



X CONNEPI

X Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação

A UTILIZAÇÃO DE CALDAS DE CAL PARA CONSOLIDAÇÃO E REFORÇO DE PAREDES ANTIGAS DE ALVENARIA DE PEDRA. ESTUDO DE PLASTIFICANTE.

Jocileila Lima Santos¹, Renato Delmonico², Eduarda Luso³

¹Discente do curso Técnico em Edificações – IFRO. Bolsista do IFRO. e-mail: jocileilalima@gmail.com; ²Professor de Ciências Agrícolas - IFRO. e-mail: Renato.delmonico@ifro.edu.br; ³Professora Adjunta do Instituto Politécnico de Bragança – IPB. e-mail: eduarda@ipb.pt

RESUMO: As paredes de alvenaria de pedra estão presentes em muitos edifícios e monumentos históricos, e grande parte destas edificações encontram-se em estado de degradação, necessitando de práticas interventivas. As primeiras atitudes para a conservação deste tipo de alvenaria é a conservação dos materiais existentes e a preservação de sua integridade. Uma das técnicas indicadas para a consolidação é a injeção de argamassa fluida. Este trabalho apresenta os resultados dos estudos da influência de plastificante no comportamento de caldas de injeção, a partir de uma abordagem metodológica experimental. Nas últimas décadas realizaram-se diversos estudos com o objetivo de entender as características das argamassas de substituição e, produzir argamassas com base em cal para a aplicação em edifícios antigos de alvenaria de pedra, especialmente na Europa. Para a verificação da eficácia do comportamento de uma calda à base de cal, composta por cal hidratada, cimento, metacaulino e plastificante (alterando a marca) realizaram-se cinco amostras. Foram consideradas importantes propriedades tais como: fluidez, exsudação, resistência à compressão, massa volumétrica média e ruptura à flexão. São visíveis as diferenças no comportamento das caldas conforme alteração da marca do plastificante. Antes de 28 dias as amostras apresentam características interessantes quanto à estética. Com os resultados observou-se que a alteração da marca do plastificante provoca alterações no comportamento das caldas de injeção, mesmo sendo fabricadas em mesmas condições ambientais e físicas. Amostras de marca específica ficaram fluidas enquanto outra se quer atingiram fluidez. As caldas possuem alteração quanto à resistência, mesmo possuindo a mesma idade.

Palavras-chave: alvenaria de pedra; calda de injeção; plastificante.

THE USE OF LIME FOR THE CONSOLIDATION AND REINFORCEMENT OF OLD STONE MASONRY WALLS. STUDY OF PLASTICIZER.

ABSTRACT: The stone masonry walls are present in many historical buildings and monuments, and many of these buildings are in a state of degradation, requiring interventional practices. The first actions for the conservation of this type of masonry is the preservation of existing materials and the preservation of its integrity. One of the techniques indicated for the consolidation is the injection of fluid mortar. This paper presents the results of studies of the influence of plasticizer in the injection grout behavior, from an experimental methodological approach. In recent decades following a number of studies aiming to understand the characteristics of replacement mortars and produce mortars based on lime for use in older buildings of stone masonry, especially in Europe. To verify the effective behavior of a syrup lime-based, consisting of hydrated lime, cement, metakaolin and plasticizer (changing the brand) were held five samples. It was considered important properties such as flowability, exudation, compressive strength, medium density and tensile bending. The differences are visible in the tails of behavior change as the plasticizer brand. Before 28 days samples have interesting features about the aesthetics. With the results it was observed that changing the plasticizer mark causes



X CONNEPI

X Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação

38 changes in the behavior of injection grouts, even if manufactured in the same environmental and
39 physical conditions. Brand-specific samples were flowing while another one wants to hit fluidity. The
40 tails have change for resistance, despite having the same age.

41 **KEYWORDS:** stone masonry; injection syrup; plasticizer.

42

43 **INTRODUÇÃO**

44 A conservação, a reabilitação e o reforço das edificações de alvenaria de pedras vêm sendo uma
45 preocupação das sociedades modernas, e nesse sentido umas das técnicas para a consolidação
46 estrutural desse tipo de construção é a injeção de argamassas fluidas.

47 Nas últimas décadas realizaram-se diversos estudos com objetivo de entender as características
48 das argamassas de substituição e, produzir argamassas com base em cal para aplicação em edifícios
49 antigos de alvenaria de pedra, especialmente em Portugal. É válido considerar que o uso de
50 aglomerante com base em cal nas argamassas está presente desde os primórdios da história da
51 humanidade, sofrendo diversos aprimoramentos em sua metodologia de aplicação ao longo do tempo
52 pelas civilizações (CARDOSO, 2013).

53 Em trabalhos que visam à conservação de edifícios antigos existem dificuldades na formulação
54 de materiais compatíveis para aplicação, devido aos requisitos de baixo módulo de elasticidade e
55 resistências mecânicas suficientes e adequadas, bem como um comportamento compatível, física ou
56 quimicamente com os materiais existentes. Especificamente as caldas de injeção, apresentam
57 requisitos exigentes, no que diz respeito à consolidação de alvenaria, necessitando portanto, que o
58 preenchimento dos vazios seja uniforme. No entanto não é uma tarefa fácil, pois são vários os
59 requisitos envolvidos: assegurar boa aderência aos materiais da alvenaria; possuir retração baixa ou
60 nula para manter o volume sem desenvolvimento de tensões; baixa segregação e exsudação para
61 manter o volume e consistência; possuir elevada fluidez para fornecer um bom escoamento e
62 preenchimento de vazios; resistir a sais solúveis (LUSO, 2014).

63 Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo desenvolvido em
64 Portugal, por meio de uma parceria institucional entre o Instituto Federal de Rondônia e o Instituto
65 Politécnico de Bragança, sobre a influência de plastificantes (usando marcas distintas) no
66 comportamento de uma calda à base de cal já testada, composta por 35% de cal hidratada, 30% de
67 cimento, 35% de metacaulino e plastificante.

68 De acordo com Luso (2014) as argamassas de cal e metacaulino apresentam uma resistência
69 mecânica muito maior do que argamassa só de cal, mas não o suficiente para evitar tensões de ruptura
70 do sistema.

71 Observa-se que não existe normalização específica no campo de estudos caldas de injeção para
72 a consolidação de alvenarias antigas, desta forma recorreu-se a utilização de normalizações aplicáveis
73 em outros domínios.

74

75 **MATERIAL E MÉTODOS**

76 Para verificar a eficácia das diferentes caldas realizaram-se cinco amostras, com a quantidade
77 fixa de materiais, alterando apenas a marca do plastificante (Dynamom 666 (D66), Viscocrete 3002
78 He (VHE), Sika plast 912 (PLAST), Waster glenium Sky 617(SKY), Sikamente 400 Plus (PLUS)). A
79 fluidez é uma propriedade importante a ser analisadas nas caldas, pois está relacionada com umas das
80 principais funções das caldas de injeção – o preenchimento, no interior das alvenarias, do maior
81 número de vazios possíveis. Para determinar a fluidez das caldas procedeu-se à realização de ensaio
82 com o cone de Marsh – um funil cônico de dimensões normalizadas.

83 Depois de uma amassadura exata de 10 minutos, com o orifício da ponta fechado colocou-se a
 84 calda de injeção no cone até encher. Abriu-se o orifício do cone e simultaneamente ligou-se o
 85 cronômetro. Para cada calda foi registrado o tempo de escoamento de 1 litro e simultaneamente o
 86 tempo de escoamento total logo após a amassadura. Repetiu-se mais duas vezes com o intervalo de
 87 tempo de um processo para o outro de 30 minutos.

88 Sabe-se que ao encher um recipiente com uma mistura de aglomerantes hidráulicos com água,
 89 ao longo do tempo acontece o fenômeno migratório da água, ou seja, o aparecimento de água à
 90 superfície da suspensão. Este fenômeno, exsudação, prejudica em parte, qualidade da injeção das
 91 caldas, pois a parte superior de um poro pode não ficar consolidada devido a esta migração de água.

92 A análise da quantidade de água na superfície torna-se importante no que diz respeito à
 93 funcionalidade final da calda. Este ensaio foi realizado simultaneamente com o anterior. Colocou-se
 94 cada calda em uma proveta com capacidade de 100 ml, sendo está graduada em milímetros, por um
 95 período de três horas, acompanhando a variação da calda introduzida na proveta, que pode oscilar de
 96 85 a 100 ml.

97 Em seguida, de modo a caracterizar mecanicamente a resistência das caldas, bem como a
 98 evolução de seu endurecimento ao longo do tempo, depois de realizado o ensaio de fluidez moldaram-
 99 se amostras prismáticas de 16x4x4 cm, com o objetivo de realizar ensaios de compressão e flexão aos
 100 28 dias, 90 dias, 180 dias e 360 dias. A resistência à compressão é realizada para cada calda de
 101 injeção, e é medida em seis meios primas obtida através da ruptura à flexão de três prismas. Antes de
 102 realizar o ensaio de flexão mediu-se com auxílio do paquímetro digital, a largura da amostra,
 103 comprimento, altura em três pontos distintos e pesaram-se as amostras a fim de obter a massa
 104 volúmica média das amostras.

105 Foram realizados ensaios de flexão, resistência à compressão e obteve-se a massa volúmica
 106 média de amostra com idade de 28 dias e com idade de 180 dias e 90 dias. Realizaram-se os ensaios
 107 para a verificação da fluidez e exsudação de cinco amostras.

109 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

110 Ao observar o comportamento da calda de injeção quanto ao ensaio de fluidez nota-se
 111 propriedades específicas no comportamento de cada plastificante, pois algumas ficaram mais fluidas e
 112 apresentaram um tempo menor de escoamento enquanto outras nem se quer atingiram a fluidez
 113 suficiente para que fosse possível realizar o ensaio.

114 Percebeu-se que o tempo de escoamento da primeira vez em que a calda é introduzida no cone
 115 foi menor que as outras duas próximas vezes. Através do ensaio conseguiu-se elaborar um gráfico com
 116 o tempo de escoamento em segundos de um determinado volume de caldas, relacionando o
 117 escoamento em função do número de vezes em que a calda passa pelo cone Marsh (ver figura 1).
 118

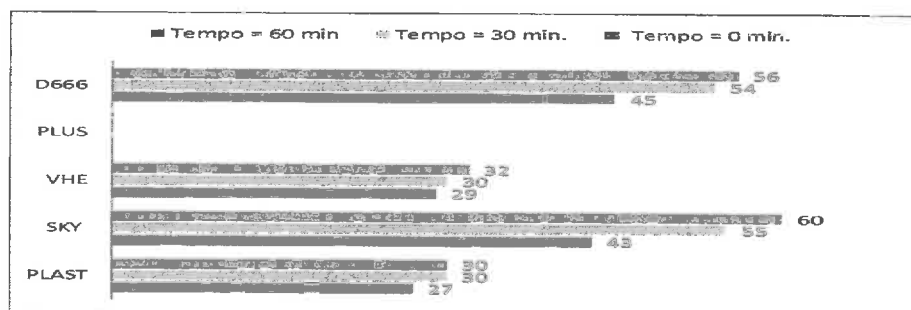


Figura 1. Tempo de escoamento de um litro de calda de injeção



X CONNEPI

X Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação

Fonte: SANTOS, Jocileila L.; 2014.

Especificamente o plastificante Sika Plast 912 (PLAST), durante os primeiros instantes da amassadura apresentou baixa trabalhabilidade no entanto com o passar do tempo de amassadura adquiriu uma ótima trabalhabilidade.

É sabido que o fenômeno, exsudação, prejudica a qualidade da injeção das caldas, pois com a sua ação a parte superior a ser preenchida pode não ficar consolidada. Devido a isso a análise da quantidade de água na superfície tornou-se importante no que diz respeito à funcionalidade final da calda. Ao fim de três horas mediu-se a altura de água em ml existente à superfície das amostras. Observou-se que a calda de injeção com o plastificante Sika Plast 912 (PLAST) teve a maior quantidade de água à superfície, enquanto a calda com o plastificante Water glenium Sky 917 (SKY) não teve o processo de migração de água, e ao fim de três horas já teve início o processo de pega. O plastificante Sikamente 400 Plus (PLUS) comportou-se de forma diferente ficando muito consistente. Para obter o valor final do procedimento de ensaio aplicou-se a expressão matemática da razão do volume inicial de água à superfície da calda de injeção ao fim de três horas, pelo volume inicial da calda de injeção expresso em ml. Obteve-se o resultado podendo ser observado no gráfico da figura 2.

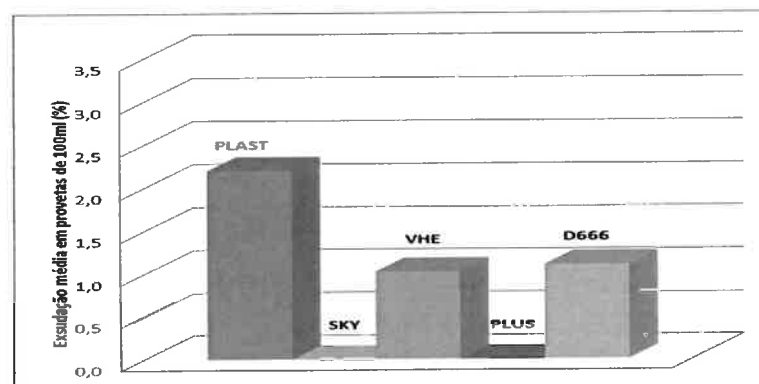


Figura 2. Exsudação média em provetas de 100 ml (%)

Fonte: SANTOS, Jocileila L.; 2014.

Ao longo do tempo a calda de injeção adquire resistência mecânica, assim como o concreto ou argamassa. Desta forma pode-se realizar a caracterização mecânica. O ensaio de resistência à compressão é realizado para cada amostra, e é medida em seis meios prismas obtida através da ruptura à flexão de três prismas. No entanto, antes da realização do ensaio de flexão realiza-se a medição das amostras: largura, comprimento, altura em três pontos distintos e pesar as amostra.

Preliminarmente, notou-se uma variabilidade no comprimento, na largura e na altura das amostras, mesmo sendo todas moldadas em recipientes normalizados e armazenadas em condições ambientais idênticas. A altura foi o parâmetro com maior variação.

Com algumas amostras já prontas em laboratório, com idade de 90 e 180 dias, foi possível realizar ensaio de propriedades mecânicas. Observou-se que as amostras que possuíam muitas fissuras tinham o tempo de ruptura por flexão menor enquanto as que estavam em boas condições tinham o tempo de ruptura por flexão maior. Com as amostras de 180 dias elaborou-se o gráfico da resistência à compressão e notou-se que a calda de injeção com o mesmo plastificante e mesma idade apresentou diferença na resistência (ver figura 3). Dado que as condições para a confecção da calda de injeção foram as mesmas.



X CONNEPI

X Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação

157

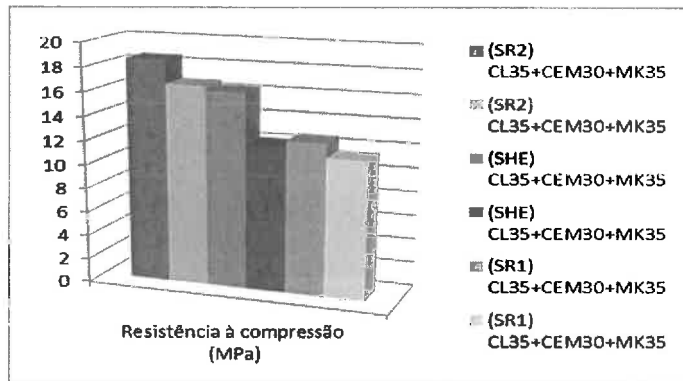


Figura 3. Resistência à compressão das amostras com idade de 180 dias.

Fonte: SANTOS, Jocileila L.; 2014.

158
159
160
161

Com as amostras confeccionadas aos 28 dias realizaram-se os ensaios das propriedades mecânicas. Percebeu-se novamente que as caldas de injeção que tinham poucas fissuras tiveram uma boa resistência mecânica. Ao observar separadamente cada calda observa-se que:

162
163
164
165
166
167
168
169
170

A calda de injeção com o plastificante Dynamom 666 (D66) ficou com aspecto quebradiço ficando impossível de realizar devidamente o ensaio de flexão, compressão e massa volúmica das amostras (ver figura 4). A calda de injeção inicialmente apresentou 1% de exsudação e uma fluidez de cerca de cinquenta e dois segundos para o escoamento de 1 litro. Das caldas ensaiadas, esta, apresentou de início um dos maiores tempos para o escoamento de 1 litro e para o escoamento total.

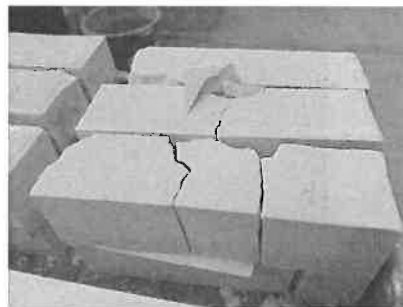


Figura 4. Calda de injeção com o plastificante Dynamom 666 (D66).

Fonte: SANTOS, Jocileila L.; 2014.

171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183

A calda de injeção com o plastificante Viscocrete 3002 He (VHE) ficou com um excelente acabamento (ver figura 5). Realizou-se o ensaio de flexão, ensaio de compressão e massa volúmica. A calda de injeção apresentou a média de fluidez para o escoamento de 1 litro de 30 segundos e a média de tempo para o escoamento total cerca de um minuto. Ao realizar os procedimentos para determinação da massa volúmica percebe-se que as amostras apresentam uma pequena variabilidade no volume de uma para outra. Em relação às outras amostras esta calda, apresentou o menor tempo de escoamento para o volume total, considerando que a calda de injeção com o plastificante Sikamente 400 Plus não foi possível passar no cone.



X CONNEPI

X Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação



Figura 5. Calda de injeção com o plastificante Viscocrete 3002 He (VHE)
Fonte: SANTOS, Jocileila L.; 2014.

184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197

A calda de injeção com o plastificante Sika plast 912 (PLAST) aos 28 dias apresentou muitas fissuras interferindo na resistência à compressão (ver figura 6). Inicialmente foi possível realizar o ensaio à compressão. Posteriormente notou-se que a resistência mecânica da amostra estava concentrada apenas na parte inferior da amostra prismática e como era possível quebrar com as mãos a parte superior da amostra deixou de realizar-se o ensaio. Esta calda apresentou a maior porcentagem de exsudação (2%) comparando com outras caldas, ficando evidente o prejuízo da exsudação na consolidação de uma alvenaria, pois a resistência concentrou-se apenas na parte inferior ficando a superior debilitada. A média para o escoamento de um litro foi inferior a 30 segundos sendo a calda que apresentou o menor tempo.



Figura 6. Calda de injeção com o plastificante Sika plast 912 (PLAST).
Fonte: SANTOS, Jocileila L.; 2014.

198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209

A calda de injeção com o plastificante Waster glenium Sky 617(SKY) obteve um excelente acabamento (ver figura 7). As amostras adquiriram uma boa resistência mecânica e a diferença de peso e volume de uma amostra para a outra apresentou uma pequena variabilidade. Esta calda não apresentou água à superfície, ou seja, não teve exsudação. Esta calda apresentou o maior tempo de escoamento total. Percebe-se que a propriedade do tempo de escoamento está relacionada com o início de pega, pois esta calda com o passar do tempo foi ficando cada vez mais consistente perdendo rapidamente a fluidez.



X CONNEPI

X Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação



210
211 **Figura 7.** Calda de injeção com o plastificante Waster Glenium Sky 617(SKY).
212 Fonte: SANTOS, Jocileila L.; 2014.
213

214 A calda de injeção com o plastificante Sikamente 400 Plus (PLUS) inicialmente adquiriu
215 consistência ao ponto de não ser possível realizar o ensaio de fluidez e não houve exsudação (ver
216 figura 8). Enquanto todas as caldas já haviam adquirido resistência, esta permanecia instável (mole),
217 gerando uma incerteza sobre sua capacidade de adquirir resistência, consolidando-se depois de alguns
218 dias, no entanto não foi possível realizar os ensaios de flexão, compressão e massa volúmica.
219



220
221 **Figura 8.** Calda de injeção com o plastificante Sikamente 400 Plus (PLUS).
222 Fonte: SANTOS, Jocileila L.; 2014.
223

224 CONCLUSÕES

225 Diante dos resultados obtidos fica evidente a diferença de comportamento das diferentes marcas
226 de plastificante. Dado que não houve alteração no quantitativo de material utilizado para a elaboração
227 das amostras, dos equipamentos utilizados é as condições ambientais foram às mesmas. Sendo
228 possível afirmar que diante dos resultados a marca de plastificante consideravelmente indicado para a
229 confecção de calda de injeção para consolidação é a marca Waster Glenium Sky 617(SKY).

230 Ao realizar a consolidação e reforço de paredes antigas de alvenaria de pedra com uma calda de
231 injeção utilizando o plastificante da marca Waster Glenium Sky 617(SKY), de acordo com os dados
232 obtidos em campanha de ensaios a parte superior do poro ficará consolidada e com o passar do tempo
233 o poro poderá permanecer preenchido, pois não houve exsudação e houve uma pequena variabilidade
234 na massa volúmica. Podendo ainda considerar outros dados em que houve um bom resultado tal como
235 à resistência mecânica. Ensaio tais como: ensaio de injeção e ensaio de aderência seria ótimo para
236 uma melhor caracterização da amostra. Para os demais plastificantes a utilização somente será
237 indicada após um novo estudo em que faça as alterações a fim de obter um resultado satisfatório.
238

239 REFERÊNCIAS



X CONNEPI

X Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação

- 240 CARDOSO, Daniel Batista. **Argamassa de cais e metacaulino sujeitas diferentes condições de**
241 **cura: evolução das características e dos compostos mineralógicos formados com a idade.** 2013.
242 208 f.. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
243 Universidade de Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.
- 244
- 245 Luso, E. **Análise Experimental de Caldas à Base de Cal para Injeção de Alvenarias antiga.** 2012.
246 247 f.. Tese de doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Porto, 2012.
247
- 248 Luso, E. ; Lourenço, Paulo B. **Consolidação e reforço de paredes antigas de alvenaria de pedra.**
249 **Injeção com caldas.** Congresso Latinoamericano REHABEND, 2014, Santander, Espanha.
250 **Congresso...** Santander: 2014. P. 1-8.
251
- 252 INSTITUTO PORTUGUÊS DE QUALIDADE. **Catálogo de documentos normativos.** Disponível
253 em: < <http://www1.ipq.pt/PT/site/clientes/pages/pesquisarnormas.aspx> >. Acesso em: 20/11/2014.