

**MANUAL TÉCNICO - EDIÇÃO 2024**

# Linhas gerais para a consolidação, reforço estrutural e segurança sísmica com novas tecnologias green.

Prescrições, especificações técnicas e detalhes construtivos

**kerakoll**



# Manual de consolidação

Em Portugal e no resto do mundo, numerosas patologias afectam o património edificado, em todas as suas formas: desde a construção histórica em alvenaria de variada natureza até às mais recentes estruturas em betão armado. O estudo destas patologias evidenciou aspectos relacionados com a presença de alvenarias heterogéneas e em péssimas condições de conservação, de elementos com resistência mecânica muito baixa, ou de elementos em betão armado realizados com betão de qualidade inferior ou em evidente estado de degradação.

A partir do estudo atento da mecânica dos sistemas de reforço e da interacção com os diversos materiais de construção, os nossos investigadores conceberam sistemas modernos de reforço, compostos por matrizes minerais inovadoras combinadas com novos tecidos unidireccionais em fibra de aço galvanizado de elevada resistência, com redes em fibra natural de basalto e aço inox, com fibras curtas em aço de alta resistência e com varões helicoidais em aço inox.

A primazia da nossa metodologia de investigação, conjugada com a excelência dos principais institutos de investigação nacionais italianos e externos com os quais colaboramos, assenta no desenvolvimento de sistemas de reforço capazes de se adaptarem perfeitamente à resistência e rigidez das diversas tipologias de suportes.

As combinações das matrizes Kerakoll com os tecidos em fibra de aço e em fibra de basalto constituem os inovadores sistemas de reforço estrutural de baixa espessura, que oferecem múltiplas vantagens tais como: simplicidade de aplicação e comportamento resistente, módulo de elasticidade e tenacidade superiores aos dos sistemas compósitos de reforço estrutural mais comuns.

Este Manual Técnico é um guia prático útil para projectistas e direcções de obras, para planear e dirigir a obra de modo mais simples e eficaz.



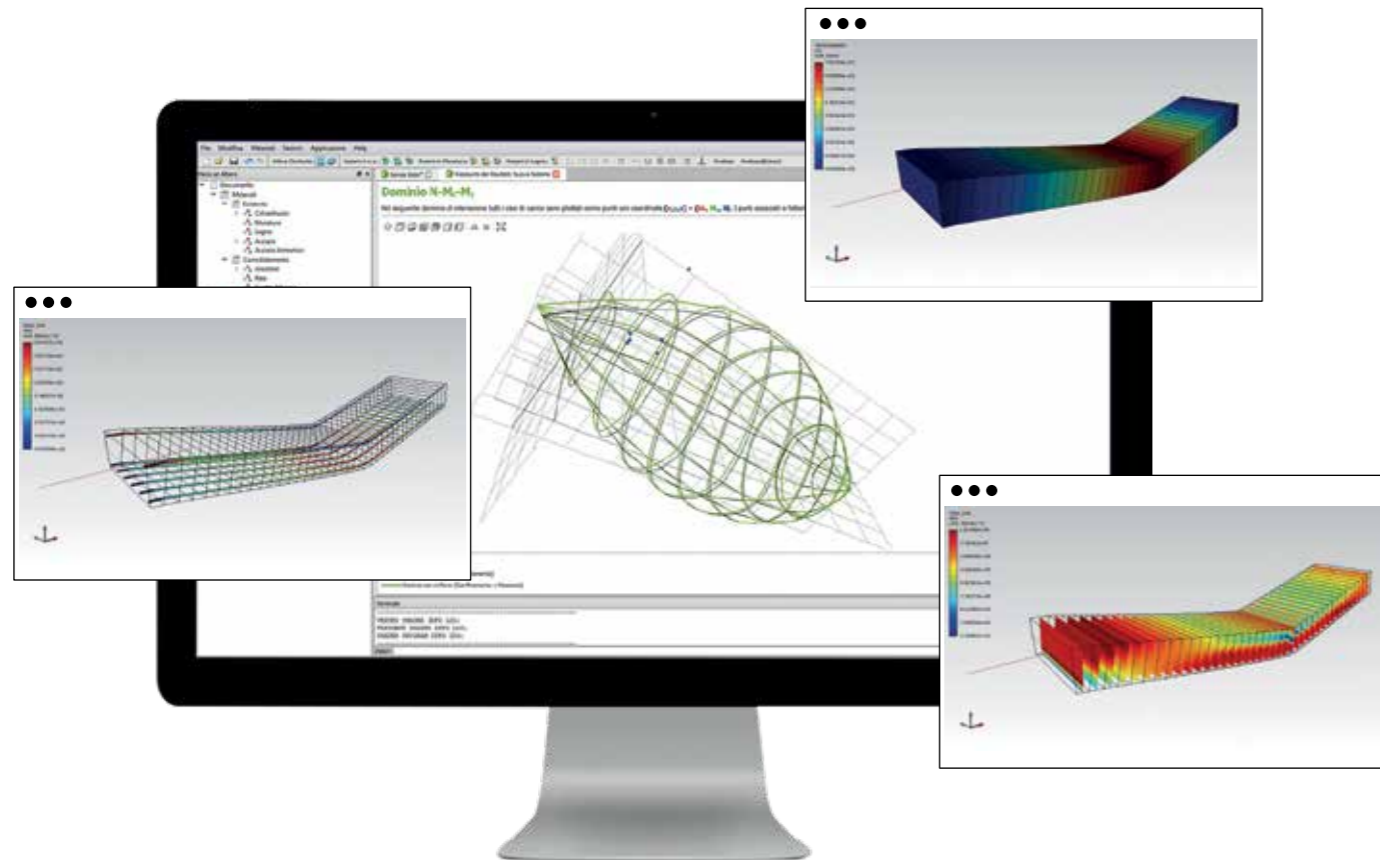
A Kerakoll é membro contribuinte e parceiro de





## GEORFORCE ONE, O SOFTWARE PARA PROJECTAR A CONSOLIDAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL COM NOVAS TECNOLOGIAS GREEN

Geoforce one  
Software



O inovador software Geoforce One, desenvolvido e concebido pela Asdea para a Kerakoll, permite projectar e verificar secções de forma standard ou genérica em betão armado, betão armado pré-esforçado, madeira e alvenaria. Com apenas três passos simples é possível projectar e verificar o sistema de reforço no elemento estrutural.

O Geoforce One permite ainda a modelação e a análise de elementos estruturais como vigas/pilares em betão armado, paredes, lintéis, arcos e abóbadas em alvenaria e nós viga-pilar.

### 1. DEFINIÇÃO DA SECÇÃO

- Geração da geometria de secções com formas recorrentes (rectangular ou circular) através de editores específicos
- Geração da geometria de secções de formas complexas através de um ambiente CAD integrado
- Definição de varões de armadura longitudinal e transversal
- Definição de reforços à flexão, corte, confinamento e torsão
- Definição de aumentos de secção
- Definição de outros casos de carga

### 2. ANÁLISE DA SECÇÃO

- Verificações à flexo-compressão/tracção:
  - verificação do estado inicial devido às cargas presentes no momento da aplicação do reforço
  - verificação do ELS
  - verificação do ELU
- Verificações ao confinamento, corte e torsão: para secções em betão armado o modelo constitutivo do betão tem em conta o efeito do confinamento
- Verificação para outros casos de carga

### 3. VISUALIZAÇÃO E EXPORTAÇÃO DOS RESULTADOS

- Geração, visualização e exportação de relatórios detalhados
- Resumo dos materiais utilizados
- Resultados das verificações ao estado inicial e ELS
- Resultados das verificações ao ELU pré e pós-intervenção com sistemas de reforço Kerakoll
- Visualização de domínios de interacção 2D e 3D
- Visualização do gráfico momento-curvatura

### DEFINIÇÃO DO ELEMENTO ESTRUTURAL

- Geração de elementos estruturais com um editor ad hoc
- Elementos construídos a partir de um número variável de secções, e a sua localização ao longo do eixo do elemento
- Possibilidade de inserir aumentos de secção (com ou sem reforço) em arcos e abóbadas

### ANÁLISE MEF ESTÁTICA NÃO LINEAR

- Definição de cargas e condições de contorno
- Lançamento da análise estática não linear em dois passos:
  - estado inicial antes da aplicação do reforço
  - estado final com o elemento reforçado
- Modelo de viga com integração da resposta seccional usando o modelo com fibras
- Modelos constitutivos não lineares baseados na teoria da plasticidade e do dano contínuo

### VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS

- Visualização gráfica dos resultados em cada passo da análise não linear
- Visualização dos gráficos de contorno para resultados nodais e de elemento
- Visualização dos gráficos de contorno para resultados seccionais:
  - estado de tensão-deformação em cada ponto da secção em fibras
  - estado dos materiais
  - factores de aproveitamento
- Gráfico da curva tensão-deformação



A ASDEA é um gabinete de engenharia constituído por profissionais que ao longo de várias décadas adquiriram uma experiência de investigação significativa ao nível internacional.

A empresa nasceu com o objectivo de oferecer soluções inovadoras altamente tecnológicas no campo da engenharia estrutural e opera activamente em diversos países, contando com mais de 300 profissionais, fornecendo em todo o mundo serviços de engenharia e arquitectura altamente especializados.



# Índice Geral














|   |     |
|---|-----|
| <b>SOLUÇÕES PARA A CONSOLIDAÇÃO DE ESTRUTURAS EM BETÃO ARMADO, BETÃO ARMADO PRÉ-ESFORÇADO E PRÉ-FABRICADOS</b>                    | 9   |
| • RECONSTRUÇÃO, REPARAÇÃO E AUMENTO DE ESPESSURA  | 10  |
| • PILARES E NÓS   | 18  |
| • VIGAS E LAJES   | 32  |
| <br>  |     |
| <b>SOLUÇÕES PARA A CONSOLIDAÇÃO, REFORÇO E REPARAÇÃO DE PAREDES DE ENCHIMENTO EM ESTRUTURAS PORTICADAS EM BETÃO ARMADO</b>        | 53  |
| • REPARAÇÃO, RECUPERAÇÃO DE LESÕES LOCAIS   | 54  |
| • REFORÇO E MELHORIA GENERALIZADA   | 58  |
| <br>  |     |
| <b>SOLUÇÕES PARA A CONSOLIDAÇÃO DE ESTRUTURAS EM ALVENARIA PORTANTE DE TIJOLO MACIÇO, TUFO, PEDRA NATURAL, TERRA CRUA E ADOBE</b> | 68  |
| • ALVENARIA E PILARES   | 70  |
| • ARCOS   | 114 |
| • ABÓBADAS  | 122 |
| • CÚPULAS   | 146 |
| <br>  |     |
| <b>APÊNDICES</b>  | 154 |















## SOLUÇÕES PARA A CONSOLIDAÇÃO DE ESTRUTURAS EM ALVENARIA PORTANTE DE TIJOLO MACIÇO, TUFO, PEDRA NATURAL, TERRA CRUA E ADOBE

### ALVENARIA E PILARES

|            |   |  |    |
|------------|---|--|----|
| <b>21A</b> |    | Reparação de lesões de alvenarias através da técnica de embricamento com argamassa à base de cal hidráulica natural pura   | 70 |
| <b>21B</b> |    | Reparação de lesões de alvenarias através da técnica de embricamento com argamassa à base de cal hidráulica natural pura e a inserção generalizada de conexões transversais  | 72 |
| <b>22</b>  |    | Refechamento de juntas em alvenaria com argamassa à base de cal hidráulica natural pura  | 74 |
| <b>23A</b> |    | Refechamento armado de juntas à vista através de argamassa à base de cal hidráulica natural pura e varões helicoidais em aço inox  | 76 |
| <b>23B</b> |   | Refechamento armado de juntas em alvenaria à vista e conexões transversais através de argamassa à base de cal hidráulica natural pura, conectores e varões helicoidais em aço inox   | 78 |
| <b>24</b>  |  | Consolidação e reforço de alvenaria antiga irregular através de injeção de argamassa hiperfluida à base de cal hidráulica natural pura   | 80 |
| <b>25A</b> |  | Consolidação e reforço de alvenaria antiga irregular através da inserção generalizada de diátonos em fibra de aço galvanizado injectados com geoargamassa hiperfluida à base de cal hidráulica natural pura                          | 82 |
| <b>25B</b> |  | Consolidação e reforço de alvenaria antiga irregular através da distribuição generalizada e reticulada de diátonos em fibra de aço galvanizado injectados com geoargamassa hiperfluida à base de cal hidráulica natural pura         | 84 |
| <b>25C</b> |  | Conexões transversais e ligação mecânica de alvenarias antigas através da fixação a seco com varões helicoidais em aço inox  | 86 |
| <b>26</b>  |  | Reforço para acções no plano e fora do plano de alvenaria antiga através de encamisamento com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura  | 88 |
| <b>27A</b> |  | Reforço para acções no plano e fora do plano de alvenaria antiga de pedra através de encamisamento generalizado com rede em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                 | 90 |
| <b>27B</b> |  | Reforço para acções no plano e fora do plano de alvenaria antiga de bloco cerâmico maciço através de encamisamento generalizado com rede em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura | 92 |
| <b>27C</b> |  | Reforço para acções no plano e fora do plano de alvenaria antiga em terra crua/adobe através de encamisamento generalizado com rede em fibra natural de basalto e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                 | 94 |

|           |   |  |     |
|-----------|---|--|-----|
| <b>28</b> |    | Consolidação e reforço de panos de parede resistente através de cintagem ao nível dos pisos com bandas de tecido em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura            | 96  |
| <b>29</b> |    | Consolidação e reforço de panos de parede resistente através da sua armação com interposição de bandas de tecido em fibra de aço galvanizado nas juntas e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura | 98  |
| <b>30</b> |    | Realização de amarrações de fachada através da instalação de bandas de tecido em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura   | 100 |
| <b>31</b> |    | Reforço de pilares em alvenaria através de confinamento com bandas de tecido em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura  | 102 |
| <b>32</b> |   | Reforço de pilares em alvenaria à vista através de confinamento pontual com varões helicoidais em aço inox inseridos a seco  | 104 |
| <b>33</b> |  | Reforço de pilares em alvenaria à vista através de confinamento pontual com conectores em fibra de aço galvanizado injectados com geoargamassa hiperfluida à base de cal hidráulica natural pura             | 106 |




### ARCOS

|           |   |  |     |
|-----------|---|--|-----|
| <b>34</b> |  | Reforço e consolidação de arcos através do reforço do extradorso com bandas de tecido em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                     | 108 |
| <b>35</b> |  | Reforço e consolidação de arcos através do reforço do intradorso com bandas de tecido em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                     | 110 |
| <b>36</b> |  | Reforço e consolidação de arcos pelo intradorso através da fixação a seco de varões helicoidais em aço inox  | 112 |
| <b>37</b> |  | Reforço e consolidação de arcos pelo intradorso através da fixação de conectores em fibra de aço galvanizado injectados com geoargamassa hiperfluida à base de cal hidráulica natural pura | 114 |





## SOLUÇÕES PARA A CONSOLIDAÇÃO DE ESTRUTURAS EM ALVENARIA PORTANTE DE TIJOLO MACIÇO, TUFO, PEDRA NATURAL, TERRA CRUA E ADOBE

### ABÓBADAS

|           |   |  |     |
|-----------|---|--|-----|
| <b>38</b> |    | Reforço e consolidação de abóbadas de berço através do reforço do extradorso com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                       | 116 |
| <b>39</b> |    | Reforço e consolidação de abóbadas de berço através do reforço do intradorso com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                       | 118 |
| <b>40</b> |    | Reforço e consolidação de abóbadas de berço através do reforço do extradorso com rede distribuída em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura  | 120 |
| <b>41</b> |    | Reforço e consolidação de abóbadas de berço através de reforço do intradorso com rede distribuída em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura  | 122 |
| <b>42</b> |   | Reforço e consolidação de abóbadas de aresta através do reforço do extradorso com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                      | 124 |
| <b>43</b> |  | Reforço e consolidação de abóbadas de aresta através do reforço do intradorso com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                      | 126 |
| <b>44</b> |  | Reforço e consolidação de abóbadas de aresta através do reforço do extradorso com rede distribuída em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura | 128 |
| <b>45</b> |  | Reforço e consolidação de abóbadas de aresta através do reforço do intradorso com rede distribuída em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura | 130 |
| <b>46</b> |  | Reforço e consolidação de abóbadas de claustro através do reforço do extradorso com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                    | 132 |

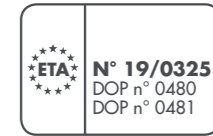
|           |   |  |     |
|-----------|---|--|-----|
| <b>47</b> |  | Reforço e consolidação de abóbadas de claustro através do reforço do intradorso com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                      | 134 |
| <b>48</b> |  | Reforço e consolidação de abóbadas de claustro através do reforço do extradorso com rede distribuída em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura | 136 |
| <b>49</b> |  | Reforço e consolidação de abóbadas de claustro através do reforço do intradorso com rede distribuída em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura | 138 |

### CÚPULAS

|           |   |   |     |
|-----------|---|---|-----|
| <b>50</b> |   | Reforço e consolidação de cúpulas através do reforço do extradorso com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                      | 140 |
| <b>51</b> |  | Reforço e consolidação de cúpulas através do reforço do intradorso com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura                      | 142 |
| <b>52</b> |  | Reforço e consolidação de cúpulas através do reforço do extradorso com rede distribuída em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura | 144 |
| <b>53</b> |  | Reforço e consolidação de cúpulas através do reforço do intradorso com rede distribuída em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura | 146 |

## 50

## Reforço e consolidação de cúpulas através do reforço do extradorso com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura



## PRESCRIÇÃO

- Preparação dos suportes. Assegurar a eventual picagem e remoção das camadas superiores, limpar a superfície do extradorso até deixar à vista os elementos estruturais e realizar a selagem e o preenchimento das eventuais lesões presentes, tanto no intradorso como no extradorso, com o material adequado e utilização da geoargamassa GEOCALCE F ANTISISMICO, compatível com a argamassa existente, de modo a recuperar a continuidade estrutural e estética. Realizar a limpeza final das abóbadas através de ar comprimido, posterior aspiração dos materiais sobranes e humedificação das superfícies. Em caso de intradorso pintado, aplicar em alternativa o fixador consolidante superficial tipo BIOCALCE SILICATO CONSOLIDANTE ou RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE; no caso de suportes em gesso, isolar previamente com RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE.
- Aplicação do sistema de reforço. Realizar o sistema de reforço estrutural em fibra de aço Steel Reinforced Grout (combinação de fibra de aço e argamassa mineral à base de cal hidráulica natural pura NHL 3.5 e geoligante), tendo o cuidado de posicionar as bandas segundo indicado pelo projectista e seguindo os esquemas gráficos referidos na tabela anexa. A largura das bandas e o espaçamento devem ser determinados pelo projectista. Para aplicar as bandas, aplicar uma primeira demão de GEOCALCE F ANTISISMICO, garantindo sobre o suporte uma quantidade de material suficiente (espessura média 3 – 5 mm) para o regularizar e para aplicar e embeber o tecido de reforço. Posteriormente, aplicar, sobre a matriz ainda fresca, o tecido em fibra de aço galvanizado GEOSTEEL G600, garantindo o embebimento perfeito da banda na camada de matriz, exercendo uma pressão enérgica com a espátula e tendo o cuidado que a mesma saia por entre os cabos, garantindo assim uma óptima aderência entre a primeira e segunda camada de matriz. Concluir a aplicação com o barramento final protector (espessura média 2 – 5 mm), sempre realizado com GEOCALCE F ANTISISMICO, com o fim de embeber totalmente o reforço e preencher eventuais vazios subjacentes. Em caso de camadas posteriores à primeira, deve-se proceder à aplicação da segunda camada de fibra sobre a camada de matriz ainda fresca.

Para garantir uma melhor eficácia do sistema de reforço, assegurar sempre a ancoragem das extremidades do tecido em fibra de aço nas zonas de apoio geralmente posicionadas logo acima do plano da nasença da cúpula, tendo o cuidado de “desfibrilhar” a parte terminal da banda em fibra de aço GEOSTEEL G600, realizando um número de grupos de cabos na continuidade da banda e garantindo assim uma ancoragem contínua, procurando um alinhamento o mais tangente possível à directriz da cúpula. Sugere-se efectuar esses grupos fixando porções de banda com uma largura não superior a 10 cm, com realização prévia do furo. Por fim, proceder à aplicação por gravidade da geoargamassa hiperfluida GEOCALCE FL ANTISISMICO, com molhagem prévia do furo, para criar a perfeita ligação mecânica entre o tecido de reforço e o suporte em alvenaria. É possível prolongar o comprimento de ancoragem por toda a espessura do apoio e alvenaria perimetral e ligar o reforço do arco com eventuais cintagens ao nível dos pisos.

## ADVERTÊNCIAS

Na presença de pilastras, ogivas e arcos de rigidificação, de modo a evitar acumulações de tensão, deve-se ancorar a banda à cúpula, com a realização de grupos de cabos iguais aos descritos para ancoragem às alvenarias de apoio e perimetrais.

Quando por exigência do projecto o tecido GEOSTEEL G600 não é suficiente para satisfazer as verificações, pode ser substituído por GEOSTEEL G1200.

Intervenção compatível com os sistemas desumidificantes Kerakoll.

## ESPECIFICAÇÃO

Reforço de cúpulas através do reforço do extradorso com bandas em fibra de aço galvanizado, com um sistema compósito com matriz inorgânica SRG (Steel Reinforced Grout), provido de Marcação CE através de Avaliação Técnica Europeia (ETA) segundo o art.º 26 do Regulamento UE n.º 305/2011 ou de certificação internacional de validade comprovada, realizado com tecido unidireccional em fibra de aço galvanizado com resistência muito elevada, formado por microcabos de aço produzidos segundo a norma ISO 16120-1/4 2017 fixados sobre uma microrrede em fibra de vidro, com peso líquido da fibra de cerca de 670 g/m<sup>2</sup> – tipo GEOSTEEL G600 da Kerakoll – características técnicas certificadas da banda: resistência à tracção valor característico > 3000 MPa; módulo de elasticidade > 190 GPa; deformação final à rotura > 1,5%; área efectiva de um cabo 3x2 (5 fios) = 0,538 mm<sup>2</sup>; n.º cabos por cm = 1,57 com envolvimento dos fios com elevado ângulo de torção em conformidade com a norma ISO/DIS 17832; espessura equivalente da banda = 0,084 mm, embebido em geoargamassa de elevada higroscopicidade e transpirabilidade à base de cal hidráulica natural pura NHL 3.5 e geoligante mineral, agregados de areia de sílica e calcário dolomítico de curva granulométrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating 4 – tipo GEOCALCE F ANTISISMICO da Kerakoll – características técnicas certificadas: elevada eficácia em reduzir os poluentes interiores, não permite o desenvolvimento bacteriano (Classe B+) e fúngico (Classe F+) medido com o método CSTB, certificado com emissões muito baixas de COV com conformidade EC 1 Plus GEV-Emicode, emissão de CO<sub>2</sub> ≤ 250 g/kg, teor de materiais reciclados ≥ 30%. A geoargamassa natural é provida de marcação CE, classe da argamassa M15 (EN 998/2), classe de resistência R1 PCC (EN 1504-3), reacção ao fogo classe A1 (EN 13501-1), permeabilidade ao vapor de água de 15 a 35 (EN 1745), resistência à compressão aos 28 dias ≥ 15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo de elasticidade 9 GPa (EN 13412), aderência ao suporte aos 28 dias > 1,0 N/mm<sup>2</sup> – FP: B (EN 1015-12).

A intervenção desenvolve-se nas seguintes fases: picagem e remoção das camadas superiores à cúpula, selagem e preenchimento das eventuais lesões no extradorso e no intradorso com o material adequado assente com a geoargamassa; deixar à vista os elementos estruturais, limpeza e humedificação das superfícies ou aplicação de um fixador consolidante superficial; aplicação de uma primeira camada de geoargamassa, com espessura de cerca de 3 – 5 mm; com a argamassa ainda fresca, proceder à aplicação do tecido em fibra de aço galvanizado com resistência muito elevada, tendo o cuidado de garantir um embebimento completo do tecido e evitar a formação de eventuais vazios ou bolhas de ar que possam comprometer a aderência do tecido à matriz ou ao suporte; execução da segunda camada de geoargamassa, com espessura de cerca de 2 – 5 mm com o fim de embeber totalmente o tecido de reforço e preencher os eventuais vazios subjacentes; eventual repetição das fases de aplicação do tecido e geoargamassa em todas as camadas posteriores de reforço previstas no projecto; ancoragem das extremidades do tecido em fibra de aço no interior do suporte, procedendo à furação prévia dos suportes, enrolamento das extremidades do tecido em aço para inserir essas pontas no interior dos furos previamente realizados com aplicação por gravidade final de uma geoargamassa com higroscopicidade e transpirabilidade muito alta, hiperfluida, com elevada retenção de água à base de cal natural pura NHL 3.5 e geoligante mineral, intervalo granulométrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating 4, provida de marcação CE – tipo GEOCALCE FL ANTISISMICO da Kerakoll – características técnicas certificadas: elevada eficácia em reduzir os poluentes interiores, não permite o desenvolvimento bacteriano (Classe B+) e fúngico (Classe F+) medido com o método CSTB, certificado com emissões muito baixas de COV com conformidade EC 1 Plus GEV-Emicode, emissão de CO<sub>2</sub> ≤ 250 g/kg, teor de materiais reciclados ≥ 30%. A geoargamassa natural é provida de marcação CE, classe da argamassa M15 (EN 998/2), reacção ao fogo classe A1 (EN 13501-1), permeabilidade ao vapor de água de 15 a 35 (EN 1745), resistência à compressão aos 28 dias ≥ 15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo de elasticidade 9,5 GPa (EN 13412), resistência ao arrancamento do varão ancorado ≥ 3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78).

Inclui-se: o fornecimento e a aplicação em obra de todos os materiais acima descritos e tudo o que seja necessário para concluir o trabalho. Exclui-se: a eventual picagem e remoção das camadas superiores à cúpula, a reabilitação das zonas degradadas e reparação do substrato; as ancoragens das extremidades do tecido; os ensaios de aceitação do material; os inquéritos pré e pós-intervenção; todos os meios auxiliares necessários para a execução dos trabalhos.

O preço é à unidade de superfície de reforço efectivamente aplicado em obra, incluindo as sobreposições.

- Preparação, limpeza e humedificação das superfícies.
- Fixação mecânica das ancoragens com GEOCALCE FL ANTISISMICO.
- Aplicação da primeira demão de GEOCALCE F ANTISISMICO.



- Instalação do tecido em fibra de aço GEOSTEEL.
- Aplicação da segunda demão de GEOCALCE F ANTISISMICO.

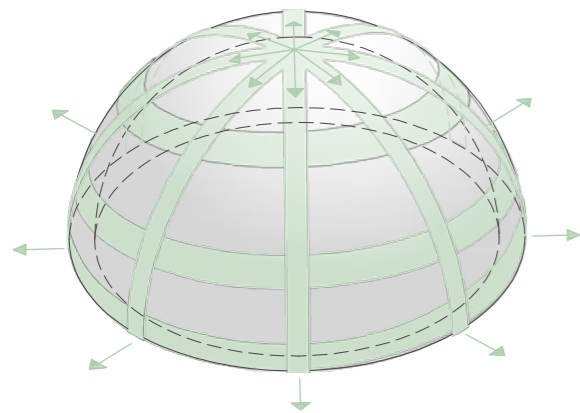




# 50

REFORÇO E CONSOLIDAÇÃO DE CÚPULAS ATRAVÉS DO REFORÇO DO EXTRADORSO COM BANDAS EM FIBRA DE AÇO GALVANIZADO E GEOARGAMASSA À BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL PURA

Geoforceone  
Software

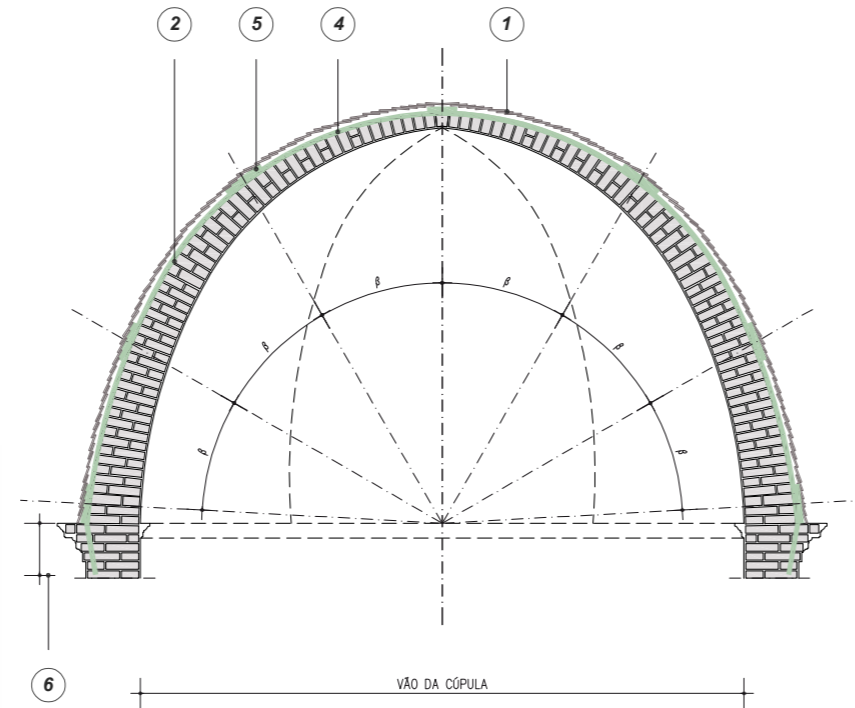


VISTA AXONOMÉTRICA  
REFORÇO DO EXTRADORSO DA CÚPULA

NOTA

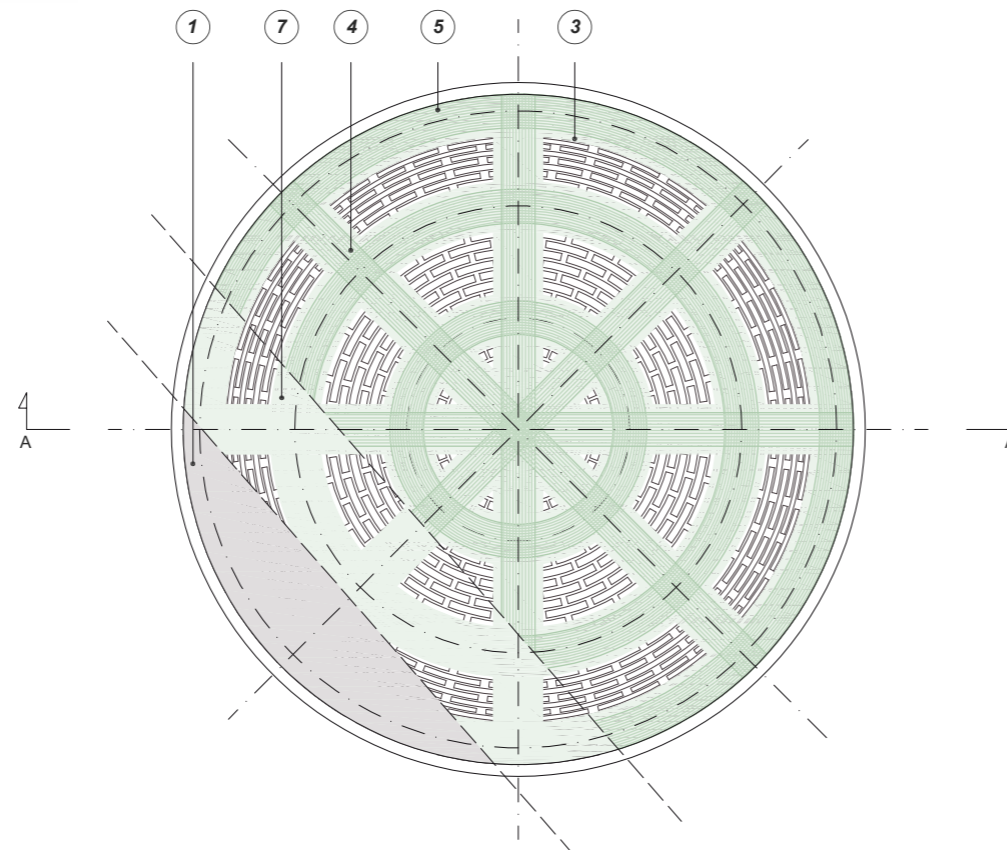
Os desenhos representam, a título de exemplo, um aparelho de alvenaria em pedra com uma abóbada em tijolo, mas o esquema permanece invariável se se estiver em presença de cúpulas de pedra, tijolo ou tufo. Na presença de alvenaria muito heterogénea, é sempre aconselhável efectuar uma intervenção combinada através de injeções de argamassa (TAB 24).

POWERED BY **kerakoll** ENGINEERED BY **ASDEA**



SECÇÃO A-A'  
SISTEMAS DE REFORÇO DO EXTRADORSO  
COM BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200

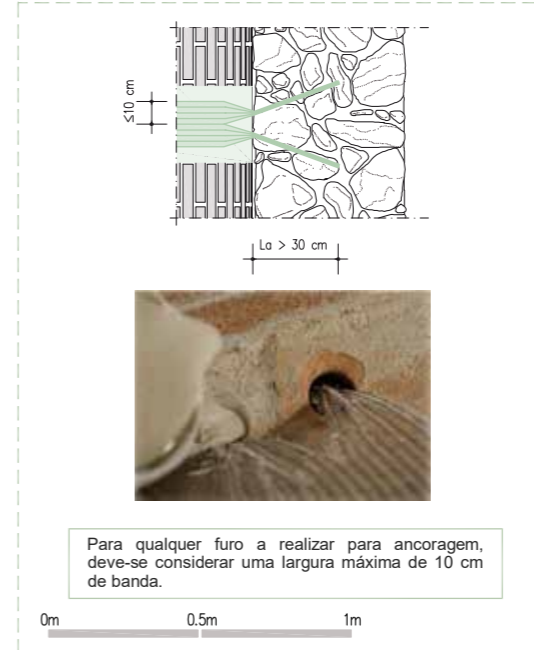
0m 0.5m 1m 2m



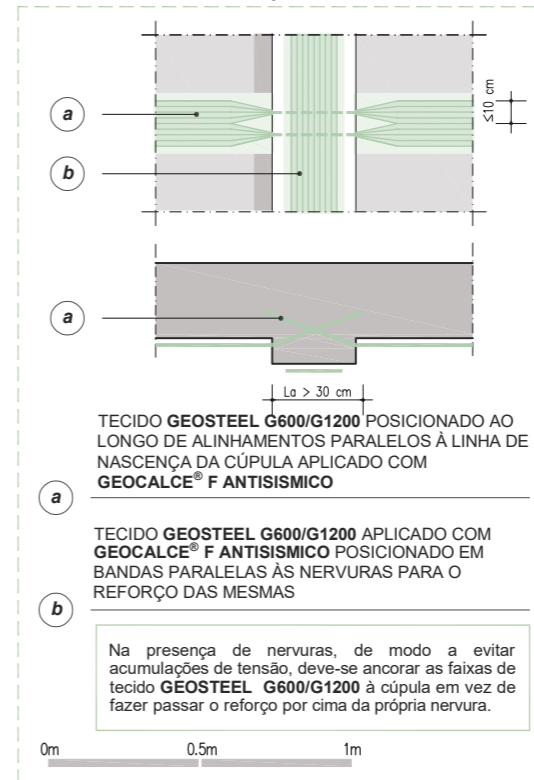
PLANTA  
SISTEMAS DE REFORÇO DO EXTRADORSO  
COM BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200

0m 0.5m 1m 2m

TIPO DE CONEXÃO RECOMENDADA



TIPO DE CONEXÃO NA PRESENÇA DE NERVURAS



QUADRO NORMATIVO

Contenção de impulsos e consolidação de arcos e abóbadas

A absorção dos impulsos de estruturas em abóbada, particularmente importante no caso de evento sísmico, pode ser obtida com **tirantes e cintagens**. A posição ideal dos tirantes é acima da nascedoura dos arcos, mas frequentemente essa solução não pode ser adoptada, pelo que pode ser necessário colocar os tirantes no extradorso, desde que seja demonstrada a eficácia e a flexão resultante seja adequadamente controlada. As ligações no extradorso podem ser realizadas com elementos dotados também de rigidez à flexão (elementos de secção limitada) e adicionando tirantes inclinados a estas conexões e ancoradas ao nível das nascedouras.

A realização de **contrafortes** (ou **augmentos de espessura da alvenaria**) é útil para solicitações não sísmicas, mas o seu efeito em caso de acções sísmicas deve ser adequadamente avaliado, por causa de potenciais efeitos locais ligados à sua rigidez elevada.

Para a consolidação de arcos e abóbadas, também é possível o recurso a técnicas de reforço no extradorso baseadas na utilização de compósitos reforçados com fibras.

(Circular 21 de Janeiro de 2019, n.º 7 - Instruções para a aplicação da Actualização das "Normas técnicas para a construção" segundo o decreto italiano de 17 de Janeiro de 2018, §C8.7.4 - 5)

Reforço de abóbadas e arcos

Abóbadas e arcos podem ser reforçados aplicando sistemas FRCM tanto no seu extradorso como no intradorso. Em ambos os casos, o objectivo é o de suprir a falta de resistência à tracção do aparelho de alvenaria. O reforço pode ser posicionado de modo contínuo ou em bandas, e pode ser ligado à alvenaria envolvente e à abóbada por aderência, e com conectores especiais. [...] A possibilidade de conferir um comportamento dúctil ao sistema estrutural traduz-se num aumento da capacidade resistente e numa melhoria qualitativa total, tendo presente a necessidade de um modelo fiável de verificação da integridade do reforço e da conexão reforço-estrutura.

(CNR - DT 215/2018 §2.1.2.2 - §4.5)

EVENTUAL REMOÇÃO DA COBERTURA E REAPLICAÇÃO APÓS INTERVENÇÃO DE REFORÇO

1

LIMPEZA DA SUPERFÍCIE DO EXTRADORSO DA CÚPULA, EVENTUAL APLICAÇÃO DO FIXADOR CONSOLIDANTE SUPERFICIAL TIPO BIOCALCE® SILICATO CONSOLIDANTE OU RASOBUILD® ECO CONSOLIDANTE. EVENTUAL RECONSTRUÇÃO DE VOLUMES PARA CONTINUIDADE DO MATERIAL E EVENTUAL REGULARIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE COM GEOCALCE® F ANTISMÍCO

2

APLICAÇÃO SOBRE O SUPORTE DE UMA ESPESSURA MÉDIA DE 3-5 mm DE GEOCALCE® F ANTISMÍCO PARA APLICAR E EMBEBER O TECIDO DE REFORÇO

3

INSTALAÇÃO DO TECIDO GEOSTEEL G600/G1200 POSICIONADO EM BANDAS PARALELAS AOS MERIDIANOS DA CÚPULA

4

INSTALAÇÃO DO TECIDO GEOSTEEL G600/G1200 POSICIONADO EM BANDAS PARALELAS AO LONGO DE ALINHAMENTOS PARALELOS À LINHA DE NASCENÇA DA CÚPULA

5

APLICAÇÃO DO TECIDO COM UM COMPRIMENTO DE ANCORAGEM  $L_a$  DE MODO A GARANTIR O FUNCIONAMENTO CORRECTO DO REFORÇO

6

Para garantir o funcionamento correcto do reforço na nascedoura da cúpula, este deve ser adequadamente aplicado e fixado mecanicamente à estrutura subjacente, recorrendo eventualmente a dispositivos mecânicos.

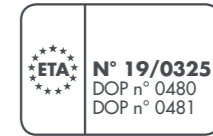
Aconselha-se um comprimento de ancoragem de pelo menos 30 cm. Para mais informação, consultar o APÊNDICE A.

7

BARRAMENTO FINAL PROTECTOR COM GEOCALCE® F ANTISMÍCO (ESPESURA MÉDIA DE 2-5 mm), PARA EMBEBER O REFORÇO E PREENCHER EVENTUAIS VAZIOS. É NECESSÁRIO GARANTIR A CURA SIMULTÂNEA DA CAMADA INICIAL E DA FINAL, QUE SERÁ ASSIM APLICADA QUANDO A PRECEDENTE AINDA ESTÁ FRESCA

## 51

## Reforço e consolidação de cúpulas através do reforço do intradorso com bandas em fibra de aço galvanizado e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura



### PRESCRIÇÃO

- Preparação dos suportes. Assegurar a eventual picagem e remoção das camadas superiores. Sobre a superfície do intradorso da cúpula, remover completamente os resíduos de trabalhos precedentes, que possam prejudicar a aderência, limpar a superfície até deixar à vista os elementos estruturais e realizar a selagem e o preenchimento das eventuais lesões presentes, tanto no intradorso como no extradorso, com o material adequado e utilização da geoargamassa GEOCALCE F ANTISISMICO, compatível com a argamassa existente, de modo a recuperar a continuidade estrutural e estética. Preparar, limpar e humidificar as superfícies. Realizar uma eventual aplicação de fixador consolidante superficial tipo BIOCALCE SILICATO CONSOLIDANTE ou RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE; no caso de suportes em gesso, isolar previamente com RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE.
- Aplicação do sistema de reforço. Realizar o sistema de reforço estrutural em fibra de aço Steel Reinforced Grout (combinação de fibra de aço e argamassa mineral à base de cal hidráulica natural pura NHL 3.5 e geoligante), tendo o cuidado de posicionar as bandas segundo indicado pelo projectista e seguindo os esquemas gráficos referidos na tabela anexa. A largura das bandas e o espaçamento devem ser determinados pelo projectista. Para aplicar as bandas, aplicar uma primeira demão de GEOCALCE F ANTISISMICO, garantindo sobre o suporte uma quantidade de material suficiente (espessura média 3 – 5 mm) para o regularizar e para aplicar e embeber o tecido de reforço. Posteriormente, aplicar, sobre a matriz ainda fresca, o tecido em fibra de aço galvanizado GEOSTEEL G600, garantindo o embebedimento perfeito da banda na camada de matriz, exercendo uma pressão enérgica com a espátula e tendo o cuidado que a mesma saia por entre os cabos, garantindo assim uma óptima aderência entre a primeira e segunda camada de matriz. Posicionar o tecido em bandas ao longo das directrizes dos paralelos e dos meridianos das cúpula. Concluir a aplicação com o barramento final protector (espessura média 2 – 5 mm), sempre realizado com GEOCALCE F ANTISISMICO, com o fim de embeber totalmente o reforço e preencher eventuais vazios subjacentes. Em caso de camadas posteriores à primeira, deve-se proceder à aplicação da segunda camada de fibra sobre a camada de matriz ainda fresca.  
Para garantir uma melhor eficácia do sistema de reforço, realizar os conectores utilizando o tecido GEOSTEEL G600 ou G1200, preparados para obter um comprimento de ancoragem igual ao previsto e verificado pelo projectista. É responsabilidade do projectista dimensionar as eventuais distâncias entre os eixos de conectores vizinhos.

### ADVERTÊNCIAS

Consultar o APÊNDICE B para conhecer as modalidades de instalação e as prestações mecânicas dos conectores com tubo desfibrilhado, realizado com a gama de tecidos GEOSTEEL em combinação com a roseta de extremidade em polipropileno armado com fibra de vidro INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.

Quando por exigência do projecto o tecido GEOSTEEL G600 não é suficiente para satisfazer as verificações, pode ser substituído por GEOSTEEL G1200.

Intervenção compatível com os sistemas desumidificantes Kerakoll.

### ESPECIFICAÇÃO

Reforço de cúpulas com reforço do intradorso com bandas em fibra de aço galvanizado, com um sistema compósito com matriz inorgânica SRG (Steel Reinforced Grout), provido de Marcação CE através de Avaliação Técnica Europeia (ETA) segundo o art.º 26 do Regulamento UE n.º 305/2011 ou de certificação internacional de validade comprovada, realizado com tecido unidireccional em fibra de aço galvanizado com resistência muito elevada, formado por microcabos de aço produzidos segundo a norma ISO 16120-1/4 2017 fixados sobre uma microrrede em fibra de vidro, com peso líquido da fibra de cerca de 670 g/m<sup>2</sup> – tipo GEOSTEEL G600 da Kerakoll – características técnicas certificadas da banda: resistência à tracção valor característico > 3000 MPa; módulo de elasticidade > 190 GPa; deformação final à rotura > 1,5%; área efectiva de um cabo 3x2 (5 fios) = 0,538 mm<sup>2</sup>; n.º cabos por cm = 1,57 com envolvimento dos fios com elevado ângulo de torsão em conformidade com a norma ISO/DIS 17832; espessura equivalente da banda = 0,084 mm, embebido em geoargamassa de elevada higroscopicidade e transpirabilidade à base de cal hidráulica natural pura NHL 3.5 e geoligante mineral, agregados de areia de sílica e calcário dolomítico de curva granulométrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating 4 – tipo GEOCALCE F ANTISISMICO da Kerakoll – características técnicas certificadas: elevada eficácia em reduzir os poluentes interiores, não permite o desenvolvimento bacteriano (Classe B+) e fúngico (Classe F+) medido com o método CSTB, certificado com emissões muito baixas de COV com conformidade EC 1 Plus GEV-Emicode, emissão de CO<sub>2</sub> ≤ 250 g/kg, teor de materiais reciclados ≥ 30%. A geoargamassa natural é provida de marcação CE, classe da argamassa M15 (EN 998/2), classe de resistência R1 PCC (EN 1504-3), reacção ao fogo classe A1 (EN 13501-1), permeabilidade ao vapor de água de 15 a 35 (EN 1745), resistência à compressão aos 28 dias ≥ 15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo de elasticidade 9 GPa (EN 13412), aderência ao suporte aos 28 dias > 1,0 N/mm<sup>2</sup> – FP: B (EN 1015-12).

A intervenção desenvolve-se nas seguintes fases: eventual preparação das superfícies a reforçar, através da remoção do reboco existente, reparação de eventuais lesões através de enchimento; limpeza e humedificação da superfície ou aplicação de um fixador consolidante superficial; aplicação de uma primeira camada de geoargamassa, com espessura de cerca de 3 – 5 mm; com a argamassa ainda fresca, proceder à aplicação do tecido em fibra de aço galvanizado com resistência muito elevada, tendo o cuidado de garantir um embebedimento completo do tecido e evitar a formação de eventuais vazios ou bolhas de ar que possam comprometer a aderência do tecido à matriz ou ao suporte; execução da segunda camada de geoargamassa, com espessura de cerca de 2 – 5 mm com o fim de embeber totalmente o tecido de reforço e preencher os eventuais vazios subjacentes; repetição das fases de aplicação do tecido e geoargamassa em todas as camadas posteriores de reforço previstas no projecto; inserção de conectores realizados com um tecido unidireccional em fibra de aço galvanizado com resistência muito elevada, a ser instalado a cada 30 – 40 cm ao longo do desenvolvimento da instalação da banda, após: realização do furo de entrada, com dimensões adequadas, preparação do conector metálico através de corte, “desfibrilhamento”, e enrolamento final do tecido em fibra de aço, inserção do conector no interior do furo com injeccção final a baixa pressão de geoargamassa com higroscopicidade e transpirabilidade muito alta, hiperfluida, com elevada retenção de água à base de cal natural pura NHL 3.5 e geoligante mineral, intervalo granulométrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating 4, provida de marcação CE – tipo GEOCALCE FL ANTISISMICO da Kerakoll – características técnicas certificadas: elevada eficácia em reduzir os poluentes interiores, não permite o desenvolvimento bacteriano (Classe B+) e fúngico (Classe F+) medido com o método CSTB, certificado com emissões muito baixas de COV com conformidade EC 1 Plus GEV-Emicode, emissão de CO<sub>2</sub> ≤ 250 g/kg, teor de materiais reciclados ≥ 30%. A geoargamassa natural é provida de marcação CE, classe da argamassa M15 (EN 998/2), reacção ao fogo classe A1 (EN 13501-1), permeabilidade ao vapor de água de 15 a 35 (EN 1745), resistência à compressão aos 28 dias ≥ 15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo de elasticidade 9,5 GPa (EN 13412), resistência ao arrancamento do varão ancorado ≥ 3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78).

Inclui-se: o fornecimento e a aplicação em obra de todos os materiais acima descritos e tudo o que seja necessário para concluir o trabalho. Exclui-se: a eventual remoção do reboco existente e a reabilitação das zonas degradadas e reparação do substrato; as fixações mecânicas das extremidades do tecido; os conectores e a injeccção dos mesmos e todos os encargos necessários para a sua realização; os ensaios de aceitação do material; os inquéritos pré e pós-intervenção; todos os meios auxiliares necessários para a execução dos trabalhos.

O preço é à unidade de superfície de reforço efectivamente aplicado em obra, incluindo as sobreposições.

1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_

Execução dos furos guia.



Molhagem do suporte.



Aplicação da primeira demão de GEOCALCE F ANTISISMICO.



4 \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ 6 \_\_\_\_\_

Instalação do tecido em fibra de aço GEOSTEEL.



Instalação do conector realizado com tecido em fibra de aço GEOSTEEL e INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.

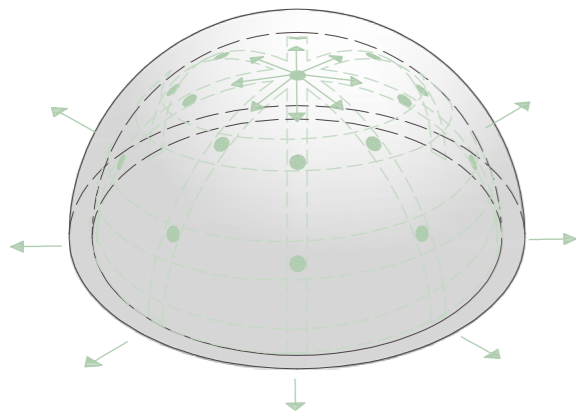


Fixação mecânica dos conectores com GEOCALCE FL ANTISISMICO e fecho do furo de injeccção com a tampa de fecho própria.



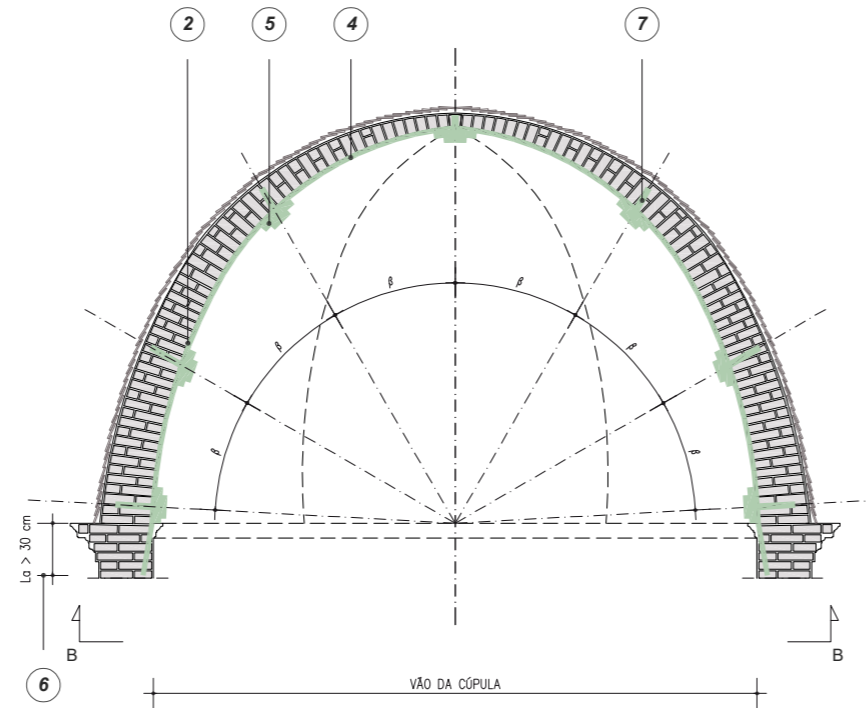


REFORÇO E CONSOLIDAÇÃO DE CÚPULAS ATRAVÉS DO REFORÇO DO INTRADORSO COM BANDAS EM FIBRA DE AÇO GALVANIZADO E GEOARGAMASSA À BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL PURA



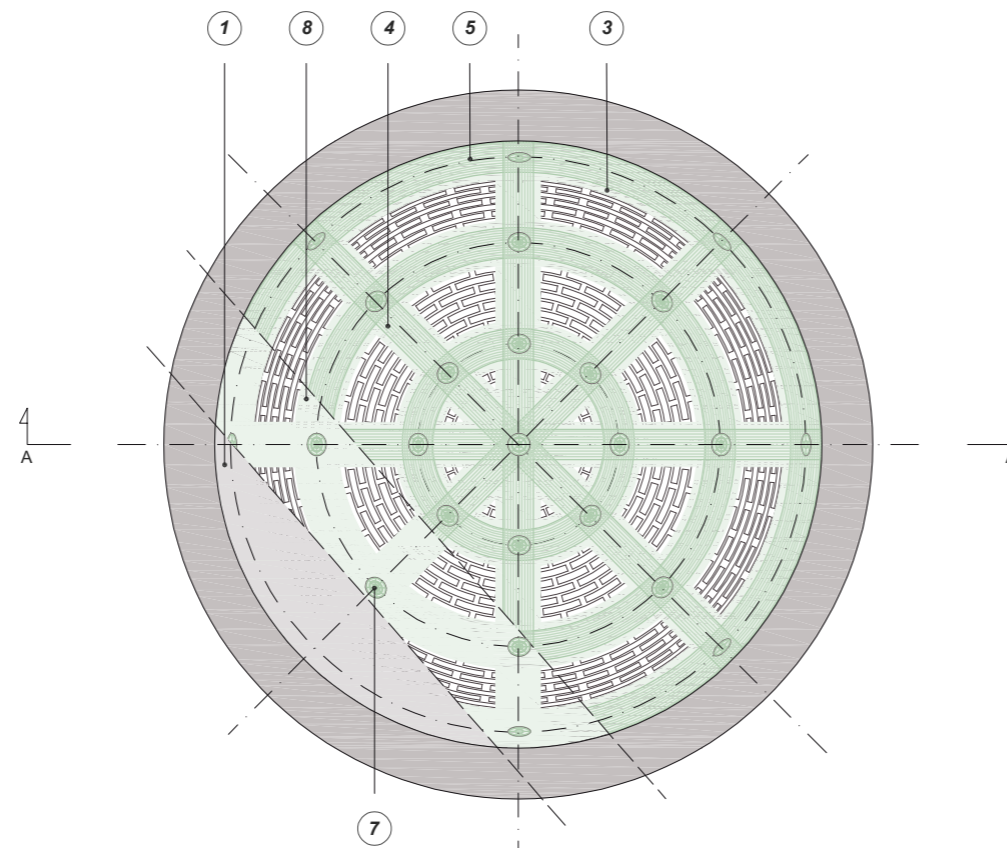
VISTA AXONOMÉTRICA  
REFORÇO DO INTRADORSO DA CÚPULA

**NOTA**  
Os desenhos representam, a título de exemplo, um aparelho de alvenaria em pedra com uma abóbada em tijolo, mas o esquema permanece invariável se se estiver em presença de abóbadas de pedra ou tufo. Na presença de alvenaria muito heterogénea, é sempre aconselhável efectuar uma intervenção combinada através de injecções de argamassa (TAB 24).



SECÇÃO A-A'  
SISTEMAS DE REFORÇO DO INTRADORSO  
COM BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200

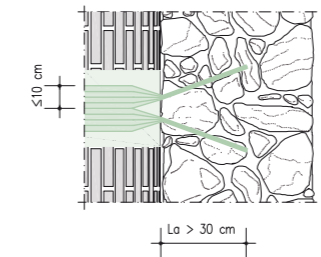
0m 0.5m 1m 2m



PLANTA B - B'  
SISTEMAS DE REFORÇO DO INTRADORSO  
COM BANDAS DE GEOSTEEL G600/G1200

0m 0.5m 1m 2m

TIPO DE CONEXÃO RECOMENDADA



Para qualquer furo a realizar para ancoragem, deve-se considerar uma largura máxima de 10 cm de banda.

0m 0.5m 1m

1 EVENTUAL REMOÇÃO DO REBOCO E RECONSTRUÇÃO APÓS A INTERVENÇÃO DE REFORÇO

2 LIMPEZA DA SUPERFÍCIE DO INTRADORSO E EXTRADORSO DA CÚPULA. EVENTUAL APLICAÇÃO DO FIXADOR CONSOLIDANTE SUPERFICIAL TIPO **BIOCALCE® SILICATO CONSOLIDANTE** OU **RASOBUILD® ECO CONSOLIDANTE**. EVENTUAL RECONSTRUÇÃO DE VOLUMES PARA CONTINUIDADE DO MATERIAL E EVENTUAL REGULARIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE COM **GEOCALCE® F ANTISMICO**

3 APLICAÇÃO SOBRE O SUPORTE DE UMA ESPESSURA MÉDIA DE 3-5 mm DE **GEOCALCE® F ANTISMICO** PARA APLICAR E EMBEBER O TECIDO DE REFORÇO

4 INSTALAÇÃO DO TECIDO **GEOSTEEL G600/G1200** POSICIONADO EM BANDAS PARALELAS AOS MERIDIANOS DA CÚPULA

5 INSTALAÇÃO DO TECIDO **GEOSTEEL G600/G1200** POSICIONADO EM BANDAS PARALELAS AO LONGO DE ALINHAMENTOS PARALELOS À LINHA DE NASCENÇA DA CÚPULA

6 APLICAÇÃO DO TECIDO COM UM COMPRIMENTO DE ANCORAGEM  $L_a$  DE MODO A GARANTIR O FUNCIONAMENTO CORRECTO DO REFORÇO

Para garantir o funcionamento correcto do reforço na nasença da cúpula, este deve ser adequadamente aplicado e fixado mecanicamente à estrutura subjacente, recorrendo eventualmente a dispositivos mecânicos.

Aconselha-se um comprimento de ancoragem de pelo menos 30 cm. Para mais informação, consultar o APÊNDICE A.

7 INSTALAÇÃO DE DIÁTONOS COM EXTREMIDADE DESFIBRILHADA **GEOSTEEL G600/G1200**

Para os sistemas de reforço aplicados no intradorso, é aconselhável prever conectores mecânicos desfibrilhados **GEOSTEEL G600/G1200** para evitar fenómenos de destacamento. Aconselha-se um espaçamento entre os conectores de 40 cm, e coincidentes com o cruzamento das bandas de reforço ortogonais entre si.

Consultar o APÊNDICE A para detalhes mais aprofundados sobre as modalidades de montagem dos conectores.

8 BARRAMENTO FINAL PROTECTOR COM **GEOCALCE® F ANTISMICO** (ESPESSURA MÉDIA DE 2-5 mm), PARA EMBEBER O REFORÇO E PREENCHER EVENTUAIS VAZIOS. É NECESSÁRIO GARANTIR A CURA SIMULTÂNEA DA CAMADA INICIAL E DA FINAL, QUE SERÁ ASSIM APLICADA QUANDO A PRECEDENTE AINDA ESTÁ FRESCA

QUADRO NORMATIVO

**Contenção de impulsos e consolidação de arcos e abóbadas**

A absorção dos impulsos de estruturas em abóbada, particularmente importante no caso de evento sísmico, pode ser obtida com **tirantes e cintagens**. A posição ideal dos tirantes é acima da nasença dos arcos, mas frequentemente essa solução não pode ser adoptada, pelo que pode ser necessário colocar os tirantes no extradorso, desde que seja demonstrada a eficácia e a flexão resultante seja adequadamente controlada.

As ligações no extradorso podem ser realizadas com elementos dotados também de rigidez à flexão (elementos de secção limitada) e adicionando tirantes inclinados a estas conexões e ancoradas ao nível das nasenças.

A realização de **contrafortes** (ou **umentos de espessura da alvenaria**) é útil para solicitações não sísmicas, mas o seu efeito em caso de acções sísmicas deve ser adequadamente avaliado, por causa de potenciais efeitos locais ligados à sua rigidez elevada. Para a consolidação de arcos e abóbadas, também é possível o recurso a técnicas de reforço no extradorso baseadas na utilização de compósitos reforçados com fibras.

(Circular 21 de Janeiro de 2019, n.º 7 - Instruções para a aplicação da Actualização das "Normas técnicas para a construção" segundo o decreto italiano de 17 de Janeiro de 2018, §C8.7.4 - 5)

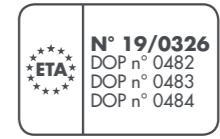
**Reforço de abóbadas e arcos**

Abóbadas e arcos podem ser reforçados aplicando sistemas FRCM tanto no seu extradorso como no intradorso. Em ambos os casos, o objectivo é o de suprir a falta de resistência à tracção do aparelho de alvenaria. O reforço pode ser posicionado de modo contínuo ou em bandas, e pode ser ligado à alvenaria envolvente e à abóbada por aderência, e com conectores especiais. [...] A possibilidade de conferir um comportamento dúctil ao sistema estrutural traduz-se num aumento da capacidade resistente e numa melhoria qualitativa total, tendo presente a necessidade de um modelo fiável de verificação da integridade do reforço e da conexão reforço-estrutura.

(CNR - DT 215/2018 §2.1.2.2 - §4.5)

## 52

## Reforço e consolidação de cúpulas através do reforço do extradorso com rede distribuída em fibra natural de basalto e aço inox e geoargamassa à base de cal hidráulica natural pura



### PRESCRIÇÃO

- Preparação dos suportes. Assegurar a eventual picagem e remoção das camadas superiores, limpar a superfície do extradorso até deixar à vista os elementos estruturais e realizar a selagem e o preenchimento das eventuais lesões presentes, tanto no intradorso como no extradorso, com o material adequado e utilização da geoargamassa GEOCALCE F ANTISISMICO, compatível com a argamassa existente, de modo a recuperar a continuidade estrutural e estética. Realizar a limpeza final das abóbadas através de ar comprimido, posterior aspiração dos materiais sobranes e humedificação das superfícies. Em caso de intradorso pintado, aplicar em alternativa o fixador consolidante superficial tipo BIOCALCE SILICATO CONSOLIDANTE ou RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE; no caso de suportes em gesso, isolar previamente com RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE.
- Aplicação do sistema de reforço. Realizar o sistema de reforço distribuído sobre toda a superfície do extradorso com rede em fibra de basalto e aço Inox AISI 304, com tratamento protector especial resistente aos álcalis com resina de base aquosa isenta de solventes, Fabric Reinforced Cementitious Matrix (combinação da rede em fibra de basalto e argamassa mineral à base de cal hidráulica natural pura NHL 3.5 e geoligante), tendo o cuidado de posicionar a rede de modo uniforme sobre toda a superfície, segundo indicado pelo projectista. Para garantir a uniformidade da superfície, evitar as sobreposições longitudinais e realizar uma sobreposição lateral que garanta o funcionamento correcto do reforço. Para aplicar as bandas, aplicar uma primeira demão de GEOCALCE F ANTISISMICO, garantindo sobre o suporte uma quantidade de material suficiente (espessura média 3 – 5 mm) para o regularizar e para aplicar e embeber o tecido de reforço. Posteriormente, aplicar, sobre a matriz ainda fresca, a rede biaxial em fibra de basalto e aço inox AISI 304, com tratamento protector especial resistente aos álcalis com resina de base aquosa isenta de solventes, GEOSTEEL GRID 200, garantindo o embebimento perfeito da rede na camada de matriz, exercendo uma pressão enérgica com a espátula e tendo o cuidado que a mesma saia pela rede, garantindo assim uma óptima aderência entre a primeira e segunda camada de matriz. Concluir a aplicação com o barramento final protector (espessura média 2 – 5 mm), sempre realizado com GEOCALCE F ANTISISMICO, com o fim de embeber totalmente o reforço e preencher eventuais vazios subjacentes. Em caso de camadas posteriores à primeira, deve-se proceder à aplicação da segunda camada de fibra sobre a camada de matriz ainda fresca. Se for possível, realizar os sistemas de ancoragem nos apoios da cúpula, ligando o reforço às eventuais cintagens ao nível dos pisos. Para garantir uma melhor eficácia do sistema de reforço e uma ligação adequada às extremidades, realizar os conectores utilizando o tecido GEOSTEEL G600 ou G1200, preparados para obter um comprimento de ancoragem igual ao previsto e verificado pelo projectista. É responsabilidade do projectista dimensionar as eventuais distâncias entre os eixos de conectores vizinhos.

### ADVERTÊNCIAS

O projectista pode escolher, com base nas exigências do projecto, em alternativa à rede biaxial em fibra de basalto e aço inox GEOSTEEL GRID 200, a rede biaxial em fibra de basalto e aço inox GEOSTEEL GRID 400 ou a rede de armadura biaxial em fibra de vidro resistente aos álcalis e aramida RINFORZO ARV 100.

Consultar o APÊNDICE B para conhecer as modalidades de instalação e as prestações mecânicas dos conectores com tubo desfibrilhado, realizado com a gama de tecidos GEOSTEEL em combinação com a roseta de extremidade em polipropileno armado com fibra de vidro INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.

Intervenção compatível com os sistemas desumidificantes Kerakoll.

### ESPECIFICAÇÃO

Reforço distribuído no extradorso de cúpulas com sistema compósito de matriz inorgânica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provido de Marcação CE através de Avaliação Técnica Europeia (ETA) segundo o art.º 26 do Regulamento UE n.º 305/2011 ou de certificação internacional de validade comprovada, realizado com rede equilibrada em fibra de basalto e aço Inox AISI 304, – tipo GEOSTEEL GRID 200 da Kerakoll – características técnicas certificadas: aço inox AISI 304, com tratamento protector especial resistente aos álcalis com resina de base aquosa isenta de solventes; resistência à tracção do fio > 750 MPa, módulo de elasticidade E > 200 GPa; fibra de basalto: resistência à tracção ≥ 3000 MPa, módulo de elasticidade E ≥ 87 GPa; dimensão da malha 17x17 mm, espessura equivalente  $t_f$  (0°-90°) = 0,032 mm, massa total incluindo a termosoldadura e revestimento protector ≈ 200 g/m<sup>2</sup>, embebida em geoargamassa de elevada higroscopicidade e transpirabilidade à base de cal hidráulica natural pura NHL 3.5 e geoligante mineral, agregados de areia de sílica e calcário dolomítico de curva granulométrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating 4 – tipo GEOCALCE F ANTISISMICO da Kerakoll – características técnicas certificadas: elevada eficácia em reduzir os poluentes interiores, não permite o desenvolvimento bacteriano (Classe B+) e fúngico (Classe F+) medido com o método CSTB, certificado com emissões muito baixas de COV com conformidade EC 1 Plus GEV-Emicode, emissão de CO<sub>2</sub> ≤ 250 g/kg, teor de materiais reciclados ≥ 30%. A geoargamassa natural é provida de marcação CE, classe da argamassa M15 (EN 998/2), classe de resistência R1 PCC (EN 1504-3), reacção ao fogo classe A1 (EN 13501-1), permeabilidade ao vapor de água de 15 a 35 (EN 1745), resistência à compressão aos 28 dias ≥ 15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo de elasticidade 9 GPa (EN 13412), aderência ao suporte aos 28 dias > 1,0 N/mm<sup>2</sup> – FP: B (EN 1015-12). A intervenção desenvolve-se nas seguintes fases: picagem e remoção das camadas superiores à cúpula, selagem e preenchimento das eventuais lesões no extradorso e no intradorso com o material adequado assente com a geoargamassa (a contabilizar à parte); deixar à vista os elementos estruturais, limpeza e humedificação das superfícies ou aplicação de um fixador consolidante superficial; aplicação de uma primeira camada de geoargamassa, com espessura de cerca de 3 – 5 mm; com a argamassa ainda fresca, aplicação da rede, garantindo um embebimento completo da rede e evitando a formação de eventuais vazios que possam comprometer a aderência do tecido à matriz ou ao suporte; execução da segunda camada de geoargamassa, com espessura de cerca de 2– 5 mm, com o fim de embeber totalmente a rede de reforço e preencher os eventuais vazios subjacentes; repetição das fases de aplicação da rede e geoargamassa em todas as camadas posteriores de reforço previstas no projecto; ancoragem das extremidades da rede (a contabilizar à parte) com inserção de conectores realizados com um tecido unidireccional em fibra de aço galvanizado com resistência muito elevada, formado por microcabos de aço produzidos segundo a norma ISO 16120-1/4 2017 – tipo GEOSTEEL da Kerakoll – com as seguintes características técnicas certificadas: resistência à tracção valor característico > 3000 MPa; módulo de elasticidade > 190 GPa; deformação final à rotura > 1,5%; área efectiva de um cabo 3x2 (5 fios) = 0,538 mm<sup>2</sup>; com envolvimento dos fios com elevado ângulo de torção em conformidade com a norma ISO/DIS 17832, após: realização do furo de entrada, com dimensões adequadas, preparação do conector metálico através de corte, “desfibrilhamento”, e enrolamento final do tecido em fibra de aço, inserção do conector no interior do furo com injeção final a baixa pressão de geoargamassa com higroscopicidade e transpirabilidade muito alta, hiperfluida, com elevada retenção de água à base de cal natural pura NHL 3.5 e geoligante mineral, intervalo granulométrico 0-100 µm, GreenBuilding Rating 4, provida de marcação CE – tipo GEOCALCE FL ANTISISMICO da Kerakoll – características técnicas certificadas: elevada eficácia em reduzir os poluentes interiores, não permite o desenvolvimento bacteriano (Classe B+) e fúngico (Classe F+) medido com o método CSTB, certificado com emissões muito baixas de COV com conformidade EC 1 Plus GEV-Emicode, emissão de CO<sub>2</sub> ≤ 250 g/kg, teor de materiais reciclados ≥ 30%. A geoargamassa é provida de marcação CE, classe da argamassa M15 (EN 998/2), reacção ao fogo classe A1 (EN 13501-1), permeabilidade ao vapor de água de 15 a 35 (EN 1745), resistência à compressão aos 28 dias ≥ 15 N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo de elasticidade 9,5 GPa (EN 13412), resistência ao arrancamento do varão ancorado ≥ 3,5 MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78). Inclui-se: o fornecimento e a aplicação em obra de todos os materiais acima descritos e tudo o que seja necessário para concluir o trabalho. Exclui-se: a eventual picagem e remoção das camadas superiores à cúpula, a reabilitação das zonas degradadas e reparação do substrato; as ancoragens das extremidades da rede; os ensaios de aceitação do material; os inquéritos pré e pós-intervenção; todos os meios auxiliares necessários para a execução dos trabalhos. O preço é à unidade de superfície de reforço efectivamente aplicado em obra, incluindo as sobreposições.

1

Execução dos furos guia.



2

Preparação, limpeza e humedificação das superfícies.



3

Aplicação da primeira demão de GEOCALCE F ANTISISMICO.



4

Instalação da rede biaxial em fibra de basalto GEOSTEEL GRID.



5

Instalação do diátono GEOSTEEL e INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL para a ancoragem entre o reforço e as cintagens ao nível dos pisos.



6

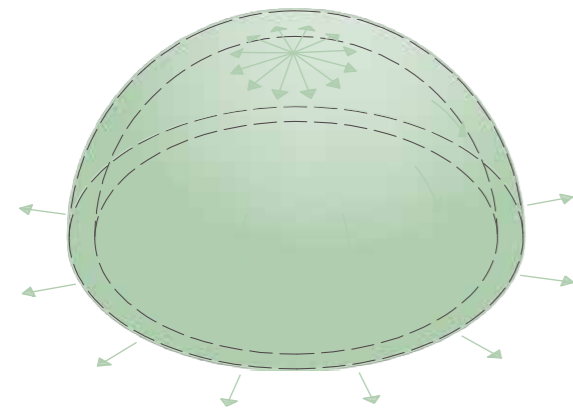
Ligação mecânica das ancoragens com GEOCALCE FL ANTISISMICO e fecho do furo de injeção com a tampa própria entregue.





# 52

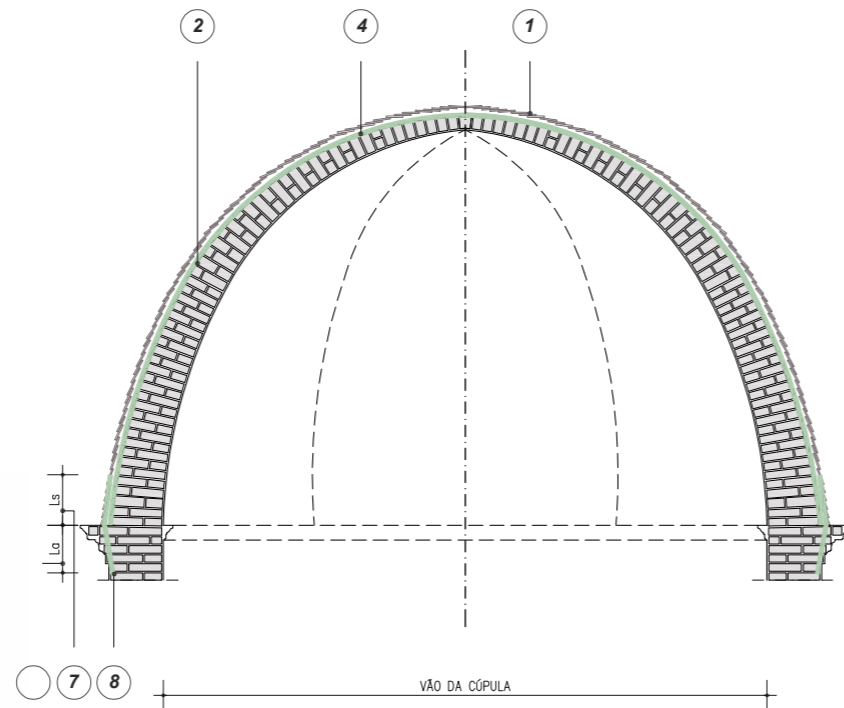
REFORÇO E CONSOLIDAÇÃO DE CÚPULAS ATRAVÉS DO REFORÇO DO EXTRADORSO COM REDE DISTRIBUÍDA EM FIBRA NATURAL DE BASALTO E AÇO INOX E GEOARGAMASSA À BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL PURA



VISTA AXONOMÉTRICA REFORÇO DO EXTRADORSO DA CÚPULA

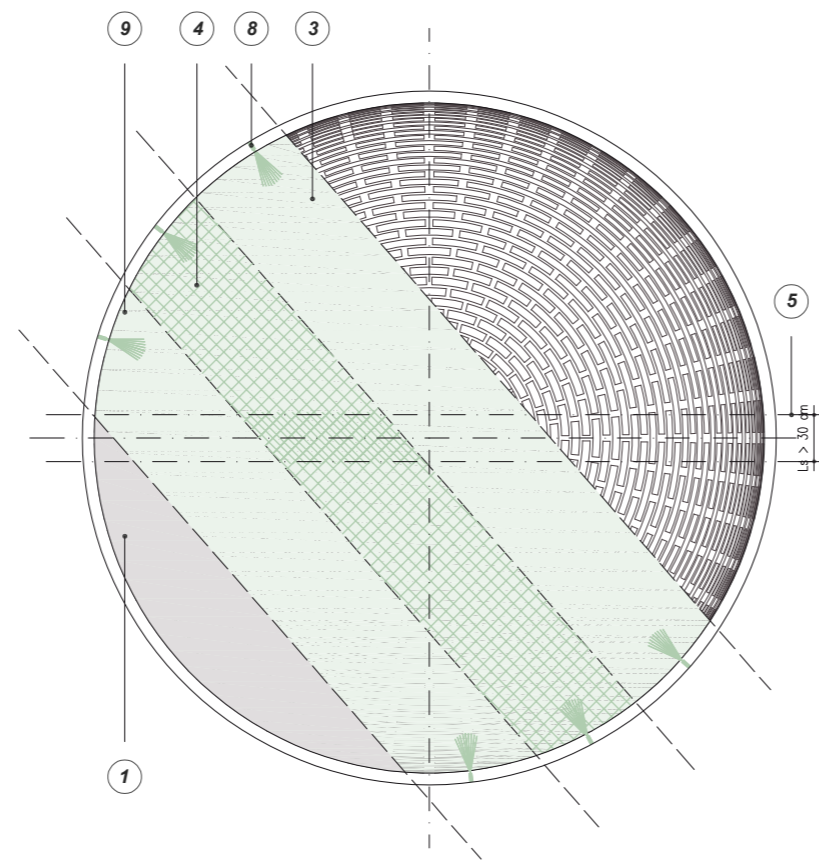
**NOTA**  
Os desenhos representam, a título de exemplo, um aparelho de alvenaria em pedra com uma abóbada em tijolo, mas o esquema permanece invariável se se estiver em presença de cúpulas de pedra, tijolo ou tufo. Na presença de alvenaria muito heterogénea, é sempre aconselhável efectuar uma intervenção combinada através de injeções de argamassa (TAB 24).

POWERED BY **kerakoll** ENGINEERED BY **ASDEA**



SECÇÃO A-A'  
SISTEMAS DE REFORÇO DO EXTRADORSO COM REDE DISTRIBUÍDA GEOSTEEL GRID 200/400 OU RINFORZO ARV 100

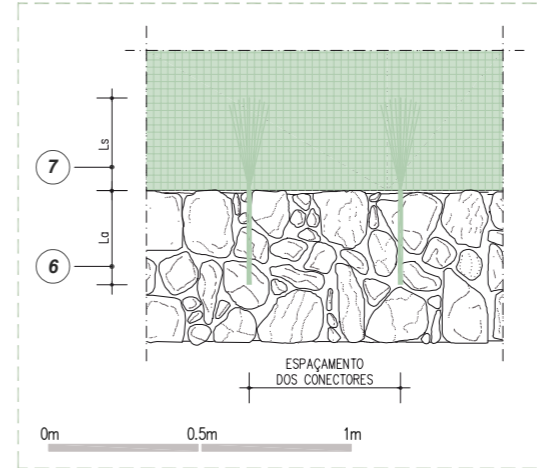
0m 0.5m 1m 2m



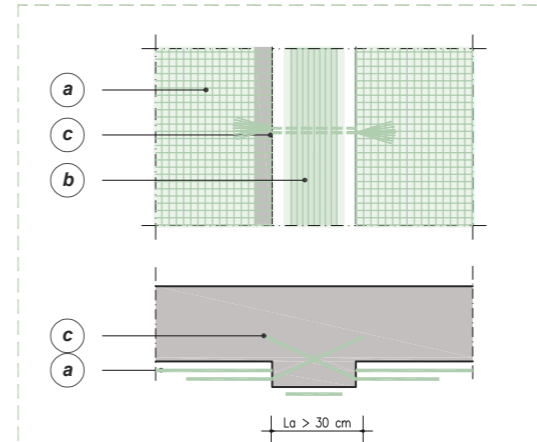
PLANTA  
SISTEMAS DE REFORÇO DO EXTRADORSO COM REDE DISTRIBUÍDA GEOSTEEL GRID 200/400 OU RINFORZO ARV 100

0m 0.5m 1m 2m

## TIPO DE CONEXÃO RECOMENDADA



## TIPO DE CONEXÃO NA PRESENÇA DE NERVURAS



REDE GEOSTEEL GRID 200/400 OU RINFORZO ARV 100 APLICADA COM GEOCALCE® F ANTISISMICO

a

TECIDO GEOSTEEL G600/G1200 APLICADO COM GEOCALCE® F ANTISISMICO POSICIONADO EM BANDAS PARALELAS ÀS NERVURAS PARA O REFORÇO DAS MESMAS

b

CONNECTORES MECÂNICOS DESFIBRILHADOS GEOSTEEL G600/G1200 INJECTADOS NO INTERIOR DA NERVURA COM GEOCALCE® FL ANTISISMICO

c

Na presença de nervuras, de modo a evitar acumulações de tensão, deve-se ancorar a rede GEOSTEEL GRID 200/400 à cúpula com conectores GEOSTEEL G600/G1200 em vez de fazer passar o reforço por cima da própria nervura.

0m 0.5m 1m

## QUADRO NORMATIVO

### Contenção de impulsos e consolidação de arcos e abóbadas

A absorção dos impulsos de estruturas em abóbada, particularmente importante no caso de evento sísmico, pode ser obtida com *tirantes e cintagens*. A posição ideal dos tirantes é acima da nasença dos arcos, mas frequentemente essa solução não pode ser adoptada, pelo que pode ser necessário colocar os tirantes no extradorso, desde que seja demonstrada a eficácia e a flexão resultante seja adequadamente controlada. As ligações no extradorso podem ser realizadas com elementos dotados também de rigidez à flexão (elementos de secção limitada) e adicionando tirantes inclinados a estas conexões e ancoradas ao nível das nascenças.  
A realização de *contrafortes* (ou *umentos de espessura da alvenaria*) é útil para solicitações não sísmicas, mas o seu efeito em caso de acções sísmicas deve ser adequadamente avaliado, por causa de potenciais efeitos locais ligados à sua rigidez elevada.  
Para a consolidação de arcos e abóbadas, também é possível o recurso a técnicas de reforço no extradorso baseadas na utilização de compósitos reforçados com fibras.  
(Circular 21 de Janeiro de 2019, n.º 7 - Instruções para a aplicação da Actualização das "Normas técnicas para a construção" segundo o decreto italiano de 17 de Janeiro de 2018, §CB.7.4 - 5)

### Reforço de abóbadas e arcos

Abóbadas e arcos podem ser reforçados aplicando sistemas FRM tanto no seu extradorso como no intradorso. Em ambos os casos, o objectivo é o de suprir a falta de resistência à tracção do aparelho de alvenaria. O reforço pode ser posicionado de modo contínuo ou em bandas, e pode ser ligado à alvenaria envolvente e à abóbada por aderência, e com conectores especiais. [...] A possibilidade de conferir um comportamento dúctil ao sistema estrutural traduz-se num aumento da capacidade resistente e numa melhoria qualitativa total, tendo presente a necessidade de um modelo fiável de verificação da integridade do reforço e da conexão reforço-estrutura.  
(CNR - DT 215/2018 §2.1.2.2 - §4.5)

EVENTUAL REMOÇÃO DA COBERTURA E REAPLICAÇÃO APÓS INTERVENÇÃO DE REFORÇO

1

LIMPEZA DA SUPERFÍCIE DO EXTRADORSO DA CÚPULA. EVENTUAL APLICAÇÃO DO FIXADOR CONSOLIDANTE SUPERFICIAL TIPO BIOCALCE® SILICATO CONSOLIDANTE OU RASOBUILD® ECO CONSOLIDANTE. EVENTUAL RECONSTRUÇÃO DE VOLUMES PARA CONTINUIDADE DO MATERIAL E EVENTUAL REGULARIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE COM GEOCALCE® F ANTISISMICO

2

APLICAÇÃO SOBRE O SUPORTE DE UMA ESPESSURA MÉDIA DE 3-5 mm DE GEOCALCE® F ANTISISMICO PARA APLICAR E EMBEBER A REDE DE REFORÇO

3

APLICAÇÃO DA REDE EM FIBRA NATURAL DE BASALTO E AÇO INOX GEOSTEEL GRID 200/400 OU A REDE EM FIBRA DE VIDRO E ARAMIDA RINFORZO ARV 100 SOBRE O EXTRADORSO DA CÚPULA

4

APLICAÇÃO DA REDE COM UM COMPRIMENTO DE SOBREPOSIÇÃO  $L_s$  DE MODO A GARANTIR O FUNCIONAMENTO CORRECTO DO REFORÇO

5

A rede em fibra natural de basalto e aço inox GEOSTEEL GRID 200/400 está disponível em larguras de 1 m. Para a montagem, aconselha-se um comprimento de sobreposição igual a 30 cm.

APLICAÇÃO DO TECIDO COM UM COMPRIMENTO DE ANCORAGEM  $L_a$  DE MODO A GARANTIR O FUNCIONAMENTO CORRECTO DO REFORÇO

6

Para garantir o funcionamento correcto do reforço na nasença da cúpula, este deve ser adequadamente aplicado e fixado mecanicamente à estrutura subjacente, recorrendo eventualmente a dispositivos mecânicos.

Aconselha-se um comprimento de ancoragem de pelo menos 30 cm. Para mais informação, consultar o APÊNDICE A.

APLICAÇÃO DA ANCORAGEM COM UM COMPRIMENTO DE SOBREPOSIÇÃO  $L_s$  PARA GARANTIR O FUNCIONAMENTO CORRECTO DO REFORÇO

7

INSTALAÇÃO DE DIÁTONOS COM EXTREMIDADE DESFIBRILHADA GEOSTEEL G600/G1200

8

Consultar o APÊNDICE B para mais informação sobre os diátonos.

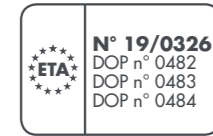
APÓS A APLICAÇÃO DA REDE, REALIZAÇÃO IMEDIATA, FRESCO SOBRE FRESCO, DA SEGUNDA CAMADA DE GEOCALCE® F ANTISISMICO NUMA ESPESSURA MÉDIA DE CERCA DE 2-5 mm ATÉ À COBERTURA COMPLETA DA REDE DE REFORÇO

9



## 53

## Reforço e consolidação de cúpulas através do reforço do intradorso com rede distribuída em fibra natural de basalto e aço inox e georgamassa à base de cal hidráulica natural pura



### PRESCRIÇÃO

- Preparação do suporte. Assegurar a eventual picagem e remoção das camadas superiores. Sobre a superfície do intradorso da cúpula, remover completamente os resíduos de trabalhos precedentes, que possam prejudicar a aderência, limpar a superfície até deixar à vista os elementos estruturais e realizar a selagem e o preenchimento das eventuais lesões presentes, tanto no intradorso como no extradorso, com o material adequado e utilização da georgamassa GEOCALCE F ANTISISMICO, compatível com a argamassa existente, de modo a recuperar a continuidade estrutural e estética. Realizar a limpeza final das cúpulas através de ar comprimido com a posterior aspiração dos materiais sobranes e humedificação das superfícies. Realizar uma eventual aplicação de fixador consolidante superficial tipo BIOCALCE SILICATO CONSOLIDANTE ou RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE; no caso de suportes em gesso, isolar previamente com RASOBUILD ECO CONSOLIDANTE.
- Aplicação do sistema de reforço. Realizar o sistema de reforço distribuído sobre toda a superfície do intradorso com a rede em fibra de basalto e aço Inox AISI 304, com tratamento protector especial resistente aos álcalis com resina de base aquosa isenta de solventes, Fabric Reinforced Cementitious Matrix (combinação da rede em fibra de basalto e argamassa mineral à base de cal hidráulica natural pura NHL 3.5 e geoligante), tendo o cuidado de posicionar a rede de modo uniforme sobre toda a superfície, segundo indicado pelo projectista e seguindo os esquemas gráficos referidos na tabela anexa. Para garantir a uniformidade da superfície, evitar as sobreposições longitudinais e ter o cuidado de realizar uma sobreposição lateral que garanta o funcionamento correcto do reforço. Para aplicar as bandas, aplicar uma primeira demão de GEOCALCE F ANTISISMICO, garantindo sobre o suporte uma quantidade de material suficiente (espessura média 3 – 5 mm) para o regularizar e para aplicar e embeber o tecido de reforço. Posteriormente, aplicar, sobre a matriz ainda fresca, a rede biaxial em fibra de basalto e aço inox AISI 304, com tratamento protector especial resistente aos álcalis com resina de base aquosa isenta de solventes, GEOSTEEL GRID 200, garantindo o embebedimento perfeito da rede na camada de matriz, exercendo uma pressão enérgica com a espátula e tendo o cuidado que a mesma saia pela rede, garantindo assim uma óptima aderência entre a primeira e segunda camada de matriz. Concluir a aplicação com o barramento final protector (espessura média 2 – 5 mm), sempre realizado com GEOCALCE F ANTISISMICO, com o fim de embeber totalmente o reforço e preencher eventuais vazios subjacentes. Em caso de camadas posteriores à primeira, deve-se proceder com a aplicação da segunda camada de fibra sobre a camada de matriz ainda fresca. Para garantir uma melhor eficácia do sistema de reforço, realizar os conectores utilizando o tecido GEOSTEEL G600 ou G1200, preparados para obter um comprimento de ancoragem igual ao previsto e verificado pelo projectista. É responsabilidade do projectista dimensionar as eventuais distâncias entre os eixos de conectores vizinhos.

### ADVERTÊNCIAS

O projectista pode escolher, com base nas exigências do projecto, em alternativa à rede biaxial em fibra de basalto e aço inox GEOSTEEL GRID 200, a rede biaxial em fibra de basalto e aço inox GEOSTEEL GRID 400 ou a rede de armadura biaxial em fibra de vidro resistente aos álcalis e aramida RINFORZO ARV 100.

Consultar o APÊNDICE B para conhecer as modalidades de instalação e as prestações mecânicas dos conectores com tubo desfibrado, realizado com a gama de tecidos GEOSTEEL em combinação com a roseta de extremidade em polipropileno armado com fibra de vidro INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.

Intervenção compatível com os sistemas desumidificantes Kerakoll.

### ESPECIFICAÇÃO

Reforço distribuído no intradorso de cúpulas com sistema compósito de matriz inorgânica FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix), provido de Marcação CE através de Avaliação Técnica Europeia (ETA) segundo o art.º 26 do Regulamento UE n.º 305/2011 ou de certificação internacional de validade comprovada, realizado com rede equilibrada em fibra de basalto e aço Inox AISI 304, – tipo GEOSTEEL GRID 200 da Kerakoll – características técnicas certificadas: aço inox AISI 304, com tratamento protector especial resistente aos álcalis com resina de base aquosa isenta de solventes; resistência à tracção do fio > 750 MPa, módulo de elasticidade  $E > 200$  GPa; fibra de basalto: resistência à tracção  $\geq 3000$  MPa, módulo de elasticidade  $E \geq 87$  GPa; dimensão da malha 17x17 mm, espessura equivalente  $t_f (0^\circ-90^\circ) = 0,032$  mm, massa total incluindo a termosoldadura e revestimento protector  $\approx 200$  g/m<sup>2</sup>, embebida em georgamassa de elevada higroscopicidade e transpirabilidade à base de cal hidráulica natural pura NHL 3.5 e geoligante mineral, agregados de areia de sílica e calcário dolomítico de curva granulométrica 0-1,4 mm, GreenBuilding Rating 4 – tipo GEOCALCE F ANTISISMICO da Kerakoll – características técnicas certificadas: elevada eficácia em reduzir os poluentes interiores, não permite o desenvolvimento bacteriano (Classe B+) e fúngico (Classe F+) medido com o método CSTB, certificado com emissões muito baixas de COV com conformidade EC 1 Plus GEV-Emicode, emissão de CO<sub>2</sub>  $\leq 250$  g/kg, teor de materiais reciclados  $\geq 30\%$ . A georgamassa é provida de marcação CE, classe da argamassa M15 (EN 998/2), classe de resistência R1 PCC (EN 1504-3), reacção ao fogo classe A1 (EN 13501-1), permeabilidade ao vapor de água de 15 a 35 (EN 1745), resistência à compressão aos 28 dias  $\geq 15$  N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo de elasticidade 9,5 GPa (EN 13412), aderência ao suporte aos 28 dias  $> 1,0$  N/mm<sup>2</sup> – FP: B (EN 1015-12). A intervenção desenvolve-se nas seguintes fases: eventual preparação das superfícies a reforçar, através da remoção do reboco existente, reparação de eventuais lesões através de enchimento (a contabilizar à parte); limpeza e humedificação da superfície ou aplicação de um fixador consolidante superficial; aplicação de uma primeira camada de georgamassa, com espessura de cerca de 3 – 5 mm; com a argamassa ainda fresca, proceder à aplicação da rede, garantindo um embebedimento completo do tecido e evitando a formação de eventuais vazios que possam comprometer a aderência do tecido à matriz ou ao suporte; execução da segunda camada de georgamassa, numa espessura total de reforço de 2 – 5 mm para embeber totalmente o tecido de reforço e preencher os eventuais vazios subjacentes; repetição das fases de aplicação da rede e georgamassa em todas as camadas posteriores de reforço previstas no projecto; ligação mecânica com inserção de conectores (a contabilizar à parte) realizados com tecido unidireccional em fibra de aço galvanizado com resistência muito elevada, formado por microcabos de aço produzidos segundo a norma ISO 16120-1/4 2017 – tipo GEOSTEEL da Kerakoll – com as seguintes características técnicas certificadas: resistência à tracção valor característico  $> 3000$  MPa; módulo de elasticidade  $> 190$  GPa; deformação final à rotura  $> 1,5\%$ ; área efectiva de um cabo 3x2 (5 fios) = 0,538 mm<sup>2</sup>; com envolvimento dos fios com elevado ângulo de torção em conformidade com a norma ISO/DIS 17832, após: realização do furo de entrada, com dimensões adequadas, preparação do conector metálico através de corte, “desfibramento”, e enrolamento final do tecido em fibra de aço, com fecho do mesmo através de braçadeira plástica, inserção do conector no interior do furo com injeção final a baixa pressão de georgamassa com higroscopicidade e transpirabilidade muito alta, hiperfluida, com elevada retenção de água à base de cal natural pura NHL 3.5 e geoligante mineral, intervalo granulométrico 0-100  $\mu$ m, GreenBuilding Rating 4, provida de marcação CE – tipo GEOCALCE FL ANTISISMICO da Kerakoll – características técnicas certificadas: elevada eficácia em reduzir os poluentes interiores, não permite o desenvolvimento bacteriano (Classe B+) e fúngico (Classe F+) medido com o método CSTB, certificado com emissões muito baixas de COV com conformidade EC 1 Plus GEV-Emicode, emissão de CO<sub>2</sub>  $\leq 250$  g/kg, teor de materiais reciclados  $\geq 30\%$ . A georgamassa é provida de marcação CE, classe da argamassa M15 (EN 998/2), reacção ao fogo classe A1 (EN 13501-1), permeabilidade ao vapor de água de 15 a 35 (EN 1745), resistência à compressão aos 28 dias  $\geq 15$  N/mm<sup>2</sup> (EN 1015-11), módulo de elasticidade 9,5 GPa (EN 13412), resistência ao arrancamento do varão ancorado  $\geq 3,5$  MPa (RILEM-CEB-FIPRC6-78). Inclui-se: o fornecimento e a aplicação em obra de todos os materiais acima descritos e tudo o que seja necessário para concluir o trabalho. Exclui-se: a eventual remoção do reboco existente e a reabilitação das zonas degradadas e recuperação do substrato; os conectores e a injeção dos mesmos e todos os encargos necessários para a sua realização; os ensaios de aceitação do material; os inquéritos pré e pós-intervenção; todos os meios auxiliares necessários para a execução dos trabalhos.

O preço é à unidade de superfície de reforço efectivamente aplicado em obra, incluindo as sobreposições.

1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_

Realização dos furos guia.



2 \_\_\_\_\_

Aplicação da primeira demão de GEOCALCE F ANTISISMICO.



3 \_\_\_\_\_

Instalação da rede biaxial em fibra de basalto GEOSTEEL GRID.



4 \_\_\_\_\_

Corte da rede biaxial em fibra de basalto GEOSTEEL GRID no local dos furos de injeção.



5 \_\_\_\_\_

Instalação do conector realizado com tecido em fibra de aço GEOSTEEL e INIETTORE&CONNETTORE GEOSTEEL.



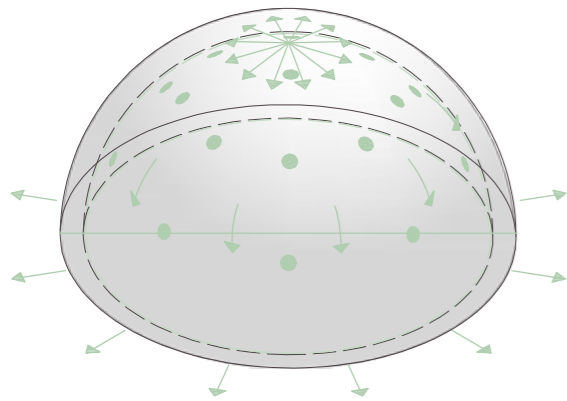
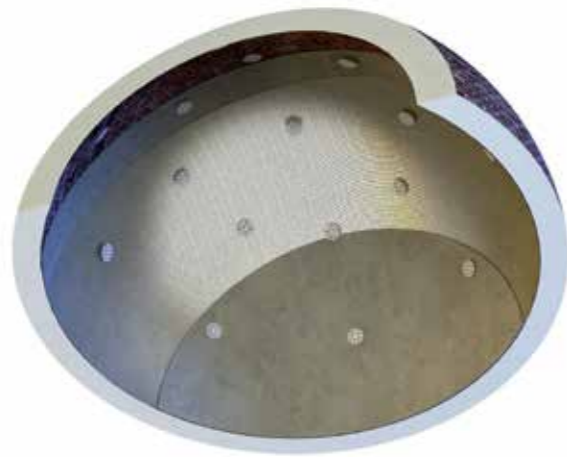
6 \_\_\_\_\_

Ligação mecânica dos conectores com GEOCALCE FL ANTISISMICO.



# 53

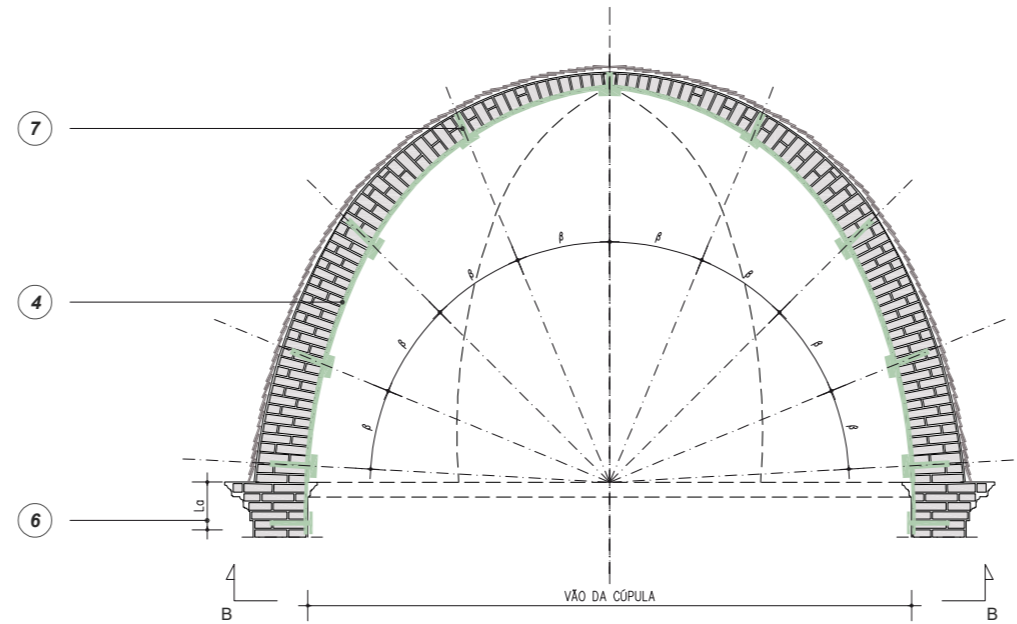
REFORÇO E CONSOLIDAÇÃO DE CÚPULAS ATRAVÉS DO REFORÇO DO INTRADORSO COM REDE DISTRIBUÍDA EM FIBRA NATURAL DE BASALTO E AÇO INOX E GEOARGAMASSA À BASE DE CAL HIDRÁULICA NATURAL PURA



VISTA AXONOMÉTRICA REFORÇO DO INTRADORSO DA CÚPULA

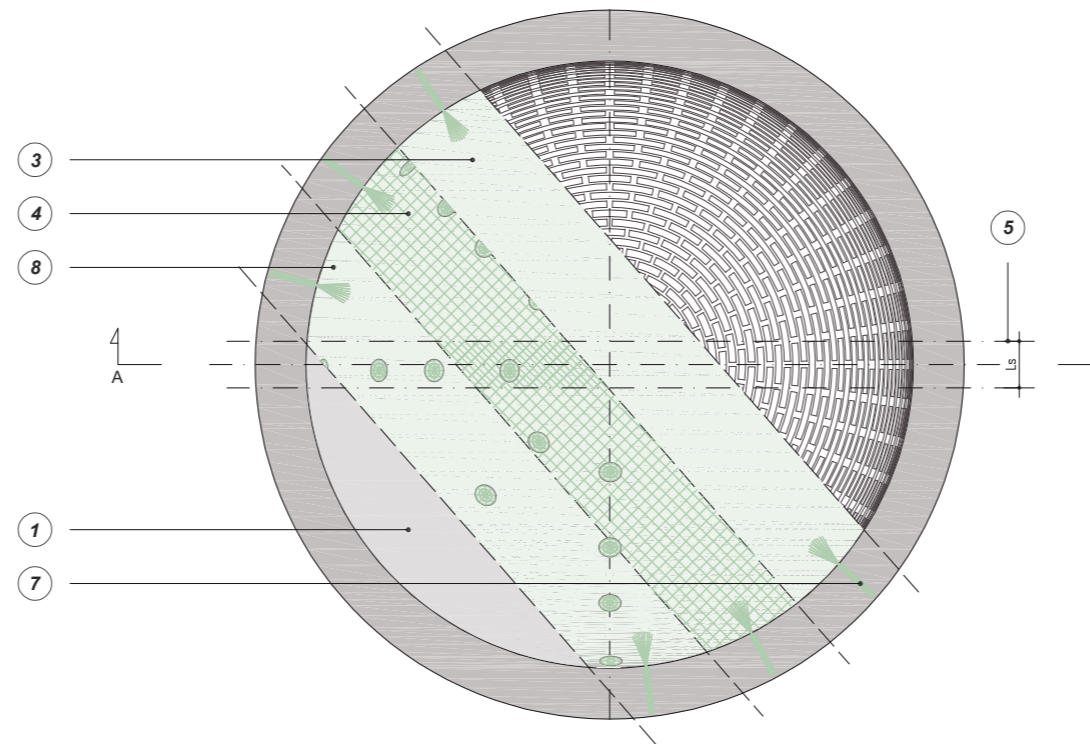
NOTA

Os desenhos representam, a título de exemplo, um aparelho de alvenaria em pedra com uma abóbada em tijolo, mas o esquema permanece invariável se se estiver em presença de abóbadas de pedra ou tufo. Na presença de alvenaria muito heterogénea, é sempre aconselhável efectuar uma intervenção combinada através de injecções de argamassa (TAB 24).



SECÇÃO A-A'  
SISTEMAS DE REFORÇO DO INTRADORSO COM REDE DISTRIBUÍDA GEOSTEEL GRID 200/400 OU RINFORZO ARV 100

0m 0.5m 1m 2m



PLANTA B-B'  
SISTEMAS DE REFORÇO DO INTRADORSO COM REDE DISTRIBUÍDA GEOSTEEL GRID 200/400 OU RINFORZO ARV 100

QUADRO NORMATIVO

**Contenção de impulsos e consolidação de arcos e abóbadas**

A absorção dos impulsos de estruturas em abóbada, particularmente importante no caso de evento sísmico, pode ser obtida com **tirantes e cintagens**. A posição ideal dos tirantes é acima da nasença dos arcos, mas frequentemente essa solução não pode ser adoptada, pelo que pode ser necessário colocar os tirantes no extradorso, desde que seja demonstrada a eficácia e a flexão resultante seja adequadamente controlada. As ligações no extradorso podem ser realizadas com elementos dotados também de rigidez à flexão (elementos de secção limitada) e adicionando tirantes inclinados a estas conexões e ancoradas ao nível das nasenças.

A realização de **contrafortes** (ou **umentos de espessura da alvenaria**) é útil para solicitações não sísmicas, mas o seu efeito em caso de acções sísmicas deve ser adequadamente avaliado, por causa de potenciais efeitos locais ligados à sua rigidez elevada. Para a consolidação de arcos e abóbadas, também é possível o recurso a técnicas de reforço no extradorso baseadas na utilização de compósitos reforçados com fibras.

(Circular 21 de Janeiro de 2019, n.º 7 - Instruções para a aplicação da Actualização das "Normas técnicas para a construção" segundo o decreto italiano de 17 de Janeiro de 2018, §C8.7.4 - 5)

**Reforço de abóbadas e arcos**

Abóbadas e arcos podem ser reforçados aplicando sistemas FRCM tanto no seu extradorso como no intradorso. Em ambos os casos, o objectivo é o de suprir a falta de resistência à tracção do aparelho de alvenaria. O reforço pode ser posicionado de modo contínuo ou em bandas, e pode ser ligado à alvenaria envolvente e à abóbada por aderência, e com conectores especiais. [...] A possibilidade de conferir um comportamento dúctil ao sistema estrutural traduz-se num aumento da capacidade resistente e numa melhoria qualitativa total, tendo presente a necessidade de um modelo fiável de verificação da integridade do reforço e da conexão reforço-estrutura.

(CNR - DT 215/2018 §2.1.2.2 - §4.5)

1 EVENTUAL REMOÇÃO DO REBOCO E RECONSTRUÇÃO APÓS A INTERVENÇÃO DE REFORÇO

2 LIMPEZA DA SUPERFÍCIE DO INTRADORSO E EXTRADORSO DA CÚPULA, EVENTUAL APLICAÇÃO DO FIXADOR CONSOLIDANTE SUPERFICIAL TIPO **BIOCALCE® SILICATO CONSOLIDANTE** OU **RASOBUILD® ECO CONSOLIDANTE**. EVENTUAL RECONSTRUÇÃO DE VOLUMES PARA CONTINUIDADE DO MATERIAL E EVENTUAL REGULARIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE COM **GEOCALCE® F ANTISISMICO**

3 APLICAÇÃO SOBRE O SUPORTE DE UMA ESPESSURA MÉDIA DE 3-5 mm DE **GEOCALCE® F ANTISISMICO** PARA APLICAR E EMBEBER A REDE DE REFORÇO

4 INSTALAÇÃO DA REDE EM FIBRA NATURAL DE BASALTO E AÇO INOX **GEOSTEEL GRID 200/400** OU DA REDE EM FIBRA DE VIDRO E ARAMIDA **RINFORZO ARV 100** APLICADA NO INTRADORSO DA CÚPULA

5 APLICAÇÃO DA REDE COM UM COMPRIMENTO DE SOBREPOSIÇÃO  $L_s$  DE MODO A GARANTIR O FUNCIONAMENTO CORRECTO DO REFORÇO

A rede em fibra natural de basalto e aço inox **GEOSTEEL GRID 200/400** está disponível em larguras de 1 m. Para a montagem, aconselha-se um comprimento de sobreposição igual a 30 cm.

6 APLICAÇÃO DO TECIDO COM UM COMPRIMENTO DE ANCORAGEM  $L_a$  DE MODO A GARANTIR O FUNCIONAMENTO CORRECTO DO REFORÇO

Para garantir o funcionamento correcto do reforço na nasença da cúpula, este deve ser adequadamente aplicado e fixado mecanicamente à estrutura subjacente, recorrendo eventualmente a dispositivos mecânicos.

Aconselha-se um comprimento de ancoragem de pelo menos 30 cm.

7 INSTALAÇÃO DE DIÁTONOS COM EXTREMIDADE DESFIBRILHADA **GEOSTEEL G600/G1200**

Aconselha-se a posicionar os conectores mecânicos desfibrilhados em fibra de aço com elevada resistência **GEOSTEEL G600/G1200** com uma distância entre eixos de 40 cm.

Consultar o APÊNDICE B para detalhes mais aprofundados sobre as modalidades de montagem dos conectores.

8 APÓS A APLICAÇÃO DA REDE, REALIZAÇÃO IMEDIATA, FRESCO SOBRE FRESCO, DA SEGUNDA CAMADA DE **GEOCALCE® F ANTISISMICO** NUMA ESPESSURA MÉDIA DE CERCA DE 2-5 mm ATÉ À COBERTURA COMPLETA DA REDE DE REFORÇO

**kerakoll**



[kerakoll.com](http://kerakoll.com)