas, Valorização de Resíduos, Compósitos poliméricos, Materiais Reciclados, Eco-Materiais, Revestimentos arquitectónicos

Development of polymeric based units for architectural applications using mining wastes

Abstract: The objective of this thesis was the development of a polymeric base unit using coarse mining wastes of Panasqueira mining quarries, having physical and mechanical characteristics to fulfill CE marking, in accordance with EN 13748-2 standard, as well as having adequate color, brightness and texture for architectural applications. This type of unit will allow recycling and add value to Panasqueira quarries, at low cost and low energy consumption, considering the technological process to produce it.

A literature review regarding polymeric composite materials is presented, namely, types of composite materials and its applications in Civil Engineering, advantages, natural polymers and artificial polymers, advantageous and disadvantageous.

An experimental program was developed. Physical, chemical, mechanical and geometrical characteristics of coarse mining waste materials were studied, as well as the polymeric resin.

To proceed with the development of the units, the advantages and disadvantages of the initial prototypes has been studied, particularly its shape and production method, taking into account an optimal resin content for best physical and mechanical characteristics, color and brightness, as well as the size and color of mining wastes. After completion of initial prototypes, units were to necessary tests for eventual CE marking. The tests carried out were the following: Breaking strength; Compressive strength; Abrasion resistance; Slip/Skid resistance; Weathering resistance; through the assays of Water absorption and Freeze/thaw resistance; Fire performance and Thermal conductivity.

Finally, after concluding the development of polymeric based units, results of testing were analyzed in order to compare its performance with the requirements of standard EN 13748-2, for external use.

Keywords: Mining Wastes, Valorization of Residues, Polymeric Composites, Recycled Materials, Eco-Materials, Architectural applications

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objectivos	1
1.3	Apresentação da Tese	2
2	Revestimentos Poliméricos e suas Aplicações na Construção Civil	3
2.1	Revestimentos Poliméricos	3
2.1.1	Polímeros	3
2.1.2	Materiais Compósitos e suas Aplicações	4
3	Programa Experimental e Materiais Utilizados	5
3.1	Programa Experimental	5
3.2	Caracterização dos Materiais Utilizados	5
3.2.1	Resíduos das Minas da Panasqueira	5
3.2.2	Resina Crystic 199	12
4	Desenvolvimento de Unidades de Revestimento	15
4.1	Formas e dimensões	15
4.1.1	Protótipos Iniciais	15
4.2	Dosagem da Resina	16
4.3	Tamanho e Coloração dos Resíduos Grossos Utilizados	16
4.4	Conformidade e Marcação CE	17
4.4.1	Requisitos Geométricos	21
4.5	Preparação dos Provetes de Ensaio	22
4.5.1	Preparação do Resíduo Grosso	22
4.5.2	Preparação do Molde	23
4.5.3	Preparação da Resina	23
4.5.4	Preparação do Proвете	25
5	Ensaio Realizados	31
5.1	Resistência à Flexão	31
5.2	Resistência à Compressão	32
5.3	Resistência ao Desgaste por Abrasão	32
5.3.1	Método do Disco de Abrasão Largo	32
5.3.2	Método de Böhme	32
5.4	Resistência ao Escorregamento/Deslizamento	32
5.5	Resistência às Intempéries	33
5.5.1	Absorção de Água	33
5.5.2	Resistência ao Gelo/Degelo	33
5.6	Desempenho ao Fogo	33

5.6.1	Reacção ao Fogo	33
5.7	Condutividade Térmica	34
6	Conclusões	35
A	Análise Granulométrica	39
A.1	Lavagem	39
A.2	Peneiração	40
A.3	Pesagem	41
B	Massa Volúmica e Absorção de Água dos Resíduos Grossos	45
B.0.1	Procedimento do Ensaio	45
C	Resistência à Flexão	51
C.1	Preparação dos Provetes	51
C.2	Aplicação da Carga	52
C.3	Classe de Resistência à Flexão	78
D	Resistência à Compressão	81
D.1	Preparação e Posicionamento do Provete na Máquina de Ensaio	81
D.2	Aplicação da Carga	81
D.3	Resultados Obtidos	83
D.4	Classe de Resistência à Compressão	83
E	Resistência ao Desgaste por Abrasão	87
E.1	Método do Disco de Abrasão Largo	87
E.1.1	Calibração da Máquina	87
E.1.2	Preparação do Provete	87
E.1.3	Procedimento do Ensaio	87
E.1.4	Medição do Sulco	88
E.1.5	Resultado do Ensaio	88
E.2	Método de Böhme	90
E.2.1	Preparação dos Provetes	90
E.2.2	Procedimento do Ensaio	90
E.2.3	Determinação dos Resultados	92
E.3	Classe de Resistência ao Desgaste por Abrasão	94
F	Resistência ao Escorregamento/Deslizamento	95
F.1	Preparação dos Provetes	95
F.2	Procedimento do Ensaio	95
F.3	Determinação da Resistência ao Escorregamento/Deslizamento da unidade de revestimento não polida, USRV	96

G Resistência às Intempéries	99
G.1 Absorção de Água dos Provetes	99
G.1.1 Preparação dos Provetes	99
G.1.2 Procedimento do Ensaio	99
G.1.3 Absorção de Água Capilar por Unidade de Área	99
G.1.4 Absorção de Água Absoluta ou Capacidade de Absorção	100
G.2 Resistência ao Gelo/Degelo com Água Salgada	100
G.2.1 Preparação dos Provetes	100
G.2.2 Procedimento do Ensaio	102
G.2.3 Determinação da Perda de Massa por Unidade de Área	103
G.3 Classe de Resistência às Intempéries	104
H Desempenho ao Fogo	105
I Síntese dos Resultados	107
I.1 Resíduos Grossos das Minas da Panasqueira	107
I.2 Resina Crystic 199	107
I.3 Unidades de Revestimento	107
Bibliografia	111

Lista de Figuras

3.1	Escombreira das Minas da Panasqueira	6
3.2	Localização das Minas da Panasqueira, extraído de [6]	7
3.3	Muros elaborados com Resíduos das Minas da Panasqueira	7
3.4	Ponte elaborada com Resíduos das Minas da Panasqueira	8
3.5	Resíduos grossos das Minas da Panasqueira de cor cinzenta	8
3.6	Resíduos grossos envelhecidos das Minas da Panasqueira de cor ocre	9
3.7	Resíduos grossos das Minas da Panasqueira de cor avermelhada	9
3.8	Resina Crystic 199, Activador A-101 e Catalisador C-201 empregados na realização dos provetes de ensaio	12
4.1	Provete sem brilho superficial composto por Resíduos Grossos das Escombreiras das Minas da Panasqueira calcinados e Resina de Poliéster	17
4.2	Provete com brilho superficial composto por Resíduos Grossos das Escombreiras das Minas da Panasqueira calcinados e Resina de Poliéster	18
4.3	Provete composto por resíduos grossos das escombreiras das Minas da Panasqueira, granulos de cortiça e resina de poliéster	18
4.4	provete composto por resíduos grossos das escombreiras das Minas da Panasqueira, agregados de mármore e resina de poliéster	19
4.5	Provete composto por resíduos grossos das escombreiras das Minas da Panasqueira, agregados de mármore e resina de poliéster	19
4.6	Provete composto por resíduos grossos e finos das escombreiras das Minas da Panasqueira e resina	20
4.7	Provete composto por resíduos grossos e finos das escombreiras das Minas da Panasqueira e resina	20
4.8	Limpeza de finos dos resíduos grossos com Compressor a Ar	22
4.9	Pesagem dos resíduos grossos	23
4.10	Colocação dos resíduos grossos da vasilha metálica de mistura	24
4.11	Molde utilizado	24
4.12	Pesagem do Activador	25
4.13	Pesagem do Catalisador	25
4.14	Pesagem da Resina	26
4.15	Mistura da Resina com o activador e catalisador	26
4.16	Mistura da Resina com o resíduo grosso	27
4.17	Transferência da mistura Resina e resíduos grossos para o molde de cura	27
4.18	Colocação do Elemento Compactador	28
4.19	Cura do provete a temperatura ambiente	28
4.20	Corte dos provetes de ensaio	29
A.1	Suspensão de finos	39
A.2	Lavagem dos resíduos grossos	40

A.3	Coluna de Peneiros ASTM	41
A.4	Curva Granulométrica	43
B.1	Preparação do provete para imersão	46
B.2	Proвете preparado para imersão	46
B.3	Picnómetro com o provete em Banho-Maria	47
B.4	Adição de água ao provete até transbordar o picnómetro	48
B.5	Secagem superficial dos resíduos grossos	49
B.6	Secagem do resíduo grosso na estufa	50
C.1	Máquina de Ensaio Universal "ZWICK 1435", com Célula de Carga de 5kN e Velocidade de Teste 3mm/min	51
C.2	Ensaio de Resistência à Flexão	52
D.1	Proвете posicionado na máquina de ensaio	82
D.2	Ensaio à compressão dos provetes	82
E.1	Ensaio da Resistência ao Desgaste pelo Disco de Abrasão Largo	88
E.2	Exemplo de provete ensaiado mostrando o sulco [mm]	89
E.3	Medição do sulco resultante do desgaste efectuado pelo Disco de Abrasão Largo	89
E.4	Colocação do provete no Porta-Provetes	91
E.5	Distribuição do Abrasivo na Pista de Ensaio pelo Método de Böhme	92
E.6	Pista de Ensaio pelo Método de Böhme	92
E.7	Provetes desgastados após o ensaio pelo Método de Böhme	93
F.1	Proвете mergulhado em água a $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$	95
F.2	Pêndulo de atrito e provete para ensaio de Resistência ao Escorregamento/Deslizamento	96
F.3	Verificação do patim de borracha em contacto com o provete em toda a largura deste	97
F.4	Ensaio de Resistência ao Escorregamento/Deslizamento	97
G.1	Exemplo preparação do provete para o Ensaio de Resistência ao Gelo/Degelo	101
G.2	Proвете preparado para o Ensaio de Resistência ao Gelo/Degelo	102
G.3	Curva do Tempo-Temperatura do ciclo, para o Ensaio de Resistência ao Gelo/Degelo	103
G.4	Ensaio de Resistência ao Gelo/Degelo	103
H.1	Ensaio do provete ao Desempenho ao Fogo	105
H.2	Ensaio do provete ao Desempenho ao Fogo	106

Lista de Tabelas

3.1	Propriedades Físicas da Resina Crystic 199 em Estado Líquido	13
3.2	Propriedades Físicas da Resina Crystic 199 Polimerizada	13
A.1	Percentagem de Material Retido nos Peneiros	42
B.1	Massa do Picnómetro com os resíduos grossos imersos em água	47
B.2	Massa do Picnómetro	48
B.3	Massa dos resíduos grossos saturados, com a superfície seca	49
B.4	Massa dos resíduos grossos saturados, com a superfície seca	49
B.5	Massa volúmica dos Resíduos Grossos e Absorção de água	50
C.1	Resistência à Flexão para Placa 1, com 2,0% de Resina	53
C.2	Resistência à Flexão para Placa 2, com 2,5% de Resina	54
C.3	Resistência à Flexão para Placa 3, com 3,0% de Resina	54
C.4	Resistência à Flexão para Placa 4, com 3,5% de Resina	55
C.5	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1A	55
C.6	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1B	56
C.7	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1C	56
C.8	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1D	57
C.9	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1E	57
C.10	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1F	58
C.11	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1G	58
C.12	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1H	59
C.13	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1I	59
C.14	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1J	60
C.15	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1K	60
C.16	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P1L	61
C.17	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2A	61
C.18	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2B	62
C.19	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2C	62
C.20	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2D	63
C.21	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2E	63
C.22	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2F	64
C.23	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2G	64
C.24	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2H	65
C.25	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2I	66
C.26	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2J	66
C.27	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P2K	67
C.28	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3A	67
C.29	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3B	68

C.30	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3C	68
C.31	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3D	69
C.32	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3E	70
C.33	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3F	70
C.34	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3G	71
C.35	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3H	71
C.36	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3I	72
C.37	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3J	72
C.38	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3K	73
C.39	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P3L	73
C.40	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4A	74
C.41	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4B	74
C.42	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4C	75
C.43	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4D	75
C.44	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4E	76
C.45	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4F	76
C.46	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4G	77
C.47	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4H	77
C.48	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4I	78
C.49	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4J	78
C.50	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4K	79
C.51	Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4L	79
D.1	Resistência à Compressão para a Placa 1, com 2,0% de Resina	83
D.2	Resistência à Compressão para a Placa 2, com 2,5% de Resina	84
D.3	Resistência à Compressão para a Placa 3, com 3,0% de Resina	85
E.1	Dimensão do sulco entre os pontos AB, CD e C'D'	90
E.2	Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método do Disco de Abrasão Largo	90
E.3	Densidade dos provetes para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme	91
E.4	Perda de volume do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme	93
F.1	Coefficiente de Resistência ao Escorregamento/Deslizamento	98
G.1	Absorção de água capilar por unidade de área, à pressão atmosférica	100
G.2	Capacidade de Absorção de água	100
G.3	Perda de Massa por Unidade de Área	104
I.1	Propriedades Geométricas, Físicas e Mecânicas, Químicas e Presença de metais pesados nos resíduos grossos	107
I.2	Análise química elementar do resíduo grosso das minas	107
I.3	Presença de metais pesados no resíduo grosso das minas	107

I.4	Propriedades Físicas da Resina Crystic 199 em Estado Líquido	108
I.5	Propriedades Físicas da Resina Crystic 199 Polimerizada	108
I.6	Resultados dos ensaio efectuados para os provetes, classificação e marcação CE, conforme os parâmetros exigidos	109

Abreviaturas e Símbolos

ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standard
BSI	British Standards Institution
CE	European Committee
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CEN	European Committee for Standardization
DGMSGP	Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos de Portugal
E	Especificação
EEE	Espaço Económico Europeu
EN	European Standard
IPQ	Instituto Português da Qualidade
ISO	International Organization of Standardization
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NLT	Normas del Laboratorio del Transporte
NP	Norma Portuguesa
USRV	Unpolished Slip Resistance Value
\forall_R	Volume do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme
A	Área do peneiro ASTM, para análise granulométrica
A_c	Área da secção transversal do provete na qual a força de compressão foi aplicada
$A_{G,D}$	Área de superfície de Ensaio de Gelo/Degelo
C_R	Coefficiente de Resistência ao Escorregamento/Deslizamento
$C_{R,n}$	Coefficiente de Resistência do Provete n
d	Dimensão das aberturas do peneiro ASTM, para análise granulométrica
$\Delta\forall$	Perda de volume do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme
d_1 e d_2	Dimensões laterais do provete de ensaio, para a Resistência à Flexão
Δm	Perda de massa do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme
D_{max}	Dimensão máxima dos resíduos grossos
D_{min}	Dimensão mínima dos resíduos grossos
f	Porcentagem de finos que passa através do peneiro de $63\mu\text{m}$, para análise granulométrica

F	Carga máxima de flexão
f_c	Resistência à compressão
F_c	Carga máxima à rotura, para Ensaio de Resistência à Compressão
F_{CA}	Factor de Calibração para Resistência ao Desgaste por Abrasão
f_{cf}	Resistência à flexão
$f_{Esmagamento}$	Resistência ao esmagamento dos resíduos grossos
FI	Índice de Lamelação dos resíduos grossos
I	Espaçamento dos roletes inferiores da máquina universal de ensaios "ZWICK 1435"
LA	Desgaste de Los Angeles dos resíduos grossos
M_1	Massa dos resíduos grossos saturados, com a superfície seca, para a absorção de água
$M_{1,AG}$	Massa seca do provete de ensaio, para análise granulométrica
M_2	Massa do Picnómetro com os resíduos grossos imersos em água, para a absorção de água
$M_{2,AG}$	Massa seca do material com granulometria superior a $63\mu\text{m}$, para análise granulométrica
M_3	Massa do Picnómetro, para a absorção de água
M_4	Massa dos resíduos grossos saturados, com a superfície seca, para a absorção de água
$M_{A.M.P.}$	Massa total do provete de Resíduos Grossos Oxidados das Minas da Panasqueira
$M_{A.M.P.C}$	Massa total do provete de Resíduos Grossos Calcinados das Minas da Panasqueira
M_{cd}	Massa da quantidade total de material desagregado do provete no Ensaio de Gelo/Degelo
m_d	Massa seca decisiva do Ensaio de Absorção de Água do Provete
m_{ds}	Massa seca do provete selado do Ensaio de Absorção de Água do Provete
M_f	Massa do filtro de papel no Ensaio de Gelo/Degelo
$M_{f,m}$	Massa do material desagregado do provete com o filtro de papel no Ensaio de Gelo/Degelo
$m_{h,24}$	Massa seca do provete selado do Ensaio de Absorção de Água do Provete
$m_{h,c}$	Massa do provete saturado sob pressão atmosférica
M_R	Massa do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme
P	Massa do material peneirado retido no recipiente do fundo
R	Velocidade de aplicação de carga, para a Resistência à Flexão
R_n	Massa do material retido no peneiro, para análise granulométrica n
s	Velocidade de aplicação da tensão, para a Resistência à Flexão
S	Área da face de sucção do Ensaio de Absorção de Água do Provete

SI	Índice de Alongamento dos resíduos grossos
T_2	Temperatura da água quando o Picnómetro tem os resíduos grossos imersos em água, para a absorção de água
T_3	Temperatura da água no Picnómetro, para a absorção de água
T_{mc}	Temperatura inicial do Meio de Congelação no Ensaio de Gelo/Degelo
V_{AD}	Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Disco de Abrasão Largo
V_C	Valor de calibração dado pelo "Boulonhaise Marble", para Resistência ao Desgaste por Abrasão
V_S	Dimensão do sulco para Resistência ao Desgaste por Abrasão
WA_{24}	Absorção da água dos resíduos grossos
$W_{h,24}$	Absorção de água capilar por unidade de área, à pressão atmosférica
$W_{m,a}$	Capacidade de Absorção de água
ρ	Massa volúmica dos resíduos grossos
ρ_a	Massa volúmica do material impermeável das partículas, para a absorção de água
ρ_R	Densidade do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão
ρ_{rd}	Massa volúmica das partículas secas em estufa, para a absorção de água
ρ_{ssd}	Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca, para a absorção de água

Introdução

Contents

1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	1
1.3 Apresentação da Tese	2

1.1 Enquadramento

Uma das consequências, da exploração, de minério nas Minas da Panasqueira é a produção de resíduos que se vão acumulando, ao longo dos anos, nas escombreiras. Estes resíduos não podem ser repostos no seu local-mãe.

O facto de, a longo prazo, se ter acumulado muitos resíduos, tanto grossos como lamas residuais, e uma vez que estes contêm metais pesados agregados a estes que em contacto com as águas do Rio Zêzere provocam poluição ambiental.

A acumulação de resíduos das minas, para além de provocarem poluição directa nas terras e águas do rio, provocam um impacte a nível visual desagradável. O que ambientalmente é, nos dias de hoje, considerada como incorrecta.

Cada vez mais, em todo o Mundo, se pensa na reciclagem, reutilização e aproveitamento de resíduos de modo a que os impactes ambientais sejam menores. É também essa a grande preocupação da Europa. Neste contexto é desenvolvido este trabalho que visa o estudo uma solução que pode contribuir para a reutilização destes resíduos.

A finalidade de aproveitar os resíduos das Minas da Panasqueira é a de desenvolver novos produtos com estes resíduos, sendo então mais valorizados. Esta valorização dos resíduos tem em vista a sustentabilidade da solução do ponto de vista económico.

Estes novos produtos elaborados com os resíduos das Minas da Panasqueira devem ser desenvolvidos de forma a serem de baixo custo final, bem como, com utilização de baixa energia.

1.2 Objectivos

Neste cenário, a dissertação apresentada tem como objectivo o desenvolvimento uma unidade de revestimento de elevado valor arquitectónico, no âmbito de reciclagem de resíduos grossos das Minas da Panasqueira.

Para as aplicações possíveis foi decidido um desenvolvimento de uma unidade de revestimento que consistia num aglomerado de resíduos grossos das Minas da Panasqueira com resina de poliéster sendo portanto, uma unidade de revestimento de base polimérica. Esta unidade de revestimento teria de prover de boas características físicas e mecânicas, bem como óptimas características em termos visuais.

Para obter a melhor formulação de mistura foi necessário fazer várias misturas, com vários tamanhos de resíduos grossos, vários tipos de materiais associados aos resíduos grossos das Minas da Panasqueira. Com a finalidade de obter várias texturas e várias cores.

A nível de obtenção de características físicas e mecânicas foi necessário ter em conta a normalização vigente para unidades de revestimento para uso exterior e como tal, também foi necessário verificar os restantes requisitos exigidos por esta, para obter marcação CE. As características exigidas pela norma estão associadas ao meio ambiente e uso a que estas se destinam.

Pretendeu-se que a unidade de revestimento desenvolvida fosse para uso exterior, podendo ser para vários tipos de revestimento; para pavimentos ou para paredes. Em termos de pavimentação exterior poderá ser aplicado em jardins, ou zonas de lazer, entre outros.

1.3 Apresentação da Tese

Neste Capítulo é feita a apresentação da tese, dando o seu enquadramento, mostrando quais os objectivos a cumprir no fim deste trabalho.

No Capítulo 2 é abordado o tipo de revestimentos poliméricos e suas aplicações na construção civil, bem como o tipo de polímeros naturais existentes e quais as vantagens destas em relação ao polímeros sintéticos. São apresentados os tipos de materiais poliméricos existentes, as suas aplicações e quais as vantagens do uso destes.

No Capítulo 3 é apresentado o programa experimental e são estudadas as características físicas e mecânicas, e geométricas dos materiais utilizados para o desenvolvimento da unidade de revestimento.

No Capítulo 4 é explicado como se procedeu ao desenvolvimento das unidades de revestimento, onde se estudam os protótipos iniciais e como foram optimizados, a dosagem óptima de resina necessária para obter as melhores características físicas e mecânicas, coloração e brilho das unidades de revestimento, assim como, o tamanho e coloração mais adequados dos resíduos grossos utilizados. Neste capítulo são também estudados os requisitos exigidos para que as unidades de revestimento obtenham marcação CE e a forma como se procedeu à preparação destas unidades a fim de serem ensaiadas.

No Capítulo 5 são apresentados os ensaios que necessários para que as unidades de revestimento obtenham marcação CE. Os ensaios apresentados são os seguintes: Resistência à Flexão; Resistência à Compressão; Resistência ao Desgaste por Abrasão; Resistência ao Escorregamento/Deslizamento; Resistência às Intempéries, através dos ensaios de Absorção de Água e Resistência ao Gelo/Degelo; Desempenho ao Fogo; Condutividade Térmica.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões sobre as unidades de revestimento produzidas, as suas aplicações, as suas características físicas e mecânicas, e geométricas.

Revestimentos Poliméricos e suas Aplicações na Construção Civil

Contents

2.1 Revestimentos Poliméricos	3
2.1.1 Polímeros	3
2.1.2 Materiais Compósitos e suas Aplicações	4

2.1 Revestimentos Poliméricos

2.1.1 Polímeros

Desde a Pré-História que o Homem procurou obter conforto no seu dia-a-dia, sentindo cada vez mais a necessidade de desenvolver técnicas de construção, para os seus abrigos com a finalidade de se proteger das intempéries e do perigo. Sentiu também a necessidade de desenvolver muitos outros objectos, para as mais variadas utilizações, que hoje em dia são praticamente indispensáveis para o Homem actual.

Os primeiros materiais constituídos por polímeros foram provavelmente a madeira e o colmo. Estes são constituídos por polímeros naturais, que são a celulose e a lenhina [1]. Existem na natureza muitos polímeros de elevada importância, tais como: amido, algodão, borracha, lã, cabelo, couro.

Ao longo dos tempos surgiu uma nova necessidade, ou seja, a de encontrar substâncias que reproduzissem propriedades semelhantes às dos polímeros naturais, daí o nascimento de outro tipo de polímeros, os sintéticos. Estes surgiram como substitutos aos tradicionais, pelo facto de apresentarem vantagens em relação aos naturais.

As vantagens dos polímeros sintéticos são: Leveza, pois possibilita a concepção e realização de estruturas e objectos mais leves, com melhor desempenho e por sua vez menos dispendiosos; Processabilidade, pelo facto de serem moldáveis e formuláveis a temperaturas comparativamente mais baixas; Durabilidade, por resistirem bem a ambientes adversos, por não sofrerem corrosão e as suas propriedades permanecerem durante longo tempo; Versatilidade por ser relativamente fácil seleccionar, modificar e formular os materiais de acordo com as aplicações específicas desejadas; Economia, porque geralmente reduzem substancialmente os custos de produção, processamento, manutenção e funcionamento; Competitividade, pois a mesma aplicação é possível projectar e fabricar produtos de menor preço e com análogo desempenho; Reciclabilidade, pois sendo possível reciclar este

tipo de polimérico, a nível ambiental é vantajoso, pela redução de custos e poupança dos materiais não recicláveis [1].

2.1.2 Materiais Compósitos e suas Aplicações

Devido às propriedades acima referidas, cada vez mais são desenvolvidos novos materiais com utilização de polímeros, para os mais variados objectivos. No rol de novos materiais estão incluídos os materiais compósitos de matriz polimérica.

Este tipo de materiais compósitos têm sido de elevada importância a nível de Engenharia e das Artes. São encontrados em variados sectores, tais como na indústria automóvel, mecânica, aeronáutica, naval e construção civil.

Nos dias de hoje a utilização de materiais poliméricos na Engenharia Civil, é cada vez mais, uma prática comum. A possibilidade que este tipo de materiais tem de desenvolver novos materiais e suas aplicações e de afinar melhores técnicas de fabrico é muito vasta, devido às suas características vantajosas.

No âmbito artístico também têm sido utilizados sobretudo para escultura, restauração e conservação [2].

A aplicação de materiais poliméricos é feita de variadas formas, conforme os requisitos de rendimento e resistência. Para níveis de resistência mais altos os polímeros podem ser combinados com outros materiais a fim de se obter melhores características físicas e mecânicas.

Contudo existem outros tipos de revestimentos poliméricos, que podem ser elaborados com argamassa ou betão polimérico. Podem ser utilizados em pisos industriais onde estes possam estar sujeitos a ambientes agressivos em termos térmicos e químicos, em revestimento de tanques, entre outros, [3].

Também existem revestimentos poliméricos na forma de tintas para protecção de betões em ambientes agressivos a fim de obter maior durabilidade destes, [4].

Este tipo de combinações permitiu desenvolver outros materiais para aplicação na Construção Civil e nas Artes.

Um exemplo deste tipo de materiais novos é o betão polimérico. Este material pode ter várias aplicações tanto na Construção Civil, como em Técnicas de Expressão de Artística e Arquitectónica, como por exemplo em Esculturas [2] e elementos construtivos arquitectónicos visivelmente agradáveis e inovadores.

Com base nisto, existem outros tipos de compósitos que podem ser desenvolvidos com diversas aplicações na Engenharia Civil e na Arte Escultórica. Um exemplo de outro tipo de compósitos são os aglomerados de agregados de vários tipos de rochas com resinas poliméricas. Os materiais compósitos de matriz polimérica começaram a ser estudados por outro autor, que pensou em variadas formas de o aplicar em obras artísticas, [2].

Este tipo de material compósito de matriz polimérica é pioneiro na construção civil. Sendo um grande desafio começar a analisar as suas possíveis aplicações, formas de fabricação, dimensões, textura, tamanho dos agregados, dosagem de resina, entre outros.

Programa Experimental e Materiais Utilizados

Contents

3.1 Programa Experimental	5
3.2 Caracterização dos Materiais Utilizados	5
3.2.1 Resíduos das Minas da Panasqueira	5
3.2.2 Resina Crystic 199	12

3.1 Programa Experimental

Para o desenvolvimento deste trabalho, o programa experimental teve como objectivo estudar e avaliar a possibilidade de produzir unidades de revestimento de base polimérica e com resíduos das Minas da Panasqueira. O estudo foi desenvolvido com os resíduos em estado natural, tal como são depositados nas escombreyras.

Procurou-se a solução mais simples possível do ponto de vista tecnológico com o objectivo de encontrar uma solução de baixo custo.

Como ligante utilizou-se resina de poliéster, com cura à temperatura ambiente.

Todo o estudo para o desenvolvimento das unidades de revestimento tiveram como base a redução de custos, a não utilização de energia na cura da resina, a não transformação dos resíduos grossos e também na preparação destes.

Procurou-se avaliar tipos diferentes de misturas, várias formas de lajetas e também da suas texturas finais, com o objectivo de obter unidades de revestimento com óptimas características em termos de aspecto visual e também características físicas e mecânicas.

3.2 Caracterização dos Materiais Utilizados

3.2.1 Resíduos das Minas da Panasqueira

3.2.1.1 Origem, Obtenção dos Resíduos Grossos das Minas da Panasqueira e suas Aplicações

Os resíduos utilizados para este trabalho são constituídos essencialmente por quartzo e xisto-grauvaque. Não são mais do que resíduos que provêm da extracção de alguns mine-

rais, tais como Apatite, Turmalinas, Siderite, Pirite, Calcite, Quartzo, Ferberite, Cassiterite, Arsenopirite, Blenda e em maior parte o Volfrâmio.

Após a extracção dos minerais acima referidos os resíduos vêm em forma de finos que são as lamas residuais, e de resíduos grossos que se trata da rocha-mãe que foi britada. Neste este trabalho só foram utilizados os resíduos grossos, como já foi referido.

Os resíduos encontram-se nas escombreyras das Minas da Panasqueira que têm uma dimensão semelhante a uma montanha, ver Figura 3.1. O couro mineiro da Panasqueira está encravado em rochas que apresentam uma sequência de xistos, arcoses e grauvaques chamada "Complexo das Beiras" ou "Complexo xisto-grauváquico"[5].



Figura 3.1: Escombreyra das Minas da Panasqueira

A nível geográfico, as Minas da Panasqueira ou Couto Mineiro da Panasqueira encontra-se localizado em plena Cordilheira Central, entre os maciços de São Pedro do Açor e da Gardunha, a poente da depressão da Cova da Beira, sobre o Vale do rio Zêzere. Tal como indica a Figura 3.2, [6].

3.2.1.2 Aplicações na Construção

Actualmente, uma pequena parte destes resíduos está a ser utilizada em algumas aplicações na Construção Civil, tais como pavimentação de estradas, construção de habitações típicas locais e outras construções, coberturas, pavimentação natural de jardins, entre outros.

Na pavimentação de estradas, foram feitos estudos para a sua utilização em locais de baixo tráfego, como por exemplo nos concelhos do Fundão, Covilhã e Pampilhosa da Serra, [7].

Foi também elaborado um estudo sobre a aplicação deste tipo de resíduos no betão, tendo-se concluído que não poderiam ser utilizados, pois o teor de alcális e óxido de ferro impedem este tipo de aplicação. Neste mesmo estudo foi avaliada a quantidade de metais pesados. Este estudo foi elaborado no âmbito do projecto VALREMIN, para a valorização de resíduos de minas, [8].



Figura 3.2: Localização das Minas da Panasqueira, extraído de [6]



Figura 3.3: Muros elaborados com Resíduos das Minas da Panasqueira

3.2.1.3 Aspecto Visual

Os Resíduos grossos após a saída da sua jazida apresentam uma cor cinzenta com partículas de quartzo e xisto-grauvaque, ver Figura 3.5 , mas com o passar do tempo envelhecem devido à presença de óxido de ferro ficando com a cor ocre, ver Figura 3.6.

Como será referido mais à frente os resíduos grossos quando calcinados apresentam uma cor avermelhada 3.7.

3.2.1.4 Propriedades Geométricas

As propriedades geométricas dos resíduos grossos, já foram determinadas por outros autores, nomeadamente o Índice de lamelação de alongamento.



Figura 3.4: Ponte elaborada com Resíduos das Minas da Panasqueira



Figura 3.5: Resíduos grossos das Minas da Panasqueira de cor cinzenta

A análise granulométrica foi realizada neste estudo de acordo com a norma NP EN 933-1 [9], tendo em conta os peneiros de ensaio que se encontram descritos na norma NP EN 933-2 [10].

Esta análise consiste na separação de uma amostra representativa de resíduos grossos em fracções, em que cada uma dessas fracções corresponde às partículas com dimensões entre os limites correspondentes às aberturas de cada um dos peneiros ASTM. É efectuada



Figura 3.6: Resíduos grossos envelhecidos das Minas da Panasqueira de cor ocre



Figura 3.7: Resíduos grossos das Minas da Panasqueira de cor avermelhada

agitando mecânicamente o resíduo grosso através da série de peneiros colocados na ordem decrescente, desde o peneiro de malha mais larga até ao peneiro de malha mais apertada. Este resíduo retido em cada peneiro é pesado após o ensaio, calculando-se de seguida a percentagem de massa dos resíduos em cada peneiro.

Os resíduos estudados não apresentam uma granulometria óptima para a realização das unidades de revestimento, uma vez que não se trata de uma curva granulométrica extensa. Ou seja, apesar da existência de resíduos grossos de tamanho variado verifica-se descontinuidade no tamanho dos resíduos, ver Anexo A. Uma granulometria extensa proporciona maior compactação das partículas entre si, [10].

Os Índices de Forma das partículas de resíduos grossos que foram utilizados neste trabalho foram determinados através do Índice de Lamelação e do Índice de Alongamento.

O Índice de Lamelação foi determinado de acordo com a Norma NP EN 933-3, [11], sendo este: $FI=27,7$, [12], expresso pela percentagem de partículas lamelares, em massa, da amostra de partículas de resíduo grosso.

O Índice de Alongamento foi determinado de acordo com a Norma NP EN 933-4, [13], sendo este: $SI=35,2$, [12], expresso pela percentagem de partículas alongadas, em massa, da amostra de partículas de resíduo grosso.

3.2.1.5 Propriedades Físicas e Mecânicas

Tal como as características geométricas, algumas das características físicas e mecânicas já foram estudadas por outros autores. Outras foram estudadas neste trabalho, nomeadamente: Dimensões máxima e mínima dos resíduos grossos, a Massa volúmica [14], Absorção da água, [14], Desgaste Los Angeles [15], Resistência ao esmagamento [16]

As dimensões máxima e mínima dos resíduos grossos foram determinados através do ensaio de análise granulométrica, de acordo com a Norma NP EN 933-1 [9]. Sendo a Dimensão máxima $D_{max}=25,4\text{mm}$ e a Dimensão mínima $D_{min}=1,19\text{mm}$, [12].

A massa volúmica trata-se da relação de quantidade de massa de um determinado corpo, por unidade de área. Para este estudo foi determinada a massa volúmica de acordo com a norma NP EN 1097-6, [14], em que foram determinados três valores: A massa volúmica do material impermeável das partículas $\rho_a=2,81\text{Mg/m}^3$, a Massa volúmica das partículas secas em estufa, $\rho_{rd}=2,79\text{Mg/m}^3$ e a Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca, $\rho_{ssd}=2,80\text{Mg/m}^3$. Tratando-se de resíduos com massa volúmica média.

A Absorção de água foi determinada de acordo com a norma NP EN 1097-6, [14], corresponde à capacidade que o resíduo grosso teve de absorver água, em percentagem de massa da amostra das partículas de resíduos grossos. Sendo esta de $WA_{24}=0,2\%$, um valor muito baixo revelando a capacidade da rocha.

A perda por desgaste de Los Angeles permite avaliar a resistência dos resíduos por abrasão e choque. Este ensaio é efectuado de acordo com a especificação do E 154, [15]. Consiste em introduzir uma amostra de resíduos grossos num tambor que se movimenta em torno de um eixo central com um número de esferas correspondente à granulometria dos resíduos grossos em estudo. Após o ensaio é medida a perda de massa de resíduo que passa através de um peneiro com malha 1,68mm. Esta perda de desgaste foi determinada

por outro autor, [12], em que se obteve o valor $LA=19,2\%$. Este resultado evidencia o bom comportamento mecânico dos resíduos.

A determinação da resistência ao esmagamento é feita através de compressão, em que são ensaiadas partículas de uma amostra de resíduos grossos que passam entre o peneiro de abertura de malha 12,5mm e que ficam retidas no peneiro de malha 9,51mm. Estas partículas secas, com massa constante, são colocadas num cilindro e é colocado um êmbolo em cima. Este conjunto é colocado numa máquina de compressão onde são aplicadas forças de forma crescente e gradual e a velocidade constante, que após o limite se descarrega. Após este ensaio é determinada a percentagem de agregado que passa através do peneiro de malha de abertura 2,38mm e assim é determinada a resistência do agregado ao esmagamento, como sendo a relação entre a massa das partículas que passaram neste último peneiro e a massa inicial da amostra. Este valor resultou em $f_{Esmagamento}=16,5$, em % de material friável, [12].

Como os resíduos grossos de minas usualmente não tem ainda muitas aplicações na construção civil, houve a necessidade de elaborar os ensaios para a caracterização das propriedades físicas e mecânicas para os resíduos e também para outro tipo de agregado muito utilizado na construção civil, os agregados naturais de origem granítica, ou seja, a brita comumente chamada. Este estudo foi elaborado por outros autores, [12], pelo qual resultaram os seguintes valores para os agregados naturais: Dimensão máxima, $D_{max}=25,4\text{mm}$; Dimensão mínima, $D_{min}=9,52\text{mm}$; Massa Volúmica, $\rho_{rd}=2,66\text{Mg/m}^3$; Absorção de Água, $WA_{24}=0,2\%$; Desgaste de Los Angeles, $LA=20,0\%$; $f_{Esmagamento}=21,5$, em % de material friável; Índice de Lamelação, $FI=14,0$; Índice de Alongamento, $SI=5,0$. Segundo os autores, estes dois tipos de agregados têm propriedades físicas e mecânicas muito semelhantes, o que significa que os resíduos grossos das Minas da Panasqueira podem ser utilizados em muitas aplicações da construção civil, substituindo as britas graníticas.

3.2.1.6 Propriedades Químicas

A composição química, estudada no âmbito do projecto VALREMIN do resíduo da Panasqueira foi obtida de uma amostra moída, observada em Microscópio Electrónico de Varrimento. Esta análise revela a presença importante de quartzo (SiO_2) no resíduo, [8]. Desta análise química resultou: 57,92% de O; 0,44% de Na; 8,18% de Al; 23,44% de Si; 3,77% de K; 0,60% de Ti; 4,62% de Fe; 1,03% de Mg.

Foram efectuados ensaios químicos sobre o resíduo, determinando-se as concentrações de alguns metais pesados tais como, cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), arsénio (As) e também de manganésio (Mn) e enxofre (S). Destes ensaios químicos resultou: 210ppm de Cu; 320ppm de Zn; 450ppm de Fe; 250ppm de As e 2400ppm de Mn.

Tendo em conta estes resultados, a implementação dos resíduos grossos no betão não é possível devido ao seu grande teor de óxido de ferro, não obtendo uma boa ligação entre os resíduos e a pasta de cimento. em consequência desta fraca ligação entre a pasta de cimento e os resíduos, não foi possível obter um valor estético aceitável.

3.2.2 Resina Crystic 199

3.2.2.1 Origem, Obtenção da Resina e suas Aplicações

A Resina Crystic 199 utilizada neste trabalho é elaborada pela empresa Scott Bader [17] (Barcelona, Espanha) e distribuída pela empresa Plastiform Plásticos y Transformados S.A. (Madrid, Espanha). Trata-se de uma Resina de poliéster insaturada, não acelerada e não tixotrópica. Segundo o fabricante tem ótimas propriedades físicas, tais como resistência à tracção, resistência à flexão, resistência ao corte e, é indicada para aplicações de alto rendimento, tais como na indústria aeronáutica onde se requerem propriedades eléctricas e térmicas superiores, servindo também para outro tipo de colagens em variadas aplicações do dia-a-dia [18]. É fornecida em latas de 5kg, em estado liquido, como se apresenta na Figura 3.8.



Figura 3.8: Resina Crystic 199, Activador A-101 e Catalisador C-201 empregados na realização dos provetes de ensaio

3.2.2.2 Aditivos

Para que a Resina seja polimerizada, a esta têm de ser adicionados dois aditivos, que são: o Activador Activador A-101 e o Catalisador C-201. Sendo que estes não devem ser misturados entre si, directamente, pois podem provocar reacções explosivas, tal como indicam as instruções do fabricante [18].

O Activador tem influência na temperatura e tempo de cura, apesar da resina poder ser polimerizada a frio ou a quente, ou seja, esta influência a energia de inicial de activação da resina. O Catalisador tem como função a velocidade com que a polimerização da resina é feita.

O catalisador, quando adicionado ao activador é que faz com que a polimerização ocorra, para então esta ficar completa.

3.2.2.3 Cura

A Resina Crystic pode ser polimerizada a frio ou a quente. No caso de estudo, a resina foi polimerizada a frio, em temperatura ambiente (18 a 20°C), durante sete dias.

3.2.2.4 Propriedades Físicas da Resina

Segundo o fabricante, a Resina tem ótimas propriedades físicas¹, depois de polimerizada. Estas são apresentadas a seguir, tanto para o estado líquido, ou seja, antes da polimerização. E apresentadas para depois de polimerizada, nas tabelas 3.1 e 3.2²:

Tabela 3.1: Propriedades Físicas da Resina Crystic 199 em Estado Líquido

Viscosidade a 25°C dPas Rhéomat a 37.35 sec-1 [poise]	5-6,5
Densidade a 25°C	1,10
Índice de acidez [mgKOH/g]	23-29
Conteúdo volátil [%]	36-39
Aspecto	Claro, ligeiramente amarelo
Estabilidade, abrigada da luz e a 20°C [meses]	6
Tempo de gelificação a 25°C [min]	16

Tabela 3.2: Propriedades Físicas da Resina Crystic 199 Polimerizada

Dureza Barcol (Modelo GYZJ 934-1)	50
Absorção de água (24h a 23°C) [mg]	25
Temperatura de deformação, de baixa carga-HDT(1,8MPa)[°C]	130
Índice de refração 20/D	1,554
Densidade a 20°C	1,19
Fissuração a 25°C [%]	2,5
Resistência à tracção [MPa]	62
Módulo de tracção [MPa]	3600
Perda dielétrica (a 1000Hz)	0,005
Constante dielétrica (a 1000Hz)	3,1

3.2.2.5 Preparação da Resina de acordo com as Instruções do Fabricante

Como a resina não vem totalmente preparada da origem, pelo que foi necessário fazer uma preparação desta em laboratório adicionando Activador A-101 e Catalisador C-201. Esta dosagem foi preparada tendo em conta a escolha da percentagem de resina a utilizar, em volume, do total do provete e de acordo com as instruções do fabricante.

¹Estas propriedades foram verificadas, pelo fabricante, de acordo com a norma BS 2782

²Para Temperatura de deformação, de baixa carga-HDT a polimerização é de 24h a 20°C, 3h a 80°C. Para HDT: 24h a 20°C, 5h a 80°C e 3h a 120°C

Tendo em conta as recomendações do fabricante, [18], a mistura deve ser preparada da seguinte forma: Pesar todos os componentes da resina, tendo o cuidado de separar o activador do catalisador, porque juntos podem provocar uma reacção explosiva; Misturar na resina o activador (2 a 3g por kg de resina), para se obter uma mistura homogénea e tendo o cuidado de misturar devagar para não formar muitas bolhas de ar na mistura, pois se esta mistura tiver muito ar ocluído tem de ser retirar através de uma bomba de vácuo; Misturar o catalisador na resina (15g por kg de resina), após a mistura do activador.

Desenvolvimento de Unidades de Revestimento

Contents

4.1 Formas e dimensões	15
4.1.1 Protótipos Iniciais	15
4.2 Dosagem da Resina	16
4.3 Tamanho e Coloração dos Resíduos Grossos Utilizados	16
4.4 Conformidade e Marcação CE	17
4.4.1 Requisitos Geométricos	21
4.5 Preparação dos Provetes de Ensaio	22
4.5.1 Preparação do Resíduo Grosso	22
4.5.2 Preparação do Molde	23
4.5.3 Preparação da Resina	23
4.5.4 Preparação do Proвете	25

4.1 Formas e dimensões

4.1.1 Protótipos Iniciais

Na realização deste trabalho foram efectuados alguns protótipos para se acertar a dosagem de resina, o tamanho dos resíduos grossos a utilizar, a forma como são compactados ou vibrados, de forma a obter uma unidade de revestimento com boas características mecânicas, físicas, coloração e dosagem de resina.

A realização dos provetes foi feita a nível experimental e sem requisitos especiais, numa fase inicial. Nesta fase não se teve em conta as características mecânicas, mas sim as dimensões, formas e a dosagem da resina e o aspecto das unidades de revestimento, bem como cor e brilho.

Após a optimização da dosagem de resina, passou-se a realizar provetes e ensaiá-los em simultâneo, de forma a ir acertando as características mecânicas e físicas.

A forma como os provetes foram compactados foi analisada experimentalmente. Foram compactados de diferentes maneiras até chegar à compactação melhor para o estudo de caso: Compactaram-se os provetes manualmente, mas a forma como os resíduos grossos

ficavam arrumados, entre si, não era a pretendida; Vibrou-se numa mesa de vibração utilizada na vibração de betão, e compactou-se manualmente, simultaneamente; Compactou-se na máquina de ensaios de tijolos à compressão, mas igualmente sem muito sucesso; Até que se optou por compactar no conjunto de compactação para misturas betuminosas, de acordo com a norma NLT-173/00, [19], parecendo então esta a melhor forma de obter um provete bem compactado e mais bem elaborado, ou seja, com uma forma prismática.

Tratou-se de experimentar diferentes métodos de compactação disponíveis no laboratório de tecnologia e ensaios mecânicos.

4.2 Dosagem da Resina

A dosagem óptima de resina foi obtida ao longo da investigação sobre este tema.

Tendo em conta que é um trabalho de investigação pioneiro, a dosagem de resina óptima foi estudada experimentalmente. Os primeiros provetes elaborados continham entre 18 a 20% de resina sobre o volume de resíduo grosso utilizado para a realização dos provetes de ensaio.

Ao longo da investigação, conseguiu-se uma dosagem de 2,0% de resina sobre o volume de resíduo grosso, mas apenas suficiente para que os resíduos grossos aderissem.

Após a realização dos vários ensaios que caracterizam fisicamente e mecânicamente os provetes em estudo foi necessário proceder ao estudo da dosagem óptima para obter bons resultados, tendo em conta que os provetes entram em rotura pela resina e não pelos resíduos grossos, por exemplo quando ensaiados à flexão.

Outras características também foram tomadas em conta, tais como a coloração e o brilho. Com o aumento da dosagem da resina aumentou o brilho das unidades de revestimento ensaiadas. Não era uma característica a ter em conta, pois era pretendido uma peça com pouco brilho, mas igualmente atractiva do ponto de vista estético.

Verificou-se mais tarde que a dosagem óptima seria de 3,5% sobre o volume de resíduos grossos, pois ao longo do estudo e experiências feitas os provetes ficaram com óptimas características físicas e mecânicas, coloração e brilho.

4.3 Tamanho e Coloração dos Resíduos Grossos Utilizados

A consideração sobre o tamanho máximo a utilizar para os resíduos grossos nas unidades de revestimento seria que os vazios destas unidades estivessem preenchidos o máximo possível, pois assim poderiam-se obter melhores características físicas e mecânicas deste. No entanto, optou-se por utilizar a granulometria em que se encontravam os resíduos apesar de ter alguma descontinuidade.

Inicialmente pensou-se que se poderia alterar a cor dos resíduos grossos ou então arranjar forma de obter resíduos grossos com outra coloração, sem que fosse a cor cinzenta, Figura 3.5 ou a cor ocre, Figura 3.6. Pensou-se em calcinar os resíduos grossos. Observou-se que estes, no fim de calcinados durante 2 horas a 800°, ficavam de cor avermelhada, Figura 3.7. Mas como o intuito de elaborar este tipo de unidades de revestimento seria o de reaproveitar e valorizar os resíduos grossos vindos das Minas da Panasqueira a baixo custo

e com baixo gasto de energia. Esta hipótese foi logo descartada para este estudo de caso, Figuras 4.1 e 4.2.

Para além de o baixo custo estar presente como referência para a elaboração deste tipo de unidades de revestimento a cor ocre hoje em dia é muito utilizada em termos arquitetónicos. Como tal os resíduos grossos da escombreira, com o aspecto "envelhecido" por oxidação natural são os mais adequados.



Figura 4.1: Provete sem brilho superficial composto por Resíduos Grossos das Escombrireas das Minas da Panasqueira calcinados e Resina de Poliéster

Também se pensou na hipótese de adoptar por diferentes tipos de materiais, em conjunto com os agregados envelhecidos, tais como cortiça, Figura 4.3, mármore, Figura 4.4, e vidro, Figura 4.5, mas a não se conseguiu com isso um aspecto visual melhorado. E por isso a utilização de resíduos da escombreira foi sempre a melhor escolha, Figura 4.7.

4.4 Conformidade e Marcação CE

Para que as unidades de revestimento obtenham marcação CE pelo fabricante ou agente estabelecido no EEE, estas necessitam de passar pela verificação de algumas características impostas de acordo com a Norma EN 13748-2 [20], sendo que estas estão associadas ao meio ambiente e uso a que se estas se destinam. Esta norma permite avaliar as propriedades de unidades de revestimento para aplicações no exterior.

Para unidades de revestimento destinadas a áreas exteriores, as características impostas e que devem ser verificadas, são:

- Resistência à Flexão;
- Resistência à Compressão;



Figura 4.2: Provete com brilho superficial composto por Resíduos Grossos das Escombri- ras das Minas da Panasqueira calcinados e Resina de Poliéster



Figura 4.3: Provete composto por resíduos grossos das escombri- ras das Minas da Panasqueira, granulos de cortiça e resina de poliéster

- Requisitos Geométricos;
- Resistência ao Desgaste por Abrasão;
- Resistência ao Escorregamento/Deslizamento;
- Resistência às Intempéris, ou seja, Absorção de Água e Resistência ao Gelo/Degelo;



Figura 4.4: provete composto por resíduos grossos das escombreliras das Minas da Panasqueira, agregados de mármore e resina de poliéster



Figura 4.5: Provete composto por resíduos grossos das escombreliras das Minas da Panasqueira, agregados de mármore e resina de poliéster

- Desempenho ao Fogo;
- Condutividade Térmica.

Para além de verificar estas características atrás mencionadas, a declaração de conformidade, caso viessem a ser produzidas, deve conter [20]:



Figura 4.6: Provete composto por resíduos grossos e finos das escombreyras das Minas da Panasqueira e resina



Figura 4.7: Provete composto por resíduos grossos e finos das escombreyras das Minas da Panasqueira e resina

- Nome e endereço do fabricante, ou do seu representante autorizado estabelecido no EEE, e o local de produção;
- Descrição do produto (tipo, identificação, utilização, ...) e uma cópia das informações apenas à marcação CE;
- Disposições com as quais o produto está conforme, ou seja, a EN 13748-2;

- Condições particulares aplicáveis à utilização do produto (se necessário);
- Nome e posto ocupado pela pessoa autorizada a assinar a declaração em nome do fabricante ou do seu representante autorizado;

A marcação CE e as informações que devem aparecer na embalagem e/ou nos documentos comerciais apensos são [20]:

- Nome ou marca de identificação do fabricante/fornecedor;
- Dois últimos dígitos do ano de aposição da marcação;
- Número desta Norma (EN 13748-2);
- Tipo do produto e utilização prevista;
- Informação das suas características
 - Reacção ao fogo;
 - Comportamento ao fogo exterior;
 - Resistência às intempéris;
 - Resistência à tracção por flexão;
 - Resistência ao escorregamento/deslizamento;
 - Condutibilidade térmica (quando relevante);
 - O "Desempenho não determinado"(NPD).

Em complemento o produto deve ser acompanhado de informação sobre substâncias perigosas e sua legislação.

4.4.1 Requisitos Geométricos

Os requisitos geométricos para este tipo de unidades de revestimento são impostos de acordo com a Norma EN 13748-2 [20]. São eles: a Espessura; Desvios Dimensionais e Tolerâncias de formatos.

Para Unidades de revestimento de camada única não são aplicáveis requisitos para a espessura. Neste trabalho as dimensões adoptadas para as unidades de revestimento em estudo foram de $4 \times 30 \times 30$ [cm].

Se a superfície das unidades contém saliências, sulcos ou outras características superficiais, a espessura mínima da face superior desde o topo dos sulcos até ao topo da face superior deve ser 2mm. As unidades de revestimento concebidas para este estudo obedecem a este requisito, pois a granulometria usada para elaborar estas unidades permitiu uma compactação razoável e é relativamente extensa.

Os desvios permitidos para unidades de revestimento correspondem aos desvios das dimensões após o teste de de acordo com as dimensões de fabricação requeridas pelo fabricante.

4.5 Preparação dos Provetes de Ensaio

Antes de elaborar o provete foram necessários alguns procedimentos, tais como a preparação do resíduo grosso, do molde e da resina.

4.5.1 Preparação do Resíduo Grosso

O resíduo grosso que foi transportado da escombreira, após a exploração de volfrâmio e outros minerais nas Minas da Panasqueira, esteve até à sua utilização em vasilhas, pelo qual ao fim de algum tempo os resíduos mais pequenos e os finos foram-se acumulando no fundo destas. E como tal, teve de se fazer uma preparação dos resíduos grossos a fim da mistura dos resíduos grossos com maiores dimensões e com menores dimensões ser homogénea e limpa de finos.

Como tal a amostra de resíduos grossos foi esquartelada com o esquartelador, conforme a norma NP EN 932-1, [21].

Limparam-se os resíduos grossos, Figura 4.8, com o compressor de ar para retirar os finos que estão agarrados ao resíduo grosso. Esta limpeza deve ser feita a seco, pois o objectivo é apenas retirar os finos de maior tamanho e não molhar o resíduo grosso (traria um maior custo à preparação do provete).

A limpeza com ar comprimido foi necessária para não alterar a coloração da resina e também para obter peças com a menor quantidade possível desta, pois quanto mais finos houver mais resina é necessária para elaborar os provetes.



Figura 4.8: Limpeza de finos dos resíduos grossos com Compressor a Ar

Verificou-se a presença de alguns agregados de maiores dimensões que foram retirados manualmente da mistura.

Retirou-se 5000cm³ de resíduo grosso, pesou-se, Figura 4.9 e colocou-se numa vasilha de metal, Figura 4.10. A vasilha tem de ser de metal, pois a resina reage com o plástico e

é de difícil remoção.



Figura 4.9: Pesagem dos resíduos grossos

4.5.2 Preparação do Molde

O molde utilizado para a realização dos provetes foi o molde utilizado na realização de provetes de pastas betuminosas, devido à sua robustez, Figura 4.11.

Limpou-se o molde de modo a retirar toda sujidade existente e colou-se fita gomada a fim de forrar todo o molde finalmente passou-se por cima da fita gomada sabão para que na fase de desmoldagem, esta fosse mais fácil.

Colocou-se o molde sobre a base de compactação e acima deste colocou-se a gola de protecção, para evitar a segregação de material para fora do molde e também para ajudar que o elemento compactador ficasse fixo.

4.5.3 Preparação da Resina

A preparação da resina foi feita segundo as informações do fabricante.

Pesaram-se todos os componentes da resina: activador, Figura 4.12, catalisador, Figura 4.13, e resina, Figura 4.14. Tendo o cuidado de separar o activador do catalisador, porque juntos podem provocar uma explosão, segundo o fabricante.

Misturou-se a resina com o activador energicamente para que se obtenha uma mistura homogénea e após esta mistura, misturou-se o catalisador, Figura 4.15.



Figura 4.10: Colocação dos resíduos grossos da vasilha metálica de mistura

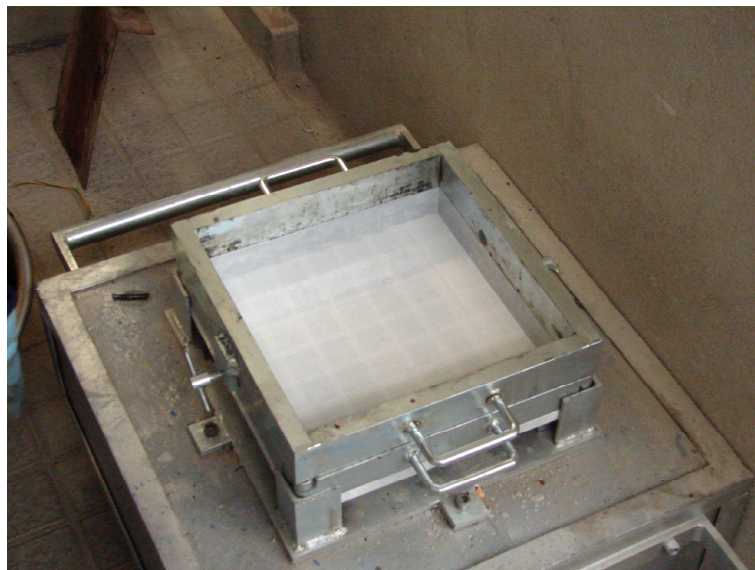


Figura 4.11: Molde utilizado

Segundo o fabricante, esta mistura não pode ser efectuada com um intervalo de tempo superior a vinte minutos, pois após este período de tempo a resina começa a polimerizar, o que foi seguido.



Figura 4.12: Pesagem do Activador



Figura 4.13: Pesagem do Catalisador

4.5.4 Preparação do Provette

Os provetes foram elaborados numa vasilha grande de metal, colocando em primeiro lugar o resíduo grosso.

Misturou-se a resina, com o resíduo grosso, com a ajuda de uma espátula, de modo a que o resíduo grosso ficasse completamente envolvido com a resina, Figura 4.16.

Após a mistura, retirou-se o resíduo grosso com a resina e transferiu-se para o molde, Figura 4.17, espalhando-a bem por todo o molde, para que ficasse uniformemente distri-



Figura 4.14: Pesagem da Resina



Figura 4.15: Mistura da Resina com o activador e catalisador

buída.

Foram elaborados provetes com 2,0%, 2,5%, 3,0% e 3,5% de resina, mas com uma maior percentagem, em volume, de resíduos grossos, para que fosse suficiente para encher o molde e prensar até que o resíduo grosso ficasse à superfície do molde.

Procedeu-se à compactação utilizando o mesmo procedimento para misturas betuminosas colocando o Elemento Compactador em cima do molde durante 75s, Figura 4.18.

Levantou-se o elemento compactador, rodou-se 90° e procedeu-se novamente à compactação durante 75s.



Figura 4.16: Mistura da Resina com o resíduo grosso



Figura 4.17: Transferência da mistura Resina e resíduos grossos para o molde de cura

A compactação deu-se por terminada após se verificar que o elemento compactador está o máximo possível nivelado na horizontal.

Esta compactação foi elaborada tendo em conta a norma espanhola NLT-173/00, [19], com adaptação aos provetes do caso de estudo.

Deixou-se curar o provete durante ± 24 h dentro do molde, a uma temperatura de $\pm 20^{\circ}\text{C}$, sem apanhar sol e em sítio seco e limpo, e após a cura desmoldou-se o provete com cuidado para que não se partisse. Nesta altura os provetes já apresentavam uma boa resistência. Então, deixou-se acabar de curar fora do molde, tendo em conta que a resina não fica

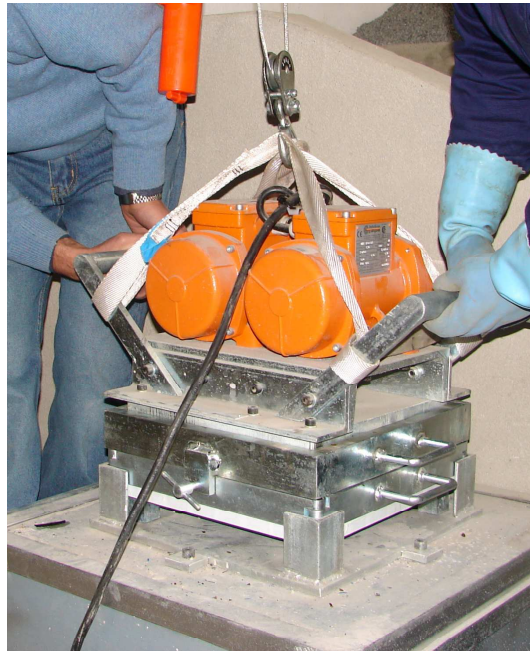


Figura 4.18: Colocação do Elemento Compactador

completamente seca ao fim das 24h, apesar de activada, Figura 4.19.



Figura 4.19: Cura do provete a temperatura ambiente

Cortaram-se os provetes a fim de elaborar os ensaios necessários, como é exigido na norma EN 13748-2, [20], Figura 4.20.



Figura 4.20: Corte dos provetes de ensaio

Ensaaios Realizados

Contents

5.1 Resistência à Flexão	31
5.2 Resistência à Compressão	32
5.3 Resistência ao Desgaste por Abrasão	32
5.3.1 Método do Disco de Abrasão Largo	32
5.3.2 Método de Böhme	32
5.4 Resistência ao Escorregamento/Deslizamento	32
5.5 Resistência às Intempéries	33
5.5.1 Absorção de Água	33
5.5.2 Resistência ao Gelo/Degelo	33
5.6 Desempenho ao Fogo	33
5.6.1 Reacção ao Fogo	33
5.7 Condutividade Térmica	34

Os provetes para serem testados devem ter a idade mínima de 28 dias de idade ou idade adequada para o uso declarado pelo fabricante [20].

5.1 Resistência à Flexão

O ensaio de Resistência à Flexão, Anexo C, foi realizado na Máquina de Ensaios Universal "ZWICK 1435", com célula de carga de 5kN e velocidade de teste 3mm/min. Após o ensaio, neste equipamento pode-se avaliar a máxima tensão que um provete de resíduos grossos e resina consegue suportar, em que é colocado um provete com as dimensões $4 \times 4 \times 16$ [cm] num suporte para os provetes, com dois roletes inferiores e um rolete superior. O provete é sujeito à aplicação de uma carga que vai aumentando gradualmente até este chegar à rotura e por sua vez é determinada a resistência à flexão de cada provetes.

Este ensaio foi efectuado de acordo com a norma NP EN 12390-5, [23]. Esta norma é utilizada como adaptação para este tipo de provetes, pois a norma refere-se a betão endurecido.

De acordo com a norma EN 13748-2, [20], a Classe de Resistência à Flexão das unidades de revestimento é Classe 1 e a sua marcação CE é Marcação ST.

5.2 Resistência à Compressão

A Resistência à Compressão consiste na implementação de uma carga de compressão, de forma gradual, até o provete atingir a sua rotura. É determinada como a carga máxima de compressão que o provete pode suportar, por unidade de área.

Foi determinada de acordo com a norma EN 12390-3 [24]. Este ensaio encontra-se descrito no Anexo D.

Dos resultados obtidos conclui-se que a Classe de Resistência à Compressão das unidades de revestimento é C10 (a resistência depende apenas da resistência dos agregados).

5.3 Resistência ao Desgaste por Abrasão

A Resistência ao Desgaste por Abrasão foi verificada através de dois métodos: O Método do Disco de Abrasão Largo e o Método de Böhme. Pelos resultados obtidos as unidades de revestimento têm Classe 1 e marcação CE, marcação F.

Neste trabalho foram efectuados os dois tipos de ensaios de Resistência à Abrasão, tendo em conta que as unidades de revestimento produzidas são de grande porosidade. Assim, podem-se comparar os valores de Resistência à Abrasão dos dois métodos e de forma a obter valores mais rigorosos para este ensaio. Estes ensaios encontram-se descritos no Anexo E.

5.3.1 Método do Disco de Abrasão Largo

Este ensaio consiste no desgaste por abrasão pela Máquina de Capon, da face superior do provete com um material abrasivo, através de um abrasímetro, que é constituído por um disco rotativo, uma tremonha com uma ou duas válvulas de regulação do débito de material abrasivo, um porta-provetes e um contrapeso. O abrasivo utilizado é Alumina branca fundida (Coríndon) de granulometria 80 [20].

5.3.2 Método de Böhme

O método a utilizar em revestimentos para uso externo, de acordo com a norma EN 13748-2, [20], para o ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão, é o Método de Böhme, mas tendo em conta que não foi possível utilizar o equipamento para o método referido, então utilizou-se o equipamento correspondente ao método de Amsler-Laffon.

5.4 Resistência ao Escorregamento/Deslizamento

As unidades de revestimento produzidas em laboratório contêm irregularidade superficial devido ao tamanho dos agregados (não são lineares), que provocam muito atrito, por exemplo no ensaio de Escorregamento/Deslizamento pelo Pêndulo de Fricção. Então, pode considerar-se que este produto satisfaz as necessidades sem ter que efectuar obrigatoriamente o ensaio de Escorregamento/Deslizamento, Anexo F.

No entanto, o ensaio de Resistência ao Escorregamento/Deslizamento foi efectuado através do Método de Determinação da Resistência ao Atrito em Superfícies Não Polidas (USRV), sendo que esta é efectuada através de um Pêndulo de Fricção.

5.5 Resistência às Intempéries

A Resistência às Intempéries foi testada através do ensaio de Absorção de Água e do Ensaio de Perda de massa após o teste da Resistência ao Gelo/Degelo, como descrito no Anexo G.

Tendo em conta que a Percentagem em Massa de Absorção de Água foi de $W_{h,24}=0,12\text{g/cm}^2$ e a Perda de Massa após teste de Resistência ao Gelo/Degelo foi nulo, a Classe de Resistência às Intempéries é Classe 2 e a sua marcação CE é Marcação B.

Esta classificação é feita de acordo com a norma EN 13748-2 [20].

5.5.1 Absorção de Água

O ensaio de Absorção de Água, Anexo G, dos provetes consiste na colocação de três provetes com as faces laterais seladas com silicone, apenas com a superfície superior destes imergida em água. Serve este ensaio para avaliar a sucção capilar da água ao longo da área de ensaio de cada um dos provetes.

O valor de absorção de água médio obtido foi de $W_{h,24}=0,12\text{g/cm}^2$ e o valor de capacidade de absorção obtido foi de $W_{m,a}=0,99\%$ em Massa. São valores muito baixos, pois os provetes são elaborados com resíduos grossos embebidos em resina o que impede que absorvam água porque estão impermeabilizados.

5.5.2 Resistência ao Gelo/Degelo

A determinação da Resistência ao Gelo/Degelo é feita através da colocação de um provete numa câmara de congelamento, submetendo-o a 28 ciclos de congelamento/descongelamento enquanto a superfície é coberta com 3% de solução de NaCl. Após os 28 ciclos de congelamento/descongelamento é retirado o material residual através de limpeza com água. Este é recolhido e pesado, expresso em kg/m^2 .

Após efectuar este ensaio verificou-se que não houve perda de massa, o que se pode concluir que este tipo de revestimento pode resistir a valores muito baixos de temperatura e também aos ciclos de congelação/descongelação.

5.6 Desempenho ao Fogo

5.6.1 Reacção ao Fogo

As unidades de revestimento para uso externo são consideradas como tendo Classe de reacção ao fogo A1fl, sem a necessidade de testes de acordo com a CE Decisão 96/603/EEC [20].

Mas tendo em conta que as unidades de revestimento elaboradas para este estudo de caso contêm resina, ou seja, poderão ser em parte inflamáveis, foi necessário verificar se estas têm reacção ao fogo.

5.7 Condutividade Térmica

Se as unidades de revestimento são para uso externo, destinados a contribuir para o desempenho térmico de um elemento, o fabricante deve declarar a condutividade térmica de acordo com a Norma EN 13369[20].

CAPÍTULO 6

Conclusões

Neste trabalho foi desenvolvida uma unidade de revestimento de base polimérica com resíduos das Minas da Panasqueira. Para que esta unidade de revestimento obtivesse marcação CE, foi necessário verificar as características físicas e mecânicas necessárias, sendo esta avaliada de acordo com a norma EN 13748-2.

A preocupação inicial foi a de obter coloração, brilho e textura com o objectivo de ter elevado valor arquitectónico ao mesmo tempo que se reaproveita e valoriza os resíduos grossos "envelhecidos" vindos das Minas da Panasqueira. Uma outra preocupação no desenvolvimento da unidade de pavimento foi a de que teria de ser elaborada a baixo custo e baixo gasto de energia.

Aquando do desenvolvimento das unidades de revestimento, foram estudadas as formas como teriam de ser elaboradas e optimizadas, tendo em conta a dosagem óptima de resina necessária para obter óptimas características físicas e mecânicas, coloração e brilho, assim como o tamanho e coloração mais adequados dos resíduos grossos utilizados. Após a realização dos protótipos, estes foram submetidos aos ensaios necessários para que fosse possível uma futura marcação CE. Os ensaios realizados foram os seguintes: Resistência à Flexão; Resistência à Compressão; Resistência ao Desgaste por Abrasão; Resistência ao Escorregamento/Deslizamento; Resistência às Intempéries, através dos ensaios de Absorção de Água e Resistência ao Gelo/Degelo; Desempenho ao Fogo; Condutividade Térmica. Destes ensaios resultaram valores que praticamente cumprem os requisitos da norma EN 13748-2, ou seja:

- A Resistência à Flexão foi de $f_{cf}=2,19\text{MPa}$;
- A Resistência à Compressão foi de $f_c=7,74\text{MPa}$;
- A Resistência ao Desgaste por Abrasão foi analisada através de dois métodos, o método do disco largo de abrasão, pelo qual se obteve o valor de resistência ao desgaste por abrasão $V_{A,D}=24,8\text{mm}$ e pelo método de Böhme, de onde resultou o valor $3,90\text{cm}^3/50\text{cm}^2$;
- A Resistência ao Escorregamento/Deslizamento foi de $C_R=45$;
- A Resistência às Intempéries, através dos ensaios de Absorção de Água foi $W_{h,24}=0,12\text{g/cm}^2$ e Resistência a Resistência ao Gelo/Degelo resultou num valor nulo;
- O Desempenho ao Fogo para revestimentos para uso externo não é necessário ensaiar;

- A Condutividade Térmica para revestimentos para uso externo não é necessário ensaiar.

ANEXOS

- Anexo A Análise Granulométrica
- Anexo B Massa Volúmica e Absorção de Água dos Resíduos Grossos
- Anexo C Resistência à Flexão
- Anexo D Resistência à Compressão
- Anexo E Resistência ao Desgaste por Abrasão
- Anexo F Resistência ao Escorregamento/Deslizamento
- Anexo G Resistência às Intempéries
- Anexo H Desempenho ao Fogo
- Anexo I Síntese dos Resultados para obtenção de Marcação CE

Análise Granulométrica

Para a realização da Análise Granulométrica foi necessário reduzir a amostra de ensaio em provetes de ensaio necessários, de acordo com a norma NP EN 932-1, [21], por esquadramento.

A análise granulométrica dos resíduos grossos foi feita pelo Método da Peneiração, seguindo a norma NP EN 933-1, [9], utilizando a série de peneiros ASTM de malha quadrada.

De acordo com a Norma, a máxima dimensão do resíduo grosso era $D=19\text{mm}$. Então a massa mínima do provete a ensaiar foi de 4,0kg.

Secou-se o provete de ensaio a uma temperatura de $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ até alcançar a massa constante, durante ± 24 horas.

Deixou-se arrefecer, pesou-se e registou-se o resultado como $M_{1,AG} = 14274\text{g}$. Para o procedimento de ensaio foram realizados os seguintes processos: Lavagem, Peneiração e Pesagem.

A.1 Lavagem

- Colocou-se o provete de ensaio num recipiente e adicionou-se água suficiente para o cobrir, Figura A.1;



Figura A.1: Suspensão de finos

- Agitou-se o provete de ensaio com vigor necessário para se obter a separação completa e suspensão dos finos;
- Molharam-se ambos os lados de um peneiro de $63\mu\text{m}$ usado exclusivamente neste ensaio e colocou-se por cima de um peneiro de protecção (de 1 ou 2mm);
- Colocaram os peneiros de forma que a suspensão que os atravessa possa ser despejada, ou se necessário recolhida num recipiente adequado;
- Despejou-se o provete de ensaio no peneiro superior;
- Continuou-se a lavagem até que a água que atravessa o peneiro de $63\mu\text{m}$ ficasse límpida, Figura A.2;



Figura A.2: Lavagem dos resíduos grossos

- Secou-se o material com granulometria superior a $63\mu\text{m}$ a $(110\pm 5)^\circ\text{C}$ até alcançar massa constante;
- Deixou-se arrefecer e registar o resultado como $M_{2,AG}=14200\text{g}$.

A.2 Peneiração

- Despejou-se o material lavado e seco na coluna de peneiros previamente encaixados de forma decrescente de dimensão das aberturas (0,063mm, 0,125mm, 0,250mm, 0,500mm, 1mm, 2mm, 4mm, 8mm, 16mm, 31,5mm, 63mm, 125mm), com o fundo e tampa (a lavagem não elimina totalmente os finos, sendo que é necessário incluir um peneiro de $63\mu\text{m}$ na coluna), Figura A.3;
- Agitou-se a coluna de peneiros, no agitador mecânico;



Figura A.3: Coluna de Peneiros ASTM

- Retiram-se os peneiros um a um, começando pelo de maior abertura, e agitam-se manualmente, garantindo que não existe perda de material, utilizando o fundo e tampa;
- Transferiu-se todo o material que passa através de cada peneiro para o peneiro seguinte da coluna antes de continuar a peneiração com este peneiro;
- Certificou-se se existe sobrecarga dos peneiros vendo que a fracção retida sobre cada peneiro.

A.3 Pesagem

- Pesou-se o material retido no peneiro com a maior dimensão das aberturas;
- Registou-se a massa do material com o valor R_1 ;
- Efectuou-se a mesma operação com os peneiros imediatamente inferiores e registou-se a massa do material retido como $R_2, R_3, R_4, \dots, R_n$;
- Pesou-se o material peneirado retido no fundo e registou-se a sua massa como P.

Os peneiros normalizados, previamente pesados em balança electrónica, dispuseram-se no agitador mecânico por ordem decrescente nos quais se colocou e submeteu a vibração durante 5 minutos. Terminada a peneiração pesou-se o material retido em cada peneiro.

A Percentagem de finos, f , que passa através do peneiro de $63\mu\text{m}$ de acordo com a seguinte equação:

$$f = \frac{M_{1,AG} - M_{2,AG} + P}{M_{1,AG}} \times 100 [\%] \quad (\text{A.1})$$

Onde:

$M_{1,AG}$ - Massa seca do provete de ensaio, em kg

$M_{2,AG}$ - Massa seca do material com granulometria superior a $63\mu\text{m}$, em kg

P - Massa do material peneirado retido no recipiente do fundo, em kg

Os resultados da granulometria encontram-se representados no gráfico elaborado a partir dos valores na Tabela A.1:

Tabela A.1: Percentagem de Material Retido nos Peneiros

Peneiro	Malha [mm]	R_n [kg]	% Material Retido	% Cumulativa do material passado	
3/4"	19,10	R ₁ 223,0	1,56	98,44	98
1/2"(*)	12,70	R ₂ 2550,1	17,86	82,14	82
3/8"	9,52	R ₃ 2640,4	18,49	81,51	82
4	4,76	R ₄ 4556,8	31,92	68,08	68
8	2,38	R ₅ 2574,3	18,03	81,97	82
16	1,19	R ₆ 969,1	6,79	93,21	93
30	0,59	R ₇ 302,0	2,12	97,88	98
50	0,297	R ₈ 192,0	1,35	98,65	99
100	0,149	R ₉ 80,3	0,56	99,44	99
200	0,074	R ₁₀ 16,0	0,18	99,82	100
Resíduo		P 11,8			

Para que o ensaio seja válido, foi necessário fazer a validação dos resultados, sendo este válido sempre que a soma das massas R_1 e P difira mais de 1% da massa $M_{2,AG}$. Se isto não se tivesse verificado, teria de repetir o ensaio, o que não foi necessário.

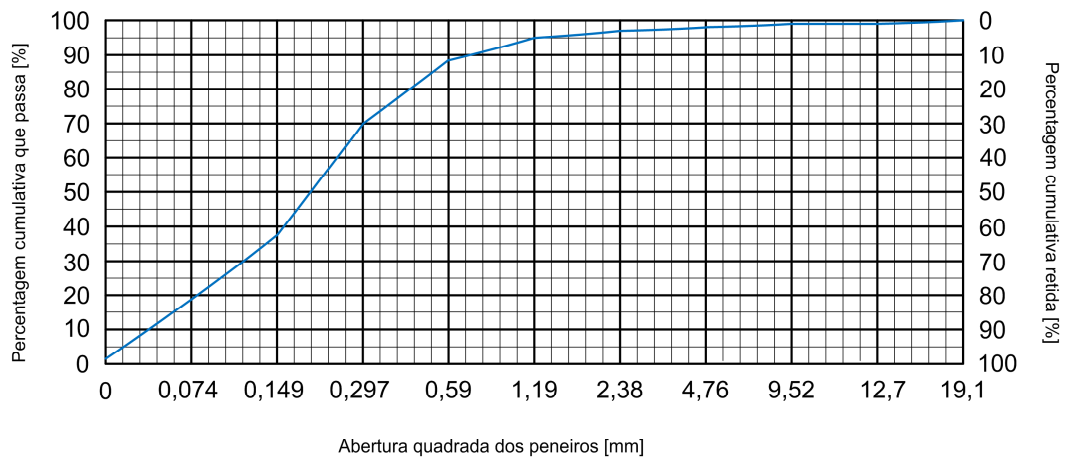


Figura A.4: Curva Granulométrica

Massa Volúmica e Absorção de Água dos Resíduos Grossos

A determinação da Massa Volúmica e Absorção de Água foram determinados de acordo com a Norma NP EN 1097-6, [14].

Este ensaio foi realizado para dois tipos de resíduo grosso: resíduo grosso oxidado das Minas da Panasqueira e resíduo grosso calcinado, a fim de comparar os valores da massa volúmica e da absorção de água.

A determinação da massa volúmica e da absorção da água foi efectuada através do Método do Picnómetro para partículas de resíduo grosso de dimensão entre 0,063mm e 4mm, pois as dimensões dos resíduos grossos que temos em laboratório são menores do que as dimensões requeridas para o Método do cesto de rede metálica para partículas de resíduo grosso de dimensão entre 31,5mm e 63mm.

Como no nos laboratórios os peneiros que existem, ainda não são os que constam nesta norma o intervalo de dimensões das partículas a utilizar foi o de 0,060mm a 4,75mm.

Para proceder ao Ensaio foi necessário fazer uma preparação do provete de ensaio, como tal, foi feita uma amostragem do resíduo grosso de acordo com a Norma NP EN 932-1, [21] e depois reduzida de acordo com a Norma NP EN 932-2, [22], com massa igual ou superior a 1kg.

O provete foi lavado sobre o peneiro de 4mm e sobre o peneiro de 0,063mm de modo a remover as partículas mais finas e depois pesado.

Massa total do provete de Resíduos Grossos Oxidados das Minas da Panasqueira:

$$M_{A.M.P.} = 1271,2\text{g.}$$

Massa total do provete de Resíduos Grossos Calcinaados das Minas da Panasqueira:

$$M_{A.M.P.C} = 1288,7\text{g.}$$

Rejeitaram-se as partículas retidas do peneiro de 4mm.

B.0.1 Procedimento do Ensaio

O provete depois de preparado, foi imerso no picnómetro com água a $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$, Figuras B.1 e B.2;

Eliminou-se o ar ocluído fazendo rodar e agitando cuidadosamente o picnómetro em posição inclinada;

Colocou-se o picnómetro em Banho-Maria de modo a manter o provete a uma temperatura de $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$ durante $(24\pm 0,5)\text{h}$, Figura B.3;



Figura B.1: Preparação do provete para imersão

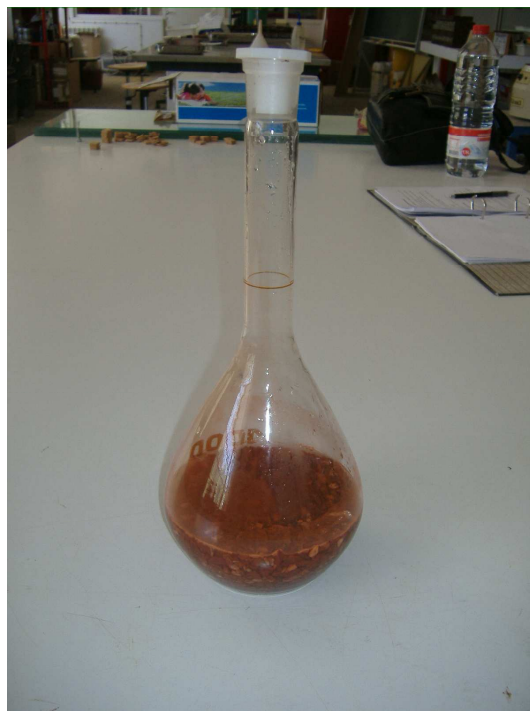


Figura B.2: Provete preparado para imersão



Figura B.3: Picnómetro com o provete em Banho-Maria

No fim do período de imersão, retirou-se o picnómetro e removeu-se todo o ar ocluído fazendo rodar e agitar cuidadosamente o picnómetro;

Fez-se transbordar o picnómetro por adição de água e colocou-se a tampa sem deixar ar dentro do picnómetro, Figura B.4;

Secou-se o picnómetro por fora, pesou-se como M_2 e registou-se a temperatura da água, Tabela B.1;

Tabela B.1: Massa do Picnómetro com os resíduos grossos imersos em água

	Resíduos Grossos Oxidados das Minas da Panasqueira	Resíduos Grossos Calcina-dos das Minas da Panas-queira
M_2 [Mg]	0,0015586	0,0015788
T_2 [°C]	22,3	22,7

Decantou-se a maior parte da água que cobre o provete e esvaziou-se o picnómetro sobre um tabuleiro;

Encheu-se de novo o picnómetro com água e colocou-se a tampa como anteriormente;

Secou-se o picnómetro por fora e pesou-se como M_3 e registou-se a temperatura da água, Tabela B.2;

Nota: De acordo com a norma a diferença dos valores da temperatura da água dentro do picnómetro durante as pesagens de M_2 e M_3 não deve exceder 2°C

Espalhou-se o provete molhado numa camada uniforme sobre a base do tabuleiro;



Figura B.4: Adição de água ao provete até transbordar o picnómetro

Tabela B.2: Massa do Picnómetro

	Resíduos Grossos Oxidados das Minas da Panasqueira	Resíduos Grossos Calcina-dos das Minas da Panas-queira
M_3 [Mg]	0,0012426	0,0012416
T_3 [°C]	23,1	22,9

Expôs-se o resíduo grosso a uma leve corrente de ar morno de modo a evaporar a humidade superficial;

Remexeu-se o provete em intervalos frequentes de modo a assegurar uma secagem homogénea até que não fosse visível humidade superficial e as partículas do resíduo grosso não aderissem umas às outras, Figura B.5;

Deixou-se arrefecer o provete até temperatura ambiente, remexendo-o durante o processo;

Depois de avaliar que o estado da superfície seca foi atingido, colocou-se o molde troncocónico de metal com a maior abertura virada para baixo, sobre a base do tabuleiro;

Encheu-se livremente o molde troncocónico com parte do provete em processo de secagem;

Utilizou-se o pilão para apiloar levemente a superfície com 25 pancadas sobre a abertura superior do molde não completando o enchimento após o apiloamento;

Levantou-se delicadamente o molde e verificou-se se o resíduo grosso manteve a forma

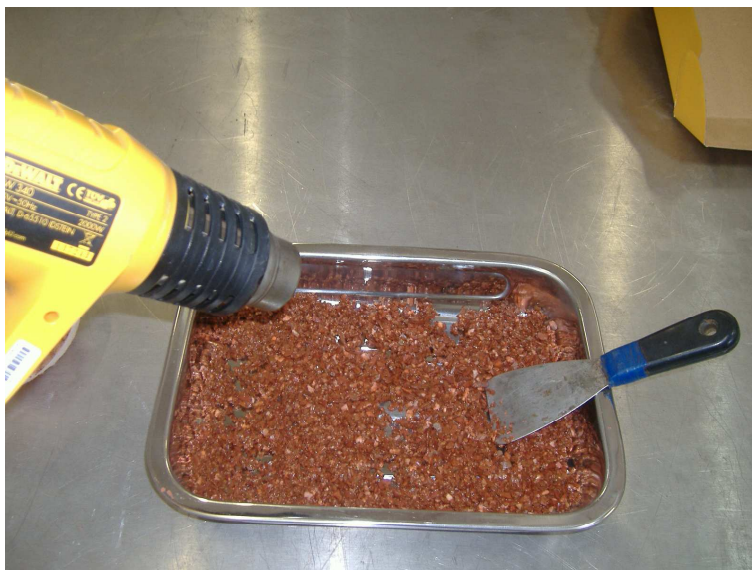


Figura B.5: Secagem superficial dos resíduos grossos

truncocónica, caso não tivesse acontecido teria de se prosseguir com o processo de secagem e repetir o ensaio do cone de resíduo grosso se deforme após desmoldagem.

Pesou-se o provete saturado com superfície seca como M_1 , Tabela B.3:

Tabela B.3: Massa dos resíduos grossos saturados, com a superfície seca

	Resíduos Grossos Oxidados das Minas da Panasqueira	Resíduos Grossos Calcina-dos das Minas da Panas-queira
M_1 [Mg]	0,0004916	0,0005271

Secou-se o resíduo grosso numa estufa ventilada à temperatura de $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ até massa constante, Figura B.6;

Registou-se a massa como M_4 , Tabela B.4:

Tabela B.4: Massa dos resíduos grossos saturados, com a superfície seca

	Resíduos Grossos Oxidados das Minas da Panasqueira	Resíduos Grossos Calcina-dos das Minas da Panas-queira
M_4 [Mg]	0,0004904	0,0005268

Todas as massas devem ser registadas com exactidão igual ou superior a 0,1% da massa do provete (M_4)

Os resultados pretendidos de Massa Volúmica e Absorção de Água encontram-se na Tabela B.5. Estes valores foram verificados segundo a norma:

Onde:



Figura B.6: Secagem do resíduo grosso na estufa

Tabela B.5: Massa volúmica dos Resíduos Grossos e Absorção de água

	Resíduos Grossos Oxidados das Minas da Panasqueira	Resíduos Grossos Calcina-dos das Minas da Panas-queira
ρ_a [Mg/m ³]	2,81	2,78
ρ_{rd} [Mg/m ³]	2,79	2,77
ρ_{ssd} [Mg/m ³]	2,80	2,78
WA_{24} [%]	0,24	0,06
Validação dos Resultados	2,80	2,78

ρ_a - Massa volúmica do material impermeável das partículas

ρ_{rd} - Massa volúmica das partículas secas em estufa

ρ_{ssd} - Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca

WA_{24} - Absorção da água

Resistência à Flexão

O ensaio de resistência à flexão foi realizado conforme a norma NP EN 12390-5, [23], na Máquina de Ensaio Universal "ZWICK 1435", com Célula de Carga de 5kN e Velocidade de Teste 3mm/min, Figura C.1.



Figura C.1: Máquina de Ensaio Universal "ZWICK 1435", com Célula de Carga de 5kN e Velocidade de Teste 3mm/min

C.1 Preparação dos Provetes

Os provetes de ensaio devem ser prismas, com as dimensões de acordo com a norma NP EN 12390-1, [25]. Estes foram cortados e nivelados nas superfícies irregulares, em laboratório, de modo a obter as dimensões $4 \times 4 \times 16$ [cm].

Antes da aplicação da carga:

- Limpam-se as superfícies dos provetes de ensaio, de modo a retirar algum resíduo destes, antes de os colocar na máquina de ensaio;

- Limpam-se cuidadosamente todas as superfícies da máquina de ensaio e removeram-se quaisquer resíduos ou outro material estranho das superfícies dos provetes que iam estar em contacto com os roletes;
- Colocou-se cada provete de ensaio na máquina, correctamente centrado e com o eixo longitudinal do provete perpendicular ao eixo longitudinal dos roletes superior e inferior;
- Assegurou-se que a direcção de referência de aplicação da carga era perpendicular à direcção de moldagem do provete.

C.2 Aplicação da Carga

Antes da aplicação da carga e da colocação dos provetes no dispositivo para aplicação de cargas, foi necessário ajustar a máquina, de acordo com as dimensões dos provetes a ensaiar. Este ajuste foi feito tendo em conta que os roletes deveriam estar em contacto efectivo com o provete.

Assegurou-se que a máquina estava ajustada de modo que todos os roletes estarem em contacto efectivo com o provete;

Seleccionou-se uma velocidade constante de aplicação da tensão dentro do intervalo 0,04 a 0,06 [MPa/s] ou [N/mm²· s]

Aplicou-se uma carga sem choques e aumentou-se de forma contínua, a uma taxa constante de $\pm 1\%$ até que não fosse possível aplicar uma carga maior.



Figura C.2: Ensaio de Resistência à Flexão

A velocidade de aplicação da carga requerida para a máquina de ensaio é dada pela fórmula:

$$R = \frac{s \cdot d_1 \cdot d_2^2}{I} = \frac{0,04 \cdot 40 \cdot 40^2}{120} = 21,3 \text{ N/s.} \quad (\text{C.1})$$

Onde:

R - velocidade de aplicação da carga requerida, em [N/s]

s - velocidade de aplicação da tensão, em [MPa/s] ou [N/mm² · s]

d_1 e d_2 - dimensões laterais do provete, em [mm]

I - espaçamento dos roletes inferiores, em [mm]

Registrou-se a carga máxima indicada de cada provete e determinou-se a Resistência à Flexão, com aproximação de 0,1MPa.

A Resistência à Flexão é dada pela seguinte equação:

$$f_{cf} = \frac{F \cdot I}{d_1 \cdot d_2^2} \text{ [MPa].} \quad (\text{C.2})$$

Onde:

f_{cf} - resistência à flexão, em [MPa] ou [N/mm²]

F - carga máxima, em [N]

I - distância entre os roletes inferiores de apoio, em [mm]

d_1 e d_2 - dimensões laterais do provete, em [mm]

Tabela C.1: Resistência à Flexão para Placa 1, com 2,0% de Resina

Placa 1					
Provete	F [N]	I [mm]	d_1 [mm]	d_2 [mm]	f_{cf} [MPa]
P1A	1637,1	100	40	40	2,56
P1B	666,2	100	40	40	1,04
P1C	691,9	100	40	40	1,08
P1D	1314,6	100	40	40	2,05
P1E	858,3	100	40	40	1,34
P1F	758,4	100	40	40	1,19
P1G	697,6	100	40	40	1,09
P1H	577,3	100	40	40	0,90
P1I	505,9	100	40	40	0,79
P1J	703,4	100	40	40	1,10
P1K	638,7	100	40	40	1,00
P1L	501,8	100	40	40	0,78
				Média	1,24
				Máxima	2,56

Tabela C.2: Resistência à Flexão para Placa 2, com 2,5% de Resina

Placa 2					
Provete	F [N]	I [mm]	d_1 [mm]	d_2 [mm]	f_{cf} [MPa]
P2A	917,8	100	40	40	1,43
P2B	1073,3	100	40	40	1,68
P2C	853,8	100	40	40	1,33
P2D	1093,1	100	40	40	1,71
P2E	873,6	100	40	40	1,37
P2F	923,5	100	40	40	1,44
P2G	1073,3	100	40	40	1,68
P2H	958,1	100	40	40	1,50
P2I	1054,1	100	40	40	1,65
P2J	1022,7	100	40	40	1,60
P2K	944,6	100	40	40	1,48
				Média	1,53
				Máxima	1,71

Tabela C.3: Resistência à Flexão para Placa 3, com 3,0% de Resina

Placa 3					
Provete	F [N]	I [mm]	d_1 [mm]	d_2 [mm]	f_{cf} [MPa]
P3A	1370,9	100	40	40	2,14
P3B	996,5	100	40	40	1,56
P3C	1411,8	100	40	40	2,21
P3D	1242,9	100	40	40	1,94
P3E	1235,2	100	40	40	1,93
P3F	1368,3	100	40	40	2,14
P3G	1498,9	100	40	40	2,34
P3H	1408,0	100	40	40	2,20
P3I	1045,8	100	40	40	1,63
P3J	1139,8	100	40	40	1,78
P3K	1329,9	100	40	40	2,08
P3L	1524,5	100	40	40	2,38
				Média	2,03
				Máxima	2,38

Tabela C.4: Resistência à Flexão para Placa 4, com 3,5% de Resina

Placa 4					
Provete	F [N]	I [mm]	d_1 [mm]	d_2 [mm]	f_{cf} [MPa]
P4A	1578,2	100	40	40	2,47
P4B	1127,7	100	40	40	1,76
P4C	1255,7	100	40	40	1,96
P4D	1889,3	100	40	40	2,95
P4E	1181,4	100	40	40	1,85
P4F	1617,9	100	40	40	2,53
P4G	1292,2	100	40	40	2,02
P4H	1116,2	100	40	40	1,74
P4I	1536,0	100	40	40	2,40
P4J	1379,8	100	40	40	2,16
P4K	1189,8	100	40	40	1,86
P4L	1619,2	100	40	40	2,53
				Média	2,19
				Máxima	2,95

Tabela C.5: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P1A

Provete P1A					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
74,6	0,002	485,1	0,152	1100,2	0,302
101,9	0,012	509,1	0,162	1129,0	0,312
116,2	0,022	555,8	0,172	1178,9	0,322
133,6	0,032	600,6	0,182	1222,4	0,332
155,0	0,042	628,8	0,192	1251,2	0,342
171,8	0,052	678,4	0,202	1299,2	0,352
188,5	0,062	721,3	0,212	1347,8	0,362
212,3	0,072	752,0	0,222	1396,5	0,372
240,8	0,082	801,9	0,232	1423,4	0,382
279,2	0,092	848,0	0,242	1472,0	0,392
308,3	0,102	899,2	0,252	1511,7	0,402
338,9	0,112	926,7	0,262	1556,7	0,412
371,8	0,122	976,6	0,272	1579,5	0,422
411,8	0,132	1001,6	0,282	1619,2	0,432
439,4	0,142	1052,8	0,292	1637,1	0,442

Tabela C.6: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete PIB

Provete PIB					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
43,7	0,004	294,6	0,134	666,2	0,264
53,6	0,014	323,5	0,144	666,2	0,274
64,3	0,024	360,6	0,154	644,5	0,284
82,6	0,034	397,8	0,164	625,3	0,294
99,3	0,044	421,8	0,174	611,2	0,304
118,3	0,054	446,1	0,184	575,4	0,314
136,2	0,064	486,7	0,194	549,8	0,324
158,3	0,074	523,8	0,204	538,2	0,334
170,1	0,084	547,5	0,214	512,6	0,344
188,0	0,094	587,8	0,224	476,5	0,354
216,2	0,104	613,4	0,234	453,8	0,364
239,8	0,114	633,3	0,244	412,5	0,374
266,1	0,124	666,2	0,254		

Tabela C.7: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete PIC

Provete PIC					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
25,3	0,004	231,2	0,144	610,2	0,284
40,7	0,014	254,9	0,154	646,1	0,294
50,0	0,024	285,3	0,164	662,4	0,304
62,8	0,034	309,0	0,174	691,9	0,314
75,1	0,044	333,1	0,184	689,3	0,324
85,8	0,054	357,4	0,194	671,4	0,334
91,2	0,064	388,8	0,204	652,2	0,344
108,6	0,074	409,3	0,214	639,4	0,354
131,0	0,084	444,5	0,224	561,3	0,364
145,5	0,094	476,8	0,234	522,9	0,374
159,8	0,104	495,0	0,244	503,7	0,384
176,0	0,114	529,0	0,254	438,1	0,394
190,9	0,124	546,9	0,264	423,4	0,404
216,5	0,134	579,8	0,274		

Tabela C.8: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P1D

Provete P1D					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
28,7	0,003	412,5	0,173	1046,4	0,343
36,7	0,013	454,1	0,183	1093,8	0,353
51,9	0,023	477,1	0,193	1136,0	0,363
76,2	0,033	520,6	0,203	1164,2	0,373
94,8	0,043	561,0	0,213	1203,8	0,383
114,8	0,053	587,5	0,223	1241,0	0,393
132,6	0,063	631,4	0,233	1270,4	0,403
148,2	0,073	672,6	0,243	1287,0	0,413
168,8	0,083	701,4	0,253	1314,6	0,423
186,4	0,093	744,3	0,263	1231,4	0,433
205,3	0,103	787,8	0,273	1004,8	0,443
229,3	0,113	834,6	0,283	940,2	0,453
263,2	0,123	858,9	0,293	909,4	0,463
282,4	0,133	904,3	0,303	841,6	0,473
311,5	0,143	947,8	0,313	807,0	0,483
350,4	0,153	974,7	0,323		
387,5	0,163	1022,1	0,333		

Tabela C.9: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P1E

Provete P1E					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
55,7	0,008	318,4	0,128	694,4	0,248
73,2	0,018	347,8	0,138	725,1	0,258
92,3	0,028	385,3	0,148	741,8	0,268
117,7	0,038	409,3	0,158	774,4	0,278
135,6	0,048	453,1	0,168	801,9	0,288
151,9	0,058	491,2	0,178	818,6	0,298
168,2	0,068	516,8	0,188	840,3	0,308
191,0	0,078	559,0	0,198	858,3	0,318
206,1	0,088	596,2	0,208	842,9	0,328
229,8	0,098	620,5	0,218	819,8	0,338
264,2	0,108	660,5	0,228		
290,1	0,118	686,7	0,238		

Tabela C.10: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P1F

Provete P1F					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
50,9	0,009	247,2	0,129	587,8	0,249
62,0	0,019	271,2	0,139	607,4	0,259
73,2	0,029	296,5	0,149	640,3	0,269
84,6	0,039	322,7	0,159	658,6	0,279
102,3	0,049	356,8	0,169	688,6	0,289
113,8	0,059	389,1	0,179	717,4	0,299
130,2	0,069	411,2	0,189	733,4	0,309
148,4	0,079	433,3	0,199	758,4	0,319
162,2	0,089	468,2	0,209	718,7	0,329
178,4	0,099	500,8	0,219	659,2	0,339
195,0	0,109	521,9	0,229		
217,1	0,119	556,2	0,239		

Tabela C.11: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P1G

Provete P1G					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
31,0	0,005	340,8	0,165	689,3	0,325
39,4	0,015	363,8	0,175	697,0	0,335
56,3	0,025	394,9	0,185	689,3	0,345
73,4	0,035	416,3	0,195	674,6	0,355
93,0	0,045	448,6	0,205	585,6	0,365
113,4	0,055	466,2	0,215	561,3	0,375
132,6	0,065	498,9	0,225	533,8	0,385
154,2	0,075	530,9	0,235	519,0	0,395
165,0	0,085	551,0	0,245	509,4	0,405
181,1	0,095	582,1	0,255	496,0	0,415
204,0	0,105	610,6	0,265	479,7	0,425
224,5	0,115	630,1	0,275	468,8	0,435
246,7	0,125	662,4	0,285	450,6	0,445
269,6	0,135	666,2	0,295	440,6	0,455
291,7	0,145	682,9	0,305	427,5	0,465
319,8	0,155	697,6	0,315		

Tabela C.12: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P1H

Provete P1H					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
38,0	0,007	183,8	0,097	434,6	0,187
47,3	0,017	210,1	0,107	454,7	0,197
63,2	0,027	232,8	0,117	489,6	0,207
75,3	0,037	257,8	0,127	521,0	0,217
92,7	0,047	283,7	0,137	534,1	0,227
117,4	0,057	318,4	0,147	563,8	0,237
135,0	0,067	336,3	0,157	577,3	0,247
150,0	0,077	363,8	0,167	568,6	0,257
166,1	0,087	397,4	0,177		

Tabela C.13: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P1I

Provete P1I					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
30,6	0,002	211,7	0,142	505,9	0,282
36,8	0,012	228,6	0,152	503,0	0,292
45,6	0,022	248,8	0,162	494,1	0,302
53,6	0,032	270,2	0,172	476,2	0,312
63,3	0,042	292,8	0,182	465,6	0,322
74,8	0,052	315,4	0,192	463,7	0,332
92,6	0,062	340,2	0,202	462,4	0,342
103,5	0,072	364,2	0,212	456,6	0,352
119,9	0,082	396,5	0,222	453,1	0,362
139,4	0,092	417,9	0,232	448,3	0,372
151,8	0,102	452,5	0,242	445,8	0,382
164,3	0,112	484,8	0,252	441,9	0,392
177,6	0,122	497,9	0,262		
190,9	0,132	499,8	0,272		

Tabela C.14: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P1J

Provete P1J					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
18,8	0,009	199,2	0,129	411,8	0,249
26,8	0,019	214,1	0,139	449,9	0,259
37,4	0,029	228,0	0,149	486,1	0,269
50,8	0,039	240,8	0,159	508,8	0,279
71,4	0,049	193,1	0,169	546,2	0,289
87,2	0,059	213,3	0,179	579,2	0,299
104,8	0,069	237,9	0,189	598,7	0,309
123,0	0,079	265,8	0,199	633,6	0,319
139,5	0,089	293,9	0,209	663,7	0,329
153,8	0,099	322,9	0,219	684,2	0,339
168,5	0,109	351,4	0,229	703,4	0,349
181,9	0,119	388,2	0,239		

Tabela C.15: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P1K

Provete P1K					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
30,5	0,005	230,9	0,145	490,6	0,285
26,2	0,015	249,9	0,155	505,0	0,295
39,7	0,025	269,4	0,165	522,9	0,305
49,6	0,035	286,9	0,175	525,8	0,315
66,6	0,045	307,7	0,185	531,5	0,325
90,8	0,055	328,3	0,195	551,0	0,335
108,5	0,065	347,2	0,205	569,6	0,345
125,8	0,075	365,1	0,215	578,9	0,355
140,6	0,085	389,1	0,225	593,9	0,365
153,0	0,095	405,8	0,235	605,1	0,375
169,6	0,105	425,3	0,245	626,9	0,385
182,7	0,115	438,7	0,255	636,2	0,395
195,2	0,125	449,0	0,265	638,7	0,405
209,1	0,135	469,8	0,275		

Tabela C.16: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P1L

Provete P1L					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
24,3	0,001	147,6	0,141	445,1	0,281
29,6	0,011	161,4	0,151	462,4	0,291
32,6	0,021	178,2	0,161	479,0	0,301
37,4	0,031	201,3	0,171	489,6	0,311
48,1	0,041	220,6	0,181	501,8	0,321
55,7	0,051	242,6	0,191	501,8	0,331
62,2	0,061	265,3	0,201	499,2	0,341
59,4	0,071	294,9	0,211	466,2	0,351
69,0	0,081	317,0	0,221	417,3	0,361
84,4	0,091	340,8	0,231	398,4	0,371
97,0	0,101	364,8	0,241	377,0	0,381
110,2	0,111	393,3	0,251	361,9	0,391
123,4	0,121	412,8	0,261		
135,5	0,131	431,4	0,271		

Tabela C.17: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2A

Provete P2A					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
19,0	0,001	387,8	0,171	896,0	0,341
30,1	0,011	426,6	0,181	865,3	0,351
49,9	0,021	448,0	0,191	852,5	0,361
67,9	0,031	487,4	0,201	812,2	0,371
88,3	0,041	509,4	0,211	791,0	0,381
108,6	0,051	551,0	0,221	759,0	0,391
127,9	0,061	589,1	0,231	740,5	0,401
147,0	0,071	614,4	0,241	713,6	0,411
163,8	0,081	656,0	0,251	694,4	0,421
184,5	0,091	695,0	0,261	682,9	0,431
202,2	0,101	718,7	0,271	663,0	0,441
223,4	0,111	759,7	0,281	646,4	0,451
247,5	0,121	798,7	0,291	622,1	0,461
272,5	0,131	822,4	0,301	597,8	0,471
305,8	0,141	863,4	0,311	579,8	0,481
324,6	0,151	883,8	0,321		
352,0	0,161	917,8	0,331		

Tabela C.18: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2B

Provete P2B					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
26,6	0,002	385,3	0,162	889,6	0,322
38,9	0,012	407,7	0,172	928,0	0,332
55,6	0,022	445,8	0,182	947,8	0,342
74,8	0,032	480,6	0,192	982,4	0,352
102,2	0,042	503,4	0,202	1013,8	0,362
116,9	0,052	539,5	0,212	1033,8	0,372
136,6	0,062	558,4	0,222	1059,2	0,382
158,3	0,072	593,9	0,232	1072,0	0,392
174,9	0,082	629,1	0,242	1073,3	0,402
192,3	0,092	652,2	0,252	885,1	0,412
213,8	0,102	693,8	0,262	791,7	0,422
237,8	0,112	730,2	0,272	755,8	0,432
271,8	0,122	772,5	0,282	706,6	0,442
297,3	0,132	796,2	0,292	678,4	0,452
324,5	0,142	835,8	0,302	657,9	0,462
351,4	0,152	871,7	0,312		

Tabela C.19: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2C

Provete P2C					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
32,1	0,005	277,9	0,115	589,4	0,215
49,5	0,015	315,5	0,125	627,5	0,225
71,1	0,025	343,7	0,135	663,0	0,235
94,5	0,035	372,8	0,145	682,9	0,245
125,0	0,045	409,3	0,155	719,4	0,255
139,7	0,055	433,3	0,165	750,1	0,265
158,6	0,065	472,3	0,175	770,6	0,275
182,7	0,075	492,5	0,185	803,8	0,285
200,2	0,085	531,5	0,195	822,4	0,295
223,4	0,095	566,7	0,205	853,8	0,305
249,3	0,105				

Tabela C.20: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2D

Provete P2D					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
34,5	0,008	383,7	0,168	810,2	0,328
54,0	0,018	405,4	0,178	835,2	0,338
67,4	0,028	440,0	0,188	849,9	0,348
87,2	0,038	459,5	0,198	876,2	0,358
113,6	0,048	494,1	0,208	891,5	0,368
131,8	0,058	527,4	0,218	922,9	0,378
148,8	0,068	548,5	0,228	951,0	0,388
164,3	0,078	584,3	0,238	969,0	0,398
181,3	0,088	616,6	0,248	997,8	0,408
203,8	0,098	638,1	0,258	1023,4	0,418
223,5	0,108	673,3	0,268	1039,4	0,428
246,7	0,118	702,7	0,278	1061,8	0,438
270,9	0,128	719,4	0,288	1069,4	0,448
302,9	0,138	745,6	0,298	1083,5	0,458
327,7	0,148	769,3	0,308	1092,5	0,468
351,7	0,158	784,6	0,318	1093,1	0,478

Tabela C.21: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2E

Provete P2E					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
43,4	0,008	265,8	0,118	600,3	0,228
63,2	0,018	291,5	0,128	622,7	0,238
80,1	0,028	317,8	0,138	659,2	0,248
99,6	0,038	352,0	0,148	684,8	0,258
119,2	0,048	384,6	0,158	707,2	0,268
141,4	0,058	406,7	0,168	742,4	0,278
156,2	0,068	430,4	0,178	776,3	0,288
172,8	0,078	468,5	0,188	797,4	0,298
191,5	0,088	503,4	0,198	831,4	0,308
210,9	0,098	526,7	0,208	857,0	0,318
241,6	0,108	564,8	0,218	873,6	0,328

Tabela C.22: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2F

Provete P2F					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
51,4	0,001	294,7	0,131	681,6	0,261
54,8	0,011	321,1	0,141	714,9	0,271
63,3	0,021	347,8	0,151	737,3	0,281
78,0	0,031	382,7	0,161	769,3	0,291
97,1	0,041	404,2	0,171	800,6	0,301
117,9	0,051	441,3	0,181	818,6	0,311
143,3	0,061	475,5	0,191	844,8	0,321
157,5	0,071	497,0	0,201	866,6	0,331
175,8	0,081	533,4	0,211	879,4	0,341
196,2	0,091	567,4	0,221	904,3	0,351
223,2	0,101	589,4	0,231	918,4	0,361
244,8	0,111	626,2	0,241	923,5	0,371
268,6	0,121	644,8	0,251		

Tabela C.23: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2G

Provete P2G					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
29,0	0,009	324,5	0,179	769,9	0,349
46,4	0,019	338,2	0,189	803,8	0,359
61,5	0,029	357,4	0,199	835,8	0,369
78,3	0,039	382,4	0,209	857,0	0,379
95,0	0,049	413,4	0,219	889,0	0,389
110,2	0,059	430,7	0,229	908,8	0,399
120,3	0,069	462,7	0,239	937,6	0,409
134,9	0,079	493,4	0,249	963,8	0,419
153,2	0,089	513,3	0,259	977,9	0,429
166,6	0,099	546,2	0,269	1001,6	0,439
182,6	0,109	564,5	0,279	1022,1	0,449
198,4	0,119	598,4	0,289	1041,6	0,459
216,0	0,129	631,0	0,299	1050,2	0,469
241,3	0,139	650,9	0,309	1065,0	0,479
259,4	0,149	686,1	0,319	1068,2	0,489
279,2	0,159	719,4	0,329	1073,3	0,499
299,2	0,169	752,6	0,339	1047,0	0,509

Tabela C.24: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2H

Provete P2H					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
30,4	0,009	355,8	0,179	809,0	0,339
52,2	0,019	382,4	0,189	828,2	0,349
69,0	0,029	400,3	0,199	860,8	0,359
87,2	0,039	419,2	0,209	889,0	0,369
105,2	0,049	450,6	0,219	912,0	0,379
127,0	0,059	479,7	0,229	922,9	0,389
137,9	0,069	501,1	0,239	929,9	0,399
151,0	0,079	536,6	0,249	932,5	0,409
167,4	0,089	571,2	0,259	941,4	0,419
182,2	0,099	593,3	0,269	950,4	0,429
199,8	0,109	631,4	0,279	953,6	0,439
217,4	0,119	650,6	0,289	958,1	0,449
234,4	0,129	688,6	0,299	956,8	0,459
261,0	0,139	721,9	0,309	953,6	0,469
282,4	0,149	741,1	0,319	919,7	0,479
305,0	0,159	777,0	0,329	854,4	0,489
327,7	0,169				

Tabela C.25: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2I

Provete P2I					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
18,8	0,004	308,8	0,174	863,4	0,334
20,8	0,014	328,3	0,184	869,8	0,344
26,8	0,024	365,1	0,194	899,8	0,354
36,1	0,034	425,6	0,204	928,0	0,364
43,1	0,044	457,6	0,214	947,2	0,374
56,0	0,054	493,1	0,224	972,2	0,384
74,3	0,064	516,8	0,234	988,2	0,394
87,7	0,074	555,8	0,244	1013,8	0,404
111,8	0,084	577,0	0,254	1034,2	0,414
125,1	0,094	616,6	0,264	1040,6	0,424
147,2	0,104	656,0	0,274	1045,1	0,434
166,4	0,114	681,0	0,284	1051,5	0,444
178,4	0,124	723,2	0,294	1054,1	0,454
200,3	0,134	762,9	0,304	1052,8	0,464
225,9	0,144	787,2	0,314	1028,5	0,474
256,3	0,154	828,8	0,324	1006,1	0,484
274,2	0,164				

Tabela C.26: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2J

Provete P2J					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
36,7	0,001	298,4	0,151	714,2	0,301
43,6	0,011	325,4	0,161	744,3	0,311
56,4	0,021	341,8	0,171	764,8	0,321
67,0	0,031	371,2	0,181	797,4	0,331
87,7	0,041	418,6	0,191	812,4	0,341
108,4	0,051	448,3	0,201	844,8	0,351
121,4	0,061	464,3	0,211	875,5	0,361
142,3	0,071	493,8	0,221	893,4	0,371
161,0	0,081	511,4	0,231	916,5	0,381
172,6	0,091	542,4	0,241	940,8	0,391
192,0	0,101	573,1	0,251	970,8	0,401
203,5	0,111	592,6	0,261	984,3	0,411
228,0	0,121	626,6	0,271	1011,8	0,421
253,3	0,131	657,9	0,281	1022,7	0,431
269,9	0,141	679,0	0,291		

Tabela C.27: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P2K

Provete P2K					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
36,4	0,005	331,8	0,185	803,8	0,365
45,0	0,015	342,4	0,195	819,8	0,375
61,4	0,025	354,9	0,205	851,2	0,385
71,0	0,035	396,5	0,215	877,4	0,395
89,3	0,045	341,7	0,225	898,6	0,405
106,6	0,055	451,2	0,235	902,4	0,415
118,2	0,065	486,1	0,245	919,7	0,425
137,4	0,075	520,0	0,255	930,6	0,435
154,1	0,085	541,4	0,265	939,5	0,445
163,8	0,095	577,3	0,275	930,6	0,455
179,8	0,105	609,9	0,285	933,8	0,465
189,8	0,115	629,1	0,295	938,9	0,475
212,5	0,125	662,4	0,305	944,6	0,485
237,8	0,135	693,8	0,315	940,8	0,495
255,7	0,145	713,0	0,325	932,5	0,505
273,0	0,155	744,3	0,335	916,5	0,515
295,4	0,165	757,8	0,345	895,4	0,525
309,4	0,175	774,4	0,355		

Tabela C.28: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3A

Provete P3A					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
51,5	0,009	325,1	0,159	867,8	0,309
59,4	0,019	346,6	0,169	912,6	0,319
73,2	0,029	386,2	0,179	956,2	0,329
91,4	0,039	450,2	0,189	983,0	0,339
107,8	0,049	490,9	0,199	1029,8	0,349
118,5	0,059	529,0	0,209	1070,7	0,359
120,1	0,069	553,9	0,219	1097,6	0,369
129,1	0,079	596,5	0,229	1141,8	0,379
149,3	0,089	634,9	0,239	1182,1	0,389
167,5	0,099	660,5	0,249	1209,0	0,399
179,8	0,109	698,9	0,259	1250,6	0,409
202,7	0,119	734,7	0,269	1289,0	0,419
230,6	0,129	757,1	0,279	1313,3	0,429
265,3	0,139	800,0	0,289	1351,7	0,439
286,1	0,149	842,2	0,299	1370,9	0,449

Tabela C.29: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3B

Provete P3B					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
46,0	0,001	302,2	0,131	687,4	0,251
62,9	0,011	321,9	0,141	713,0	0,261
78,6	0,021	353,9	0,151	756,5	0,271
91,8	0,031	401,0	0,161	796,8	0,281
114,3	0,041	436,8	0,171	824,3	0,291
136,0	0,051	457,0	0,181	869,1	0,301
149,1	0,061	495,4	0,191	909,4	0,311
170,2	0,071	515,8	0,201	936,3	0,321
181,3	0,081	555,5	0,211	977,9	0,331
202,1	0,091	592,6	0,221	996,5	0,341
225,6	0,101	616,3	0,231	975,4	0,351
242,1	0,111	653,4	0,241	973,4	0,361
271,7	0,121				

Tabela C.30: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3C

Provete P3C					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
59,1	0,008	382,7	0,158	944,6	0,298
72,6	0,018	449,3	0,168	993,9	0,308
80,2	0,028	473,6	0,178	1038,1	0,318
98,9	0,038	515,5	0,188	1065,6	0,328
110,1	0,048	555,5	0,198	1113,6	0,338
132,3	0,058	581,8	0,208	1159,0	0,348
150,4	0,068	626,6	0,218	1187,8	0,358
162,6	0,078	669,4	0,228	1234,6	0,368
184,5	0,088	698,9	0,238	1279,4	0,378
206,1	0,098	744,3	0,248	1308,2	0,388
223,2	0,108	789,1	0,258	1350,4	0,398
255,0	0,118	819,2	0,268	1388,8	0,408
288,0	0,128	868,5	0,278	1411,8	0,418
310,2	0,138	915,2	0,288	1377,3	0,428
347,2	0,148				

Tabela C.31: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3D

Provete P3D					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
76,1	0,010	361,0	0,180	924,8	0,350
87,4	0,020	413,4	0,190	966,4	0,360
104,6	0,030	432,3	0,200	992,0	0,370
110,1	0,040	436,2	0,210	1034,2	0,380
128,3	0,050	458,9	0,220	1054,1	0,390
143,0	0,060	495,7	0,230	1093,1	0,400
151,8	0,070	532,5	0,240	1107,8	0,410
167,2	0,080	556,2	0,250	1093,1	0,420
185,4	0,090	596,2	0,260	1066,2	0,430
196,3	0,100	618,2	0,270	1116,8	0,440
218,2	0,110	659,8	0,280	1169,3	0,450
239,4	0,120	700,2	0,290	1191,7	0,460
254,1	0,130	725,1	0,300	1226,9	0,470
277,4	0,140	769,3	0,310	1242,9	0,480
290,9	0,150	811,5	0,320	1170,6	0,490
319,0	0,160	857,0	0,330	1079,0	0,500
344,3	0,170	880,6	0,340	1018,2	0,510

Tabela C.32: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3E

Provete P3E					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
47,4	0,010	534,1	0,180	1135,4	0,350
71,9	0,020	574,1	0,190	1177,6	0,360
86,6	0,030	611,2	0,200	1214,1	0,370
116,8	0,040	635,5	0,210	1235,2	0,380
142,4	0,050	677,1	0,220	1225,0	0,390
158,6	0,060	714,2	0,230	1224,3	0,400
178,9	0,070	738,6	0,240	1235,2	0,410
204,5	0,080	782,7	0,250	1228,8	0,420
221,6	0,090	806,4	0,260	1201,9	0,430
253,8	0,100	850,6	0,270	1143,7	0,440
272,2	0,110	893,4	0,280	1131,5	0,450
308,0	0,120	919,0	0,290	1099,5	0,460
344,3	0,130	963,8	0,300	961,3	0,470
367,0	0,140	1006,1	0,310	898,6	0,480
432,6	0,150	1049,0	0,320	863,4	0,490
472,3	0,160	1070,1	0,330	798,7	0,500
509,8	0,170	1113,6	0,340	770,6	0,510

Tabela C.33: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3F

Provete P3F					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
50,1	0,009	493,8	0,149	1075,8	0,279
78,6	0,019	537,9	0,159	1107,2	0,289
107,5	0,029	567,0	0,169	1162,2	0,299
126,1	0,039	615,4	0,179	1210,9	0,309
151,0	0,049	663,0	0,189	1241,0	0,319
171,7	0,059	695,0	0,199	1291,5	0,329
187,5	0,069	747,5	0,209	1322,2	0,339
215,5	0,079	798,1	0,219	1344,0	0,349
247,4	0,089	830,7	0,229	1368,3	0,359
269,8	0,099	887,0	0,239	1365,8	0,369
309,4	0,109	937,0	0,249	1344,0	0,379
347,2	0,119	970,2	0,259	1312,0	0,389
373,1	0,129	1025,3	0,269	1301,8	0,399
447,7	0,139				

Tabela C.34: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3G

Provete P3G					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
66,6	0,006	506,2	0,156	1088,6	0,296
93,3	0,016	548,5	0,166	1115,5	0,306
111,1	0,026	594,6	0,176	1166,1	0,316
139,1	0,036	619,5	0,186	1211,5	0,326
150,9	0,046	667,5	0,196	1260,2	0,336
172,0	0,056	693,8	0,206	1284,5	0,346
193,9	0,066	742,4	0,216	1331,2	0,356
210,7	0,076	786,6	0,226	1372,2	0,366
242,9	0,086	816,6	0,236	1397,8	0,376
275,5	0,096	866,6	0,246	1436,2	0,386
312,0	0,106	913,9	0,256	1468,2	0,396
332,2	0,116	964,5	0,266	1488,2	0,406
371,2	0,126	991,4	0,276	1498,9	0,416
436,8	0,136	1041,9	0,286	1491,2	0,426
462,4	0,146				

Tabela C.35: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3H

Provete P3H					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
114,2	0,002	451,2	0,142	1010,6	0,282
97,7	0,012	476,8	0,152	1041,9	0,292
111,2	0,022	519,7	0,162	1090,6	0,302
122,2	0,032	561,3	0,172	1136,6	0,312
138,6	0,042	588,2	0,182	1166,1	0,322
165,0	0,052	635,5	0,192	1212,8	0,332
187,5	0,062	680,3	0,202	1256,3	0,342
201,6	0,072	710,4	0,212	1282,6	0,352
217,4	0,082	760,3	0,222	1323,5	0,362
248,6	0,092	787,2	0,232	1359,4	0,372
282,2	0,102	837,1	0,242	1378,6	0,382
304,6	0,112	882,6	0,252	1408,0	0,392
344,3	0,122	912,6	0,262	1399,0	0,402
382,1	0,132	963,8	0,272		

Tabela C.36: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3I

Provete P3I					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
54,1	0,001	365,1	0,121	844,2	0,231
79,1	0,011	433,1	0,131	874,2	0,241
96,5	0,021	477,4	0,141	925,4	0,251
124,9	0,031	501,4	0,151	970,2	0,261
138,6	0,041	547,8	0,161	1018,2	0,271
159,8	0,051	591,7	0,171	1036,8	0,281
182,7	0,061	640,3	0,181	1045,8	0,291
210,9	0,071	667,5	0,191	1001,0	0,301
227,7	0,081	718,1	0,201	979,8	0,311
263,5	0,091	745,6	0,211	903,0	0,321
300,0	0,101	797,4	0,221	867,8	0,331
324,0	0,111				

Tabela C.37: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3J

Provete P3J					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
53,5	0,008	332,8	0,128	807,7	0,248
67,0	0,018	370,6	0,138	856,3	0,258
92,6	0,028	438,4	0,148	881,3	0,268
107,0	0,038	464,0	0,158	926,7	0,278
133,4	0,048	506,9	0,168	970,9	0,288
156,6	0,058	547,5	0,178	999,7	0,298
169,4	0,068	574,7	0,188	1045,8	0,308
191,7	0,078	620,2	0,198	1085,4	0,318
217,6	0,088	661,8	0,208	1125,1	0,328
237,0	0,098	689,3	0,218	1139,8	0,338
273,3	0,108	734,7	0,228	1125,1	0,348
293,8	0,118	779,5	0,238		

Tabela C.38: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3K

Provete P3K					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
68,4	0,009	353,9	0,179	873,0	0,339
75,7	0,019	409,3	0,189	906,9	0,349
89,6	0,029	443,5	0,199	929,3	0,359
102,7	0,039	475,5	0,209	965,8	0,369
111,4	0,049	497,0	0,219	1000,3	0,379
127,0	0,059	533,4	0,229	1021,4	0,389
143,3	0,069	552,3	0,239	1057,3	0,399
154,6	0,079	588,8	0,249	1088,6	0,409
165,4	0,089	622,1	0,259	1114,9	0,419
182,9	0,099	643,5	0,269	1155,8	0,429
200,3	0,109	677,1	0,279	1178,2	0,439
212,8	0,119	711,7	0,289	1218,6	0,449
232,6	0,129	748,8	0,299	1255,7	0,459
257,6	0,139	771,2	0,309	1276,8	0,469
287,4	0,149	811,5	0,319	1309,4	0,479
304,0	0,159	833,3	0,329	1329,9	0,489
336,6	0,169				

Tabela C.39: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P3L

Provete P3L					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
44,6	0,003	434,2	0,153	1031,0	0,303
66,2	0,013	476,8	0,163	1080,3	0,313
80,9	0,023	518,4	0,173	1130,2	0,323
105,8	0,033	545,0	0,183	1157,8	0,333
129,7	0,043	589,8	0,193	1205,1	0,343
152,9	0,053	633,0	0,203	1232,6	0,353
163,1	0,063	663,0	0,213	1280,0	0,363
183,4	0,073	709,1	0,223	1326,1	0,373
195,2	0,083	737,3	0,233	1354,2	0,383
219,2	0,093	783,4	0,243	1396,5	0,393
249,0	0,103	829,4	0,253	1436,2	0,403
269,6	0,113	858,2	0,263	1460,5	0,413
306,2	0,123	907,5	0,273	1501,4	0,423
341,8	0,133	953,6	0,283	1524,5	0,433
365,4	0,143	983,0	0,293		

Tabela C.40: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P4A

Provete P4A					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
81,	0,010	409,3	0,120	1061,8	0,230
96,9	0,020	449,6	0,130	1101,4	0,240
116,4	0,030	518,4	0,140	1171,2	0,250
133,4	0,040	555,5	0,150	1237,1	0,260
152,2	0,050	625,3	0,160	1305,6	0,270
171,4	0,060	693,1	0,170	1337,6	0,280
193,0	0,070	737,3	0,180	1406,7	0,290
218,1	0,080	809,6	0,190	1465,6	0,300
251,7	0,090	878,7	0,200	1501,4	0,310
291,5	0,100	922,2	0,210	1557,8	0,320
351,0	0,110	995,2	0,220	1578,2	0,330

Tabela C.41: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P4B

Provete P4B					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
97,2	0,000	341,4	0,090	761,6	0,180
119,7	0,010	376,6	0,100	819,2	0,190
141,2	0,020	425,0	0,110	855,7	0,200
159,6	0,030	458,6	0,120	917,1	0,210
182,6	0,040	515,5	0,130	976,0	0,220
208,0	0,050	569,3	0,140	1013,1	0,230
249,0	0,060	604,8	0,150	1075,8	0,240
277,0	0,070	667,5	0,160	1127,7	0,250
308,8	0,080	700,2	0,170	1107,2	0,260

Tabela C.42: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P4C

Provete P4C					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
55,4	0,010	370,9	0,120	842,2	0,220
78,7	0,020	419,8	0,130	879,4	0,230
103,8	0,030	448,3	0,140	944,0	0,240
129,8	0,040	498,2	0,150	1004,8	0,250
153,7	0,050	542,7	0,160	1066,2	0,260
181,6	0,060	574,1	0,170	1095,0	0,270
203,4	0,070	630,1	0,180	1145,6	0,280
231,8	0,080	686,1	0,190	1189,8	0,290
263,2	0,090	720,6	0,200	1216,6	0,300
297,6	0,100	783,4	0,210	1255,7	0,310
334,4	0,110				

Tabela C.43: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P4D

Provete P4D					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
81,2	0,000	688,6	0,140	1433,6	0,270
107,2	0,010	727,0	0,150	1489,9	0,280
142,9	0,020	798,7	0,160	1546,2	0,290
159,0	0,030	865,9	0,170	1603,8	0,300
177,4	0,040	910,1	0,180	1635,8	0,310
206,4	0,050	981,1	0,190	1687,0	0,320
238,9	0,060	1048,3	0,200	1737,0	0,330
282,7	0,070	1089,3	0,210	1765,1	0,340
330,2	0,080	1159,0	0,220	1815,0	0,350
379,5	0,090	1223,7	0,230	1862,4	0,360
444,2	0,100	1264,6	0,240	1872,6	0,370
483,5	0,110	1329,9	0,250	1889,3	0,380
552,6	0,120	1391,4	0,260	1870,1	0,390
617,9	0,130				

Tabela C.44: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P4E

Provete P4E					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
111,9	0,010	419,5	0,130	881,3	0,250
130,7	0,020	452,2	0,140	928,0	0,260
148,3	0,030	508,2	0,150	969,0	0,270
164,2	0,040	537,3	0,160	995,2	0,280
181,3	0,050	582,7	0,170	1037,4	0,290
205,6	0,060	610,2	0,180	1075,2	0,300
226,1	0,070	643,8	0,190	1098,2	0,310
253,6	0,080	695,7	0,200	1132,8	0,320
284,3	0,090	737,9	0,210	1145,0	0,330
308,8	0,100	765,4	0,220	1166,7	0,340
347,2	0,110	811,5	0,230	1181,4	0,350
387,8	0,120	853,8	0,240	1161,0	0,360

Tabela C.45: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P4F

Provete P4F					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
60,7	0,010	503,0	0,140	1279,4	0,270
82,9	0,020	569,3	0,150	1345,3	0,280
113,3	0,030	632,3	0,160	1409,3	0,290
135,2	0,040	673,9	0,170	1437,4	0,300
155,0	0,050	745,0	0,180	1491,2	0,310
176,3	0,060	809,0	0,190	1541,1	0,320
200,3	0,070	881,3	0,200	1569,3	0,330
233,4	0,080	918,4	0,210	1612,8	0,340
271,0	0,090	992,6	0,220	1617,9	0,350
312,0	0,100	1059,8	0,230	1529,6	0,360
370,2	0,110	1104,6	0,240	1440,0	0,370
427,5	0,120	1175,7	0,250	1382,4	0,380
464,6	0,130	1241,0	0,260		

Tabela C.46: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P4G

Provete P4G					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
106,7	0,010	346,9	0,130	861,4	0,250
121,1	0,020	381,8	0,140	918,4	0,260
135,3	0,030	429,8	0,150	954,2	0,270
148,4	0,040	461,8	0,160	1017,0	0,280
158,7	0,050	508,2	0,170	1073,9	0,290
173,4	0,060	553,6	0,180	1113,6	0,300
190,6	0,070	584,0	0,190	1172,5	0,310
208,5	0,080	638,1	0,200	1219,8	0,320
236,8	0,090	689,3	0,210	1273,0	0,330
259,0	0,100	719,4	0,220	1292,2	0,340
286,6	0,110	773,1	0,230	1287,7	0,350
315,8	0,120	803,2	0,240		

Tabela C.47: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P4H

Provete P4H					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
86,4	0,010	439,7	0,130	982,4	0,250
103,9	0,020	473,3	0,140	1026,6	0,260
126,1	0,030	509,8	0,150	1052,2	0,270
156,4	0,040	570,2	0,160	1088,0	0,280
169,9	0,050	628,5	0,170	1108,5	0,290
186,7	0,060	664,3	0,180	1116,2	0,300
211,2	0,070	722,6	0,190	1114,2	0,310
234,1	0,080	767,4	0,200	1105,9	0,320
260,5	0,090	798,1	0,210	1100,8	0,330
293,8	0,100	853,8	0,220	1094,4	0,340
332,2	0,110	901,1	0,230	1085,4	0,350
387,8	0,120	931,8	0,240	1068,8	0,360

Tabela C.48: Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4I

Provete P4I					
<i>F</i> [N]	<i>L</i> [mm]	<i>F</i> [N]	<i>L</i> [mm]	<i>F</i> [N]	<i>L</i> [mm]
63,7	0,010	492,5	0,120	1097,0	0,220
89,1	0,020	559,7	0,130	1168,0	0,230
125,5	0,030	592,6	0,140	1213,4	0,240
147,5	0,040	661,8	0,150	1283,2	0,250
172,8	0,050	725,8	0,160	1345,3	0,260
200,6	0,060	768,0	0,170	1379,8	0,270
237,9	0,070	839,0	0,180	1423,4	0,280
294,1	0,080	909,4	0,190	1481,0	0,290
339,5	0,090	981,8	0,200	1510,4	0,300
388,5	0,100	1022,1	0,210	1536,0	0,310
453,1	0,110				

Tabela C.49: Valores de F[N] e L[mm] para o Provete P4J

Provete P4J					
<i>F</i> [N]	<i>L</i> [mm]	<i>F</i> [N]	<i>L</i> [mm]	<i>F</i> [N]	<i>L</i> [mm]
83,3	0,010	421,8	0,130	1061,1	0,250
106,7	0,020	453,8	0,140	1100,8	0,260
140,1	0,030	507,8	0,150	1172,5	0,270
159,8	0,040	559,7	0,160	1236,5	0,280
179,5	0,050	596,2	0,170	1299,8	0,290
192,6	0,060	657,9	0,180	1329,9	0,300
214,1	0,070	716,8	0,190	1379,8	0,310
252,2	0,080	778,9	0,200	1338,9	0,320
275,0	0,090	814,1	0,210	1356,8	0,330
309,1	0,100	881,9	0,220	1374,7	0,340
357,8	0,110	947,8	0,230	1262,1	0,350
391,0	0,120	991,4	0,240	1177,6	0,360

C.3 Classe de Resistência à Flexão

A Resistência máxima à flexão para a dosagem de 3,5% de resina foi de 2,95MPa e a resistência média à flexão foi de 2,19MPa. O valor mínimo exigido para esta classe de resistência é de 2,80MPa e o valor médio obtido foi de 2,19MPa, o que de momento não é suficiente para obter marcação CE pela Resistência à Flexão. Contudo como existem valores iguais e superiores a 2,80MPa, não será difícil em investigações futuras otimizar as misturas para obter a marcação CE.

Tabela C.50: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P4K

Provete P4K					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
88,1	0,010	224,8	0,160	732,8	0,310
68,2	0,020	230,9	0,170	787,8	0,320
87,4	0,030	266,9	0,180	832,0	0,330
105,0	0,040	295,5	0,190	867,8	0,340
119,7	0,050	332,8	0,200	926,1	0,350
133,7	0,060	372,2	0,210	972,2	0,360
149,1	0,070	422,1	0,220	1005,4	0,370
164,0	0,080	454,7	0,230	1065,6	0,380
187,0	0,090	509,4	0,240	1114,9	0,390
206,1	0,100	559,0	0,250	1143,0	0,400
229,1	0,110	450,9	0,260	1189,8	0,410
183,0	0,120	543,7	0,270	1186,6	0,420
215,8	0,130	580,5	0,280	1177,6	0,430
246,7	0,140	643,2	0,290	1168,0	0,440
236,3	0,150	699,5	0,300	1152,6	0,450

Tabela C.51: Valores de F [N] e L [mm] para o Provete P4L

Provete P4L					
F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]	F [N]	L [mm]
101,1	0,010	433,6	0,130	1152,6	0,240
99,1	0,020	476,8	0,140	1225,6	0,250
107,4	0,030	552,3	0,150	1274,9	0,260
117,7	0,040	623,0	0,160	1344,0	0,270
131,0	0,050	670,7	0,170	1406,7	0,280
148,6	0,060	747,5	0,180	1450,2	0,290
168,3	0,070	821,8	0,190	1520,6	0,300
192,6	0,080	868,5	0,200	1580,8	0,310
219,5	0,090	949,1	0,210	1603,8	0,320
261,6	0,100	1024,0	0,220	1617,9	0,330
311,4	0,110	1072,6	0,230	1619,2	0,340
363,5	0,120				

Resistência à Compressão

A Resistência à Compressão foi efectuada tendo em conta a norma EN 12390-3, [24]. É uma norma referente a ensaios de compressão do betão endurecido, pelo qual, foi usada como referência para o ensaio à compressão no provetes neste caso de estudo.

Os ensaios de compressão foram feitos até à rotura dos provetes, num equipamento conforme com a norma NP 12390-4, [26].

Os provetes a ensaiar, foram elaborados conforme o requerido na norma NP 12390-1, [25].

D.1 Preparação e Posicionamento do Provede na Máquina de Ensaio

Antes de colocar os provetes na máquina de ensaio foi necessário colocar um dispositivo de auxílio para o ensaio de compressão. Este dispositivo permite que o provede fique seguro e para além disso facilita o ensaio em si, pois o provede fica encostado às paredes do dispositivo auxiliar a fim de ele não se deslocar durante o ensaio.

Limparam-se todas as superfícies da máquina de ensaio e removeu-se qualquer resíduo das superfícies dos provetes, antes de colocar na máquina de ensaio.

Posicionou-se cada um dos provetes no dispositivo auxiliar, de forma a que a carga seja aplicada perpendicularmente às faces lisas dos provetes, tendo em conta que estes foram cortados de modo a terem as dimensões $4 \times 4 \times 16$, como mostra a Figura D.1.

D.2 Aplicação da Carga

Seleccionou-se uma velocidade constante de aplicação de carga de 0,3MPa/s, conforme a norma vigente NP 12390-3, [24].

Aplicou-se a carga sem choques e aumentou-se de forma contínua, à velocidade constante seleccionada $\pm 10\%$, até que não fosse possível aplicar uma carga maior, Figura D.2.

Tendo em conta que a máquina de ensaio é do tipo hidráulico, ou seja, que tem de ser controlada manualmente aquando da aplicação da carga, teve de se corrigir qualquer tendência para a velocidade de carga seleccionada decrescer à medida que se aproxima da rotura do provede, ajustando adequadamente os controlos da máquina.



Figura D.1: Provete posicionado na máquina de ensaio



Figura D.2: Ensaio à compressão dos provetes

D.3 Resultados Obtidos

Os valores da Resistência à Compressão apresentam-se nas seguintes tabelas. É de notar que os provetes são um aglomerado de resíduos grossos e resina pelo que é fácil a desagregação dos resíduos grossos do provete. Devido a essa desagregação dos resíduos grossos alguns dos provetes deixam de ter as dimensões de $4 \times 4 \times 16$ [cm].

Para que se obtenha uma média de valores coerente, tendo em conta a forma irregular de alguns provetes, estes apenas foram ensaiados apenas nas faces regulares e completas.

A Resistência à Compressão é dada pela seguinte equação:

$$f_c = \frac{F_c}{A_c} \text{ [MPa]} \quad (\text{D.1})$$

Onde:

f_c - Resistência à compressão em [MPa]

F_c - Carga máxima à rotura [N]

A_c - Área da secção transversal do provete na qual a força de compressão foi aplicada [mm²]

Os valores obtidos do ensaio serão apresentados nas seguintes tabelas:

Tabela D.1: Resistência à Compressão para a Placa 1, com 2,0% de Resina

Provete	F_c [N]	f_c [MPa]
P1A	15,4	9,63
P1B	17,2	10,75
P2B	10,3	6,44
P3A	8,2	5,13
P4B	16,3	10,19
P5A	9,1	5,69
P5B	10,8	6,75
P7A	8,5	5,31
P8A	8,4	5,25
P11A	10,4	6,50
P11B	12,7	7,94
	Média	7,23
	Máxima	10,75

D.4 Classe de Resistência à Compressão

Após a análise dos valores médios de resistência à compressão resultantes dos ensaios efectuados verificou-se que a variação destes valores médios era pequena. Também aquando do ensaio dos provetes se observou que estes entraram em rotura pelos resíduos grossos e não pela resina, portanto o valor a considerar foi o valor médio, ou seja, $f_c=7,74$ MPa.

Pelos resultados obtidos os provetes podem ser considerados como tendo Classe de Resistência à Compressão C10.

Tabela D.2: Resistência à Compressão para a Placa 2, com 2,5% de Resina

Provete	F_c [N]	f_c [MPa]
P16A	11,6	7,25
P16B	10,6	6,63
P17A	9,5	5,94
P18B	9,6	6,00
P19A	11,5	7,19
P19B	8,9	5,56
P20A	8,5	5,31
P20B	9,6	6,00
P21A	11,9	7,44
P21B	9,4	5,88
P22B	9,2	5,75
P25A	8,3	5,19
P26B	9,8	6,13
P27A	10,6	6,63
P28A	10,2	6,38
	Média	6,22
	Máxima	7,44

Tabela D.3: Resistência à Compressão para a Placa 3, com 3,0% de Resina

Provete	F_c [N]	f_c [MPa]
P29A	14,1	8,81
P29B	17,4	10,88
P30A	14,8	9,25
P30B	9,7	6,06
P31A	13,2	8,25
P31B	13,7	8,56
P32A	14,6	9,13
P32B	14,2	8,88
P33A	14,3	8,94
P33B	8,1	5,06
P34A	15,5	9,69
P34B	13,5	8,44
P35A	17,4	10,88
P35B	17,1	10,69
P36A	8,9	5,56
P36B	18,1	11,31
P37A	17,6	11,00
P37B	13,2	8,25
P38A	15,1	9,44
P38B	13,5	8,44
P39A	14,8	9,25
P39B	16,4	10,25
P40A	16,1	10,06
P40B	11,6	7,25
	Média	8,93
	Máxima	11,31

Resistência ao Desgaste por Abrasão

E.1 Método do Disco de Abrasão Largo

E.1.1 Calibração da Máquina

A calibração da máquina passa por vários procedimentos, tais como:

- Verificação do caudal de abrasivo através do vazamento do material, em que este deve ser de 2,5l/min
- Aferição do aparelho tomando como referência uma amostra chamada "Boullonnaise Marble";
- Ajuste do contrapeso e do porta-provetes de modo a que não haja atrito indevido;
- Medição do tamanho das ranhuras na "Boullonnaise Marble" para obtenção do factor de calibração.

E.1.2 Preparação do Provette

Cortaram-se vários provetes de ensaio de uma peça inteira com as dimensões 100 × 70 [mm].

Certificou-se que os provetes estavam secos e limpos de resíduos.

Certificou-se se a face superior, a face a ser ensaiada, é plana com uma tolerância de ± 1 mm, em duas direcções perpendiculares entre si.

E.1.3 Procedimento do Ensaio

Preencheu-se o funil de armazenamento com material abrasivo.

Posicionou-se o provete de ensaio sobre o porta-provetes e corrigiu-se a posição deste de modo a que o sulco produzido seja pelo menos a 15mm de qualquer bordo do provete e que permita que o caudal de abrasivo passe sobre o disco de abrasão.

Fez-se com que o provete entrasse em contacto com o disco de abrasão. Abriu-se a válvula de controle do caudal de abrasão e ligou-se simultaneamente o motor de modo a que o disco de abrasão alcançasse 75 revoluções em (60 ± 3) s.

Ao longo do ensaio, foi-se verificando a regularidade do caudal de material abrasivo.

Após as 75 voltas do disco parou-se o motor e o caudal de material abrasivo.

O ensaio da Resistência ao Desgaste pelo método do Disco de Abrasão Largo encontra-se representado na Figura E.1.



Figura E.1: Ensaio da Resistência ao Desgaste pelo Disco de Abrasão Largo

E.1.4 Medição do Sulco

Colocou-se o provete sobre uma lupa de ampliação nominal de $2\times$, para facilitar a medição do sulco.

Desenhou-se os limites externos (l_1 e l_2) do sulco utilizando um lápis e uma régua, tal como indica a Figura E.2.

Desenhou-se uma linha (AB) no meio do sulco, perpendicular à linha central deste.

Posicionou-se o paquímetro sobre os pontos A e B para o interior dos limites l_1 e l_2 do sulco e mediu-se a sua dimensão registando-se com a aproximação de $\pm 0,1\text{mm}$, como mostra na Figura E.3.

Esta medição anterior repetiu-se, mas nos pontos C e D, para obter três leituras.

E.1.5 Resultado do Ensaio

O resultado deste ensaio é dado pela dimensão corrigida pelo factor de calibração, arredondado com aproximação de $0,5\text{mm}$.

Sendo o Factor de Calibração dado por:

$$F_{CA} = 20,0 - V_C \text{ [mm]} \quad (\text{E.1})$$

Onde:

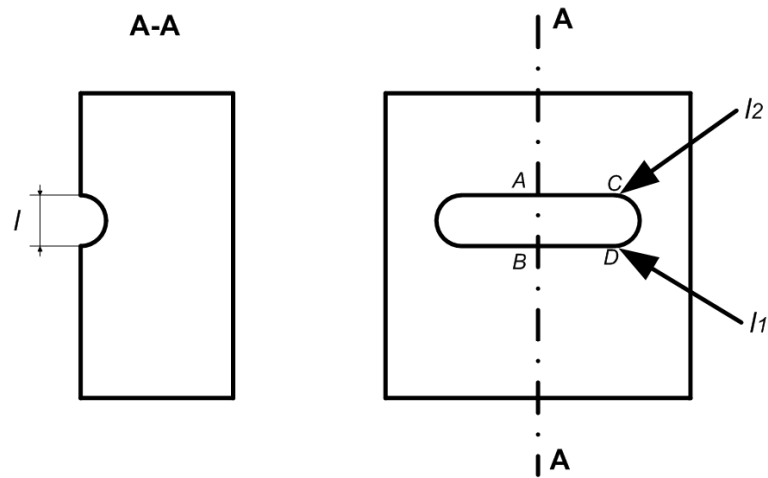


Figura E.2: Exemplo de provete ensaiado mostrando o sulco [mm]



Figura E.3: Medição do sulco resultante do desgaste efectuado pelo Disco de Abrasão Largo

F_{CA} - Factor de calibração [mm]

V_C - Valor de calibração dado pelo "Boulonhaise Marble"[mm]

O valor da abrasão do provete é dada por:

$$V_{AD} = V_S + F_{CA} \text{ [mm]} \quad (\text{E.2})$$

Onde:

V_{AD} - Valor da Abrasão pelo Disco de Abrasão [mm]

V_S - Dimensão do sulco [mm]

O resultado do valor de Resistência ao Desgaste por Abrasão a tomar, pelo método do

Tabela E.1: Dimensão do sulco entre os pontos AB, CD e C'D'

Provete	$V_{S,AB}$ [mm]	$V_{S,CD}$ [mm]	$V_{S,C'D'}$ [mm]	$V_{S,médio}$ [mm]
P1	21,3	21,2	21,2	21,2
P2	21,3	20,2	20,3	20,6
P3	24,7	24,4	24,3	24,5

Tabela E.2: Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método do Disco de Abrasão Largo

Provete	V_C [mm]	F_{CA} [mm]	V_S [mm]	V_{AD} [mm]
P1	19,7	0,3	21,2	21,5
P2	19,7	0,3	20,6	20,9
P3	19,7	0,3	24,5	24,8
			$V_{AD,max}$	24,8

Disco de Abrasão Largo, deve ser o valor máximo.

E.2 Método de Böhme

E.2.1 Preparação dos Provetes

Cortaram-se 4 provetes de uma lajeta com os comprimentos laterais 6×6 cm.

Verificou-se se a face superior, ou seja a face a ser ensaiada de cada provete, era plana e paralela à face oposta.

Antes de proceder ao ensaio secaram-se os provetes até massa constante à temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Determinou-se a densidade dos provetes, ρ_R , através de medições, com aproximação a 0,1mm, e por pesagens, aproximadamente a 0,1g.

A densidade dos provetes é dada por:

$$\rho_R = \frac{M_R}{V_R} \text{ [g/mm}^3\text{]} \quad (\text{E.3})$$

Onde:

ρ_R - Densidade do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão, em g/mm^3

M_R - Massa do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme, em g

V_R - Volume do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme, em mm^3

E.2.2 Procedimento do Ensaio

Colocou-se 20g de Abrasivo na pista de ensaio.

Fixaram-se os provetes no porta provetes, com a face de ensaio virada para a pista de ensaio, Figura E.4.

Tabela E.3: Densidade dos provetes para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme

	M_R [g]	∇_R [cm ³]	ρ_R [g/cm ³]
P1	339,7	161,97	2,10
P2	328,4	176,83	1,86
P3	411,3	221,48	1,86
P4	410,1	224,45	1,83



Figura E.4: Colocação do provete no Porta-Provetes

Carregou-se centralmente com uma carga de $(294 \pm 3)N$.

Ligou-se o disco, tendo o cuidado de que o abrasivo permanecia uniformemente distribuído na área de largura do provete, como mostra a Figura E.5.

Ao mesmo tempo que se ia colocando o abrasivo colocaram-se dois recipientes de bico ajustável a escorrer água a uma taxa de 180 a 200 gotas por minuto, distantes de 10cm à frente do provete a ser ensaiado, Figura E.6.

Parou-se o disco ao final de 16 ciclos efectuados.

No fim do ensaio mediram-se e pesaram-se os provetes novamente a fim de determinar a Perda de Volume de cada provete, Figura E.7.



Figura E.5: Distribuição do Abrasivo na Pista de Ensaio pelo Método de Böhme



Figura E.6: Pista de Ensaio pelo Método de Böhme

E.2.3 Determinação dos Resultados

O desgaste abrasivo após 16 ciclos, conforme a média de perda de volume do provete, é dado pela equação seguinte:



Figura E.7: Provetes desgastados após o ensaio pelo Método de Böhme

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_R} \text{ [g/mm}^3\text{]} \quad (\text{E.4})$$

Onde:

ΔV - Perda de volume do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme, em mm^3

Δm - Perda de massa do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme, em g

ρ_R - Densidade do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão, em g/mm^3

Tabela E.4: Perda de volume do provete para ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão pelo Método de Böhme

	Δm [g]	ρ_R [g/cm^3]	ΔV [cm^3]
P1	5,4	2,10	2,57
P2	5,6	1,86	3,02
P3	5,1	1,86	2,75
P4	5,3	1,83	2,90
		Média	2,81

O resultado do valor de Resistência ao Desgaste por Abrasão a tomar, pelo método do Disco de Böhme, deve ser o valor médio. O valor resultante foi $2,81\text{cm}^3/36\text{cm}^2$, mas de acordo com a norma este valor deve ser convertido para uma área de superfície de ensaio 50cm^2 , resultando então em $3,90\text{cm}^3/50\text{cm}^2$.

E.3 Classe de Resistência ao Desgaste por Abrasão

Tendo em conta os dois tipos de ensaio e avaliando os valores exigidos para a resistência ao desgaste por abrasão, de acordo com a norma EN 13748-2, [20] a Classe de Resistência ao Desgaste por Abrasão é Classe 1, tendo marcação CE, Marcação F, pois para o método do Disco de abrasão largo o valor médio resistência ao desgaste de abrasão resultou o valor de 24,8mm e o exigido, para esta classe de resistência era ≤ 26 mm e em alternativa para o método de Böhme o valor médio de resistência ao desgaste por abrasão foi de $3,90\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ e o exigido para esta classe de resistência era $26\text{cm}^3/50\text{cm}^2$.

Resistência ao Escorregamento/Deslizamento

F.1 Preparação dos Provetes

Obtiveram-se 5 provetes de uma amostra representativa para proceder ao ensaio.

Certificou-se se o recinto onde se efectuou o ensaio com o pêndulo de atrito se encontrava a uma temperatura constante de $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$.

Mergulharam-se os provetes em água potável a $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ durante duas horas, Figura F.1.



Figura F.1: Provete mergulhado em água a $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$

F.2 Procedimento do Ensaio

Colocou-se o pêndulo de atrito sobre uma superfície horizontal e regularam-se os parafusos de nivelamento de forma a que a coluna de suporte do pêndulo ficasse horizontal.

Levantou-se o eixo de oscilação do pêndulo para que o braço oscilasse livremente e regular ao atrito ao nível do mecanismo da agulha, de modo que quando o braço do pêndulo e a agulha são libertados da posição horizontal e à direita se vai imobilizar na posição zero da escala de ensaio.

Fixou-se o provete solidamente com a sua maior dimensão na trajectória do pêndulo, centrado em relação ao patim de borracha e ao eixo de oscilação do pêndulo, Figura F.2.



Figura F.2: Pêndulo de atrito e provete para ensaio de Resistência ao Escorregamento/Deslizamento

Garantiu-se que a trajectória do patim era paralela em relação ao eixo maior do provete em toda a distância de deslizamento.

Ajustou-se a altura do braço do pêndulo de forma que ao passar sobre o provete o patim de borracha esteja em contacto com ele em toda a largura do patim e de toda a distância de atrito especificada, Figura F.3.

Molhou-se bem as superfícies dos provetes e do patim com água, tomando o cuidado de não modificar a regulação do patim.

Libertou-se o pêndulo e a agulha da posição horizontal e reteve-se o braço do pêndulo na sua oscilação de regresso.

Registou-se a posição da agulha sobre a escala.

Esta operação efectuou-se cinco vezes, registando-se cada uma das leituras. Se as cinco leituras diferissem em mais do que três unidades, teria que se repetir o procedimento de ensaio até que três leituras sucessivas fossem constantes.

Neste caso de estudo foi necessário repetir o procedimento do ensaio.

F.3 Determinação da Resistência ao Escorregamento/Deslizamento da unidade de revestimento não polida, USRV

O USRV é o valor médio do ensaio do pêndulo obtido com os 5 provetes.



Figura F.3: Verificação do patim de borracha em contacto com o provete em toda a largura deste



Figura F.4: Ensaio de Resistência ao Escorregamento/Deslizamento

Tabela F.1: Coeficiente de Resistência ao Escorregamento/Deslizamento

Coeficiente de Resistência	Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4	Provete 5
$C_{R,1}$	62	53	47	48	44
$C_{R,2}$	52	49	45	47	43
$C_{R,3}$	48	48	43	45	43
$C_{R,4}$	46	47	42	44	43
$C_{R,5}$	45	46	42	44	43
$C_{R,6}$	44	45	41	43	
$C_{R,7}$	44	45	40	43	
$C_{R,8}$	43	45	40	43	
$C_{R,9}$	43		40	43	
Coeficiente de Resistência ao Escorregamento/Deslizamento: $C_R= 45$					

Resistência às Intempéries

G.1 Absorção de Água dos Provetes

G.1.1 Preparação dos Provetes

Certificou-se se a superfície dos três provetes eram planas e se tinham pelo menos uma área de 100cm².

Mediram-se as áreas da face de sucção dos provetes e registaram-se os valores como S .

Removeu-se toda a sujidade com uma escova dura.

Secou-se o provete a uma temperatura de $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ até massa constante, durante três dias.

Deixou-se arrefecer o provete até à temperatura ambiente.

Pesaram-se os provetes e registou-se a massa de cada um deles como m_d , em g. Esta massa ficou estabelecida como a massa seca decisiva.

G.1.2 Procedimento do Ensaio

Selaram-se as faces laterais do provete com silicone, de modo a ficarem impermeáveis.

Pesaram-se novamente os provetes e registou-se o valor da massa seca destes com as faces laterais seladas, como m_{ds} .

Imergiu-se o provete com a face superior para baixo num banho-Maria de $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$, mas para evitar a acumulação de ar o provete ficou imerso na posição oblíqua.

Após $(24\pm 0,5)\text{h}$ em imersão, retirou-se o provete da água sem molhar a face inferior.

Pesou-se o provete após as 24 horas de imersão, como $m_{h,24}$.

Retirou-se qualquer vestígio de água aderente à face superior, com uma esponja húmida.

Pesaram-se os provetes saturados à pressão atmosférica e registou-se o valor como $m_{h,c}$. Esta massa corresponde à massa de sucção capilar da água ao longo da área de ensaio de cada um deles.

G.1.3 Absorção de Água Capilar por Unidade de Área

A Absorção de água capilar por unidade de área, à pressão atmosférica é dada por:

$$W_{h,24} = \frac{m_{h,24} - m_{ds}}{S} \text{ [g/cm}^2\text{]} \quad (\text{G.1})$$

Onde:

$W_{h,24}$ - Absorção de água capilar por unidade de área, à pressão atmosférica, em g/cm²

$m_{h,24}$ - Massa do provete após 24h de sucção capilar ao longo da área de ensaio, em g

m_{ds} - Massa seca do provete selado do Ensaio de Absorção de Água do Provete, em g

S - Área da face de sucção do Ensaio de Absorção de Água do Provete, em cm²

Tabela G.1: Absorção de água capilar por unidade de área, à pressão atmosférica

Provete	$m_{h,24}$ [g]	S [cm ²]	m_{ds} [g]	$W_{h,24}$ [g/cm ²]
P1	460,1	49,5	458,2	0,04
P2	458,1	49,5	457,0	0,02
P3	382,3	42,9	369,7	0,29
			Média	0,12

G.1.4 Absorção de Água Absoluta ou Capacidade de Absorção

A Absorção de Água Absoluta ou Capacidade de Absorção, é dada por:

$$W_{m,a} = \frac{m_{h,c} - m_{ds}}{m_{ds}} \times 100 \text{ [% em Massa]} \quad (\text{G.2})$$

Onde:

$W_{m,a}$ - Capacidade de Absorção de água, em % de Massa

$m_{h,c}$ - Massa do provete saturado sob pressão atmosférica, em g

m_{ds} - Massa seca do provete selado do Ensaio de Absorção de Água do Provete, em g

Tabela G.2: Capacidade de Absorção de água

Provete	$m_{h,c}$ [g]	m_{ds} [g]	$W_{m,a}$ [% de Massa]
P1	459,2	458,2	0,22
P2	457,6	457,0	0,13
P3	379,4	369,7	2,62
		Média	0,99

G.2 Resistência ao Gelo/Degelo com Água Salgada

G.2.1 Preparação dos Provetes

Antes de proceder ao ensaio de Resistência ao Gelo/Degelo, foi necessário preparar os provetes de modo a que estes incorporassem uma área superior, ou seja a área de ensaio, a 7500mm², mas inferior a 25000mm².

Os provetes foram cortados e ficaram com uma área superior de ensaio:

$$A_{G,D} = 0,054\text{m}^2$$

Segundo a norma EN 13748-2, [20], os provetes para serem ensaiados devem ter mais de 28 dias e não menos do que 35 dias de idade. Estes foram curados a uma temperatura de $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de $(65\pm 10)\%$.

Selaram-se os provetes com silicone nas suas faces laterais e inferior, de modo que a preencher todos os vazios em todo o perímetro descrito. Esta selagem serve para impedir a penetração de água entre o provete e a borracha.

Colocou-se uma folha de borracha de $(3\pm 0,5)\text{mm}$ de espessura e resistente à solução de NaCl e suficientemente elástica a uma temperatura de -20°C , em volta do perímetro descrito anteriormente. Esta borracha foi colocada acima da superfície de ensaio $(20\pm 2)\text{mm}$.

Colou-se adesivo sobre a borracha de modo a colar perfeitamente a folha de borracha em volta do provete com o Silicone.

Colocou-se um cordão de vedante no perímetro da superfície de ensaio. Neste trabalho, o cordão de vedante foi efectuado com Silicone, Figura G.1.

Isolou-se térmicamente todas as superfícies do provete, excepto a superfície de ensaio.

Derramou-se água potável a $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ sobre a superfície de ensaio a uma profundidade de $(5\pm 2)\text{mm}$. Esta manteve-se durante $(72\pm 2)\text{h}$ a $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$, para avaliar a eficácia da vedação entre o provete e a folha de borracha.

Antes 15 a 30 minutos da colocação dos provetes na câmara de congelação para os ciclos de congelamento/descongelamento substituiu-se a água por uma solução de 3%, em massa do provete, de NaCl em água potável.

Colocou-se uma película de polietileno, correspondente à película aderente de uso doméstico, sobre a caixa de isolamento térmico, de modo horizontal e de forma a que permaneça o mais plana possível durante todo o ensaio e não entrar em contacto com o meio de congelamento. Esta película tem como objectivo impedir a evaporação da solução de NaCl em água potável.

Na figura seguinte apresenta-se um exemplo de como se deve preparar o provete para o ensaio de Gelo/Degelo, Figura G.1

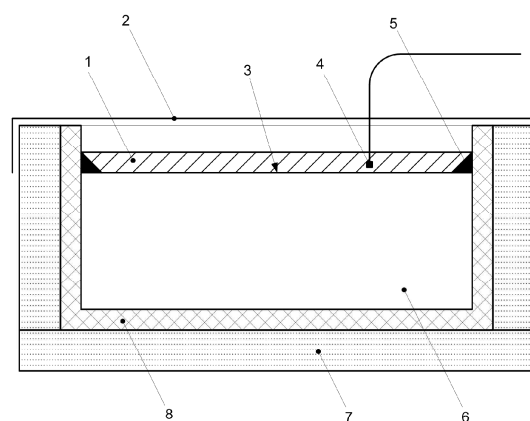


Figura G.1: Exemplo preparação do provete para o Ensaio de Resistência ao Gelo/Degelo

Onde:

1 - Meio de Congelamento (Água Salgada)

- 2 - Folha de Polietileno (Película Aderente)
- 3 - Superfície de Ensaio
- 4 - Dispositivo Medidor de Temperatura
- 5 - Cordão Vedante
- 6 - Provede de Ensaio
- 7 - Isolamento Térmico
- 8 - Folha de Borracha



Figura G.2: Provede preparado para o Ensaio de Resistência ao Gelo/Degelo

G.2.2 Procedimento do Ensaio

Colocaram-se os provedes na câmara de congelação, de forma que estes permaneçam na posição horizontal durante o ensaio.

Verificou-se se a temperatura do meio de congelamento do provede teve alguma variação, durante (7 ± 2) h. Esta temperatura foi registada como: $T_{mc} = 21,8^\circ\text{C}$.

Iniciou-se o primeiro ciclo dentro do intervalo (0 ± 30) min após a colocação do provede na câmara de congelação.

O ensaio de Gelo/Degelo foi efectuado com 28 ciclos. Estes ciclos de Congelamento/Descongelamento obedeceram à Curva Tempo-Temperatura, que se apresenta na Figura G.3.

Após os sete e quatorze ciclos, durante o período de descongelamento acrescentou-se 3% em massa de NaCl em água potável a fim de manter (5 ± 2) mm acima da superfície dos provedes.

Após os vinte e oito ciclos recolheu-se o material que se desagregou do provede por lavagem, dentro de um recipiente utilizando um vaporizador e uma escova dura.

Despejou-se o líquido com o material que se desagregou do provede para outro recipiente através de um filtro de papel.

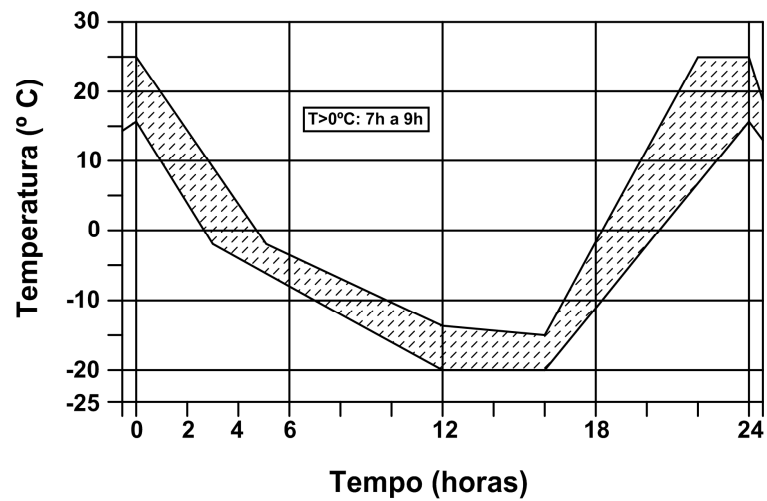


Figura G.3: Curva do Tempo-Temperatura do ciclo, para o Ensaio de Resistência ao Gelo/Degelo

Lavou-se o material recolhido dentro do filtro de papel, com água potável para remover qualquer NaCl que este possa conter.

Secou-se o filtro de papel e o material recolhido durante pelo menos 24 horas a uma temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$.



Figura G.4: Ensaio de Resistência ao Gelo/Degelo

G.2.3 Determinação da Perda de Massa por Unidade de Área

Após a secagem do filtro de papel com o material desagregado, procedeu-se à pesagem destes: $M_f, m=0,05\text{kg}$

Determinou-se a massa do material que se desagregou do provete, retirando à pesagem anterior a massa do filtro de papel:

$$M_{G,D} = M_{f,m} - M_f \text{ [kg]} \quad (\text{G.3})$$

Onde:

$M_{G,D}$ - Massa da quantidade total de material desagregado do provete, em kg

$M_{f,m}$ - Massa do material desagregado do provete com o filtro de papel, em kg

M_f - Massa do filtro de papel, em kg

A Perda de Massa por Unidade de Área é determinada pela seguinte equação:

$$L_{G,D} = \frac{M_{G,D}}{A_{G,D}} \text{ [kg/m}^2\text{]} \quad (\text{G.4})$$

Onde:

$L_{G,D}$ - Perda de Massa por Unidade de Área, em kg/m²

$M_{G,D}$ - Massa da quantidade total de material desagregado do provete, em kg

$A_{G,D}$ - Área de superfície de Ensaio de Gelo/Degelo, em m²

Tabela G.3: Perda de Massa por Unidade de Área

Provete	$A_{G,D}$ [m ²]	M_f [kg]	$M_{f,m}$ [kg]	$M_{G,D}$ [kg]	$L_{G,D}$ [kg/m ²]
P1	0,054	0,05	0,05	0	0
P2	0,054	0,05	0,05	0	0
				Média	0

G.3 Classe de Resistência às Intempéries

De acordo com a norma EN 13748-2, [20], as unidades de revestimento são classificadas segundo a percentagem em massa da Absorção de Água e segundo Perda de Massa após o ensaio de Gelo/Degelo. Tendo em conta que o valor da Absorção de Água obtido foi $W_{h,24}=0,12\text{g/cm}^2$ e o valor da Perda de Massa por Unidade de Área é nulo, então as unidades de revestimento deste estudo de caso são de Classe 2 e a sua marcação CE é Marcação B.

Desempenho ao Fogo

Segundo a norma EN 13748-2, [20], as unidades de revestimento para uso externo são consideradas como tendo Classe de reacção ao fogo A1fl, sem a necessidade de testes de acordo com a CE Decisão 96/603/EEC [20].

Mas tendo em conta que as unidades de revestimento elaboradas para este estudo de caso contêm resina, ou seja, poderão ser em parte inflamáveis, foi necessário verificar se estas têm reacção ao fogo.

Colocou-se um maçarico em frente ao provete de ensaio e acendeu-se.

Ao mesmo tempo que a chama estava acesa verificou-se que após quatro minutos o agregado se começou a desagregar do provete, Figura H.1.



Figura H.1: Ensaio do provete ao Desempenho ao Fogo

Após o ensaio o provete ficou com o aspecto tal como está representado na Figura H.2, indicando que o seu desempenho ao fogo é limitado. O que está de acordo com o comportamento da resina.



Figura H.2: Ensaio do provete ao Desempenho ao Fogo

Síntese dos Resultados

I.1 Resíduos Grossos das Minas da Panasqueira

Tabela I.1: Propriedades Geométricas, Físicas e Mecânicas, Químicas e Presença de metais pesados nos resíduos grossos

Propriedade	Resultado obtido
Índice de Lamelação	$FI=27,7$
Índice de Alongamento	$SI=35,2$
Dimensão máxima	$D_{max}=25,4\text{mm}$
Dimensão mínima	$D_{min}=1,19\text{mm}$
Massa volúmica	$\rho_{rd}= 2,79\text{Mg/m}^3$
Absorção de água	$WA_{24}=0,2\%$
Desgaste Los Angeles	$LA=19,2\%$
Resistência ao esmagamento	$f_{Esmagamento}=16,5$, em % de material friável

Tabela I.2: Análise química elementar do resíduo grosso das minas

Óxidos	O	Na	Al	Si	K	Ti	Fe	Mg
Quantidades [%]	57,92	0,44	8,18	23,44	3,77	0,60	4,62	1,03

Tabela I.3: Presença de metais pesados no resíduo grosso das minas

Metais pesados	Cu	Zn	Mn	As	S
Quantidades [ppm]	210	320	450	250	2400

I.2 Resina Crystic 199

As propriedades da Resina Crystic encontram-se referidas no Capítulo 3. São características dadas pelo fabricante.

I.3 Unidades de Revestimento

Como já foi referido no Capítulo 4, as características físicas e mecânicas, e geométricas que devem ser verificadas para obter marcação CE, foram verificadas de acordo com a norma

Tabela I.4: Propriedades Físicas da Resina Crystic 199 em Estado Líquido

Viscosidade a 25°C dPas Rhéomat a 37.35 sec-1 [poise]	5-6,5
Densidade a 25°C	1,10
Índice de acidez [mgKOH/g]	23-29
Conteúdo volátil [%]	36-39
Aspecto	Claro, ligeiramente amarelo
Estabilidade, abrigada da luz e a 20°C [meses]	6
Tempo de gelificação a 25°C [min]	16

Tabela I.5: Propriedades Físicas da Resina Crystic 199 Polimerizada

Dureza Barcol (Modelo GYZJ 934-1)	50
Absorção de água (24h a 23°C) [mg]	25
Temperatura de deformação, de baixa carga-HDT(1,8MPa)[°C]	130
Índice de refração 20/D	1,554
Densidade a 20°C	1,19
Fissuração a 25°C [%]	2,5
Resistência à tracção [MPa]	62
Módulo de tracção [MPa]	3600
Perda dieléctrica (a 1000Hz)	0,005
Constante dieléctrica (a 1000Hz)	3,1

EN 13748-2, [20]. Esta norma refere-se a unidades de revestimento, para uso externo. As características são: Resistência à Flexão; Requisitos geométricos; Resistência ao Desgaste por Abrasão; Resistência ao Escorregamento/Deslizamento; Resistência às Intempéries; Resistência ao Gelo/Degelo; Desempenho ao Fogo e Condutividade Térmica.

Na tabela I.6, serão apresentados os valores obtidos dos ensaios efectuados, a classificação e marcação CE, conforme os parâmetros exigidos.

Tabela I.6: Resultados dos ensaio efectuados para os provetes, classificação e marcação CE, conforme os parâmetros exigidos

Ensaio realizado		Resultado obtido	Classificação	Marcação CE
Resistência à Flexão		$f_{cf}=2,19\text{MPa}$	NPD	NPD
Resistência à Compressão		$f_c=7,74\text{MPa}$	1	ST
Resistência ao	Método do disco largo de abrasão	$V_{AD}=24,8\text{mm}$	1	F
Desgaste por Abrasão	Método de Böhme	$\Delta V=3,90\text{cm}^3/50\text{cm}^2$	1	F
Desempenho ao Fogo		Para uso externo não é necessário ensaiar	A1fl	NPD
Condutividade térmica		Para uso externo não é necessário ensaiar	NPD	NPD

Bibliografia

- [1] Diogo,A.C., Polímeros, *Materiais de Construção Guia de Utilização, Arquitectura e Vida/Engenharia e Vida*, Out. 2005, pp. 212-244, Lisboa, Portugal, 2005. 3, 4
- [2] Cano,R.P., *Aplicaciones técnico-escultóricas de hormigones y morteros. Caracterización y normalización*, PhD Thesis, Universidad de Granada, Granada, España, 2007. 4
- [3] <http://www.ancobras.com.br> 4
- [4] Moreira,P., *Contribuição dos Revestimentos Poliméricos para Durabilidade de Betões em Ambientes Agressivos*, MSc Thesis, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2006. 4
- [5] Thadeu,D., *Geologia do Couto Mineiro da Panasqueira*, Tip. Alcobanense, Tomo XX-XII, *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, DGMSGP, Lisboa, Portugal, 1951. 6
- [6] <http://www.viamichelin.pt> xiii, 6, 7
- [7] Almeida,M.D., *Pavimentos rodoviários de baixo custo com emulsões betuminosas e resíduos das Minas da Panasqueira*, MSc Thesis, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2003. 6
- [8] Relatório final, *Projecto Varlremin - Valorização de Resíduos de Minas, Projecto financiado pela Agência de Inovação*, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2009. 6, 11
- [9] IPQ, *NP EN 933-1: Ensaios das propriedades Geométricas dos Agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2000. 8, 10, 39
- [10] IPQ, *NP EN 933-2: Ensaios para determinação das características geométricas dos agregados. Determinação da distribuição granulométrica. Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas.* , IPQ, Lisboa, Portugal, 1999. 8, 10
- [11] IPQ, *NP EN 933-3: Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas - Índice de achatamento.*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2002. 10
- [12] Almeida,M.D., Castro Gomes,J., Oliveira,L., *Valorização de resíduos mineiros na industria de construção*,UBI, 2003. 10, 11
- [13] IPQ, *NP EN 933-4: Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas - Índice de forma.*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2002. 10

- [14] IPQ, *NP EN 1097-6: Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água.*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2003. 10, 45
- [15] LNEC, *E 154: Agregados. Ensaio de desgaste pela máquina de Los Angeles.*, LNEC, Lisboa, Portugal, 1971. 10
- [16] LNEC, *NP 1039: Inertes para argamassas e betões. Determinação da resistência ao esmagamento.*, LNEC, Lisboa, Portugal, 1974. 10
- [17] <http://www.scottbader.com> 12
- [18] <http://www.resinascastro.com> 12, 14
- [19] CEDEX, *NLT 173: Resistencia a la deformacion plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio*, CEDEX, Madrid, España, 2000. 16, 27
- [20] CEN, *EN 13748-2: Terrazzo tiles. Part 2: Terrazzo tiles for external use.*, CEN, Brussels, Belgium, 2004. 17, 19, 21, 28, 31, 32, 33, 34, 94, 101, 104, 105, 108
- [21] IPQ, *NP EN 932-1: Ensaios para determinação das propriedades gerais dos agregados. Parte 1: Métodos de amostragem*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2001. 22, 39, 45
- [22] IPQ, *NP EN 932-2: Ensaios para determinação das propriedades gerais dos agregados. Parte 2: Métodos de redução de amostras laboratoriais*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2002. 45
- [23] IPQ, *NP EN 12390-5: Ensaios do betão endurecido. Parte 5: Resistência à flexão dos provetes de ensaio.*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2003. 31, 51
- [24] IPQ, *NP EN 12390-3: Ensaios do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão dos provetes de ensaio.*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2003. 32, 81
- [25] IPQ, *NP EN 12390-1: Ensaios do betão endurecido. Parte 1: Forma, dimensões e outros requisitos para o ensaio de provetes e para os moldes.*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2003. 51, 81
- [26] IPQ, *NP EN 12390-4: Ensaios do betão endurecido. Parte 4: Resistência à compressão - Características das máquinas de ensaio.*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2003. 81
- [27] Eires,R., *Materiais não convencionais para uma construção sustentável utilizando cânhamo, pasta de papel e cortiça*, MSc Thesis, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2006.
- [28] Leal,M.V., *As Minas da Panasqueira, Vida e História*, Noticias da Covilhã, Covilhã, Portugal, 2004.
- [29] IPQ, *NP EN 12620: Agregados para betão.*, IPQ, Lisboa, Portugal, 2004.