



(21) BR 112019024081-0 A2



\* B R 1 1 2 0 1 9 0 2 4 0 8 1 A 2 \*

(22) Data do Depósito: 15/05/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 02/06/2020

República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(54) Título: SEGMENTO PRÉ-FABRICADO PARA TÚNEIS E MÉTODO PARA PRODUZIR E MONITORAR O DITO SEGMENTO PRÉ-FABRICADO

(51) Int. Cl.: E21D 11/08.

(30) Prioridade Unionista: 15/05/2017 IT 102017000052365.

(71) Depositante(es): SAFECERTIFIEDSTRUCTURE TECNOLOGIA S.P.A..

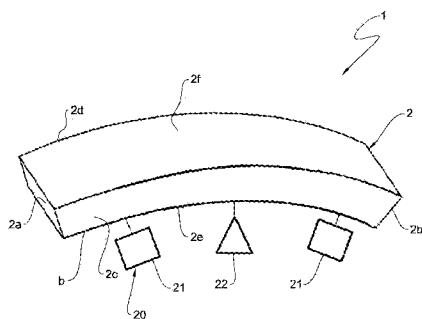
(72) Inventor(es): GIUSEPPE MANCINI.

(86) Pedido PCT: PCT IB2018053379 de 15/05/2018

(87) Publicação PCT: WO 2018/211414 de 22/11/2018

(85) Data da Fase Nacional: 14/11/2019

(57) Resumo: Trata-se de segmento pré-fabricado para um túnel de concreto reforçado, que compreende uma estrutura arqueada com um reforço e um aglomerado de cimento que é projetado para cobrir estruturalmente segmentos de túnel anulares repetidos para módulos que correspondem a uma fração do corte transversal dos mesmos, sendo que a estrutura arqueada compreende respectivas faces radiais opostas que se encontram em planos que são separados angularmente entre si e passam através de um eixo geométrico longitudinal do túnel e em superfícies perpendiculares ao eixo, sendo separadas ao longo do dito eixo, respectivas faces longitudinais opostas se encontram em superfícies que são paralelas ao dito eixo e adaptadas para serem movidas em direção às respectivas faces radiais de segmentos adjacentes, as faces circunferenciais são adaptadas para serem movidas em direção às faces de segmentos adjacentes e uma face longitudinal externa é colocada em contato com o solo do túnel, em que pelo menos um dispositivo de investigação é embutido na estrutura arqueada do segmento pré-fabricado a uma distância predeterminada de pelo menos uma das faces radial, circunferencial ou longitudinal, de modo a detectar parâmetros estruturais predeterminados.



“SEGMENTO PRÉ-FABRICADO PARA TÚNEIS E MÉTODO PARA PRODUZIR E MONITORAR O DITO SEGMENTO PRÉ-FABRICADO”

Descrição

Campo da técnica

[001] A presente invenção refere-se a um segmento pré-fabricado para túneis e a um método de produção e monitoramento associado que tem os recursos detalhados no preâmbulo das respectivas reivindicações independentes.

Antecedentes da técnica

[002] Túneis atualmente são formados escavando-se uma via de túnel tipicamente de corte transversal circular por meio de uma máquina de perfuração grande e dispendiosa conhecida como uma TBM ou máquina de perfuração de túnel, e, conforme o trabalho prossegue, revestindo-se progressivamente as paredes da via de túnel escavada dessa forma com segmentos pré-fabricados produzidos de concreto reforçado. Como, uma vez que os mesmos tenham sido colocados em posição, os segmentos, que na prática formam setores de um anel cilíndrico que são movidos uns em direção aos outros de modo a formar um anel completo e, anel após anel, cobrem o túnel inteiro, não podem ser substituídos no caso de danos, é particularmente importante verificar sua integridade a partir da primeira etapa de construção e, então, em etapas do processo de instalação, devido ao fato de que se sua integridade for comprometida isso pode resultar em danos estruturais significativos ao túnel como um todo.

[003] Isso exige monitoramento das tensões, pressões e deformações presentes dentro da estrutura.

[004] Como é sabido, além de representar as estruturas de cimento fundamentais de túneis, os segmentos também

representam a parte estrutural mais crítica dos ditos túneis.

[005] Muitas vezes, pode ocorrer que segmentos pré-fabricados se tornem estruturalmente comprometidos devido a vários fatores, alguns dos quais são citados brevemente abaixo:

- problemas que ocorrem durante o processo de produção (quer na etapa de concretagem ou na etapa de cura) que introduzem defeitos estruturais, possivelmente posicionados nas camadas profundas dos segmentos e, portanto, impossíveis de detectar por meio de uma inspeção visual;
- impactos ou tensões inesperados aplicados durante as etapas de transporte do local de produção para o local de instalação;
- impactos ou tensões aplicados durante a instalação dos segmentos em um túnel;
- impactos ou tensões aplicados durante processos que seguem a instalação dos segmentos;
- impactos ou tensões aos quais os segmentos são submetidos como um resultado de fatores externos naturais (deslizamentos de terra, terremotos, etc.) ou fatores externos artificiais (produção de perfurações para outros túneis nas cercanias, produção de fundações para estruturas de edificações próximas ao túnel, etc.).

[006] Nesse contexto, o termo defeitos estruturais é entendido com o significado de todos os tipos de defeitos que podem ocorrer dentro de uma estrutura (por exemplo, defeitos em pontos intermitentes, defeitos lineares, defeitos planos, defeitos relacionados à composição, etc.).

[007] É claro que, no caso da presença de um ou mais dos fatores supramencionados, podem se desenvolver fraturas e

rachaduras nas estruturas de cimento, que também levam a sérias consequências do ponto de vista estrutural e, portanto, representam um risco de comprometer gravemente a disponibilidade e segurança do próprio túnel.

[008] Atualmente, tais possíveis fraturas ou rachaduras estruturais dos segmentos de um túnel são difíceis de detectar, principalmente devido ao fato de que amostras de segmento são estudadas e testadas com respeito a sua resistência a forças mecânicas (testes de carga, etc.) e temperaturas altas (testes de resistência ao fogo, etc.) em laboratórios especializados, no entanto, poucos testes têm sido desenvolvidos para monitorar o comportamento dos ditos segmentos continuamente a partir da etapa de produção à etapa de disposição, com referência particular ao comportamento do segmento durante seu uso real em um túnel.

[009] De fato, verificações são tipicamente realizadas no interior dos túneis de acordo com um plano programado (e, portanto, independentemente de situações de perigo potencial no túnel) ou que seguem indicações de danos de superfície detectáveis (e danos que são, portanto, intrinsecamente suscetíveis a se manifestarem tarde).

[010] Consequentemente, as verificações realizadas, uma vez uma necessidade para as mesmas tenha sido estabelecida são, portanto, frequentemente com base em interações óticas e/ou acústicas (por exemplo, verificações que usam fibras ópticas ou sensores de ultrassom) a fim de avaliar, em princípio e de uma maneira limitada, quaisquer macromovimentos de seções grandes de túnel, suspeitas de terem sido submetidas a rachaduras graves e prejudiciais.

[011] Também é importante observar que tais fases de estudo

podem implicar em uma redução da disponibilidade do túnel, se não até mesmo a completa falta de usabilidade do mesmo para veículos se deslocarem, devido à presença do equipamento usado para estudar a integridade da estrutura.

[012] É claro que tais análises têm várias desvantagens detalhadas adicionalmente abaixo.

[013] Em primeiro lugar, ao prosseguir com uma análise do segmento na presença de uma potencial situação de perigo ou risco estrutural, há o problema inerente de definir o nível de risco a partir do qual uma análise da integridade da estrutura deve ser ativada. Isso significa que é possível que alguns fenômenos sejam capazes de induzir fraturas, deformações e rachaduras (possivelmente em porções que não podem ser facilmente analisadas do lado interno do túnel), como um resultado dos quais os segmentos são estruturalmente comprometidos sem que tenha havido um fenômeno natural ou artificial de tal intensidade de modo a ter alertado os corpos responsáveis por avaliar o possível risco de subsidência da estrutura. Nesse caso, qualquer intervenção para reparar os danos resultantes será realizada precariamente tarde.

[014] Outra desvantagem ligada às técnicas usadas tipicamente nesse campo técnico é que, seguindo uma indicação de potencial subsidência ou uma análise previamente programada das estruturas do túnel, um trabalhador tem que realizar fisicamente a análise da estrutura, o que resulta em um gasto significativo de tempo para chegar ao local indicado e para realmente realizar a análise.

[015] É claro que esse método de análise não permite uma grande pontualidade da resposta quando há uma suspeita ou

informações que indicam uma possível subsidência estrutural, e permite menos ainda uma interpretação de condições da estrutura que podem se desenvolver para situações perigosas para a estabilidade do túnel.

[016] Também é importante observar que a medição de uma tensão dentro de um corpo sólido apresenta dificuldades significativas e é usualmente obtida indiretamente medindo-se deformações na superfície externa dos elementos que constituem a estrutura ou diretamente dentro da mesma. A transição de medição de uma deformação para medição de uma tensão é possível com base no conhecimento prévio da lei básica do material que está sendo medido. Essa transição é simples e confiável para materiais resilientes lineares, cujas propriedades mecânicas são como segue: constante ao longo do tempo e uniforme em espaço dentro da própria estrutura, conhecido com precisão e que tem baixa dispersão estatística. Essa categoria de materiais, por exemplo, inclui metais tais como ligas de aços e alumínio.

[017] Maiores dificuldades surgem quando se procura medir uma tensão dentro de uma estrutura, as características do material do qual não são uniformes em espaço nem constantes ao longo do tempo e não são, em geral, conhecidas com precisão antecipadamente, como é o caso, por exemplo, para todos os aglomerados de cimento. Dificuldades adicionais são encontradas com base na natureza viscoelástica do material de cimento (uma característica que pode ser correlacionada a aglomerados em geral), que tende ela própria a se manifestar na forma de deformações e estados não constantes de tensão, tanto no curto prazo quanto a longo prazo, e também com base em cargas aplicadas continuamente. Portanto, é claro que

análises realizadas apenas na superfície em uma ou mais porções macro de túnel apresentam o risco específico de não serem capazes de ser corretamente correlacionadas às deformações realmente presentes nos segmentos, de não serem representativas de um estado real de comprometimento dos segmentos, e de não permitirem pontualidade ou eficácia da ação/resposta.

#### Descrição da invenção

[018] O objetivo da presente invenção é fornecer um segmento pré-fabricado para túneis e um método de produção e fabricação associado que supere as desvantagens da técnica anterior identificada.

[019] Dentro do escopo desse objetivo, o objetivo da invenção é fornecer um produto e um método que torne possível determinar e monitorar de maneira contínua e eficiente a integridade estrutural de segmentos pré-fabricados de túnel do momento de produção do mesmo ao momento de plena utilização do mesmo.

[020] O produto inventivo produzido de acordo com a presente invenção é um segmento pré-fabricado para um túnel de concreto reforçado, que compreende uma estrutura arqueada que tem um reforço e um aglomerado de cimento que é projetado para cobrir estruturalmente segmentos de túnel anulares repetidos para módulos que correspondem a uma fração do corte transversal do mesmo.

[021] A estrutura arqueada do segmento compreende, preferencialmente, respectivas faces radiais opostas que se encontram em planos que são separados angularmente entre si e passam ao longo de um eixo geométrico longitudinal do túnel, respectivas faces circunferenciais opostas que se encontram

em superfícies perpendiculares ao dito eixo geométrico longitudinal e são separadas ao longo do dito eixo geométrico longitudinal, e respectivas faces longitudinais opostas que se encontram em superfícies que são paralelas ao dito eixo geométrico longitudinal e separadas entre si radialmente com respeito ao dito eixo geométrico longitudinal, sendo que as ditas faces radiais são adaptadas para serem movidas em direção às respectivas faces radiais de segmentos adjacentes a fim de formarem uma porção de túnel anular, em que as ditas faces circunferenciais são adaptadas para serem movidas em direção às respectivas faces circunferenciais de segmentos adjacentes a fim de formar uma extensão linear do dito túnel ao longo do dito eixo geométrico longitudinal e uma face longitudinal externa que está a uma distância maior do que uma face longitudinal interna a partir do dito eixo geométrico longitudinal, é colocada em contato com o solo do dito túnel, em que pelo menos um dispositivo de investigação é embutido na dita estrutura arqueada do dito segmento pré-fabricado a uma distância predeterminada a partir de pelo menos uma das ditas faces radial, circunferencial ou longitudinal, de modo a detectar parâmetros estruturais predeterminados.

[022] Nesse contexto, o termo aglomerado é entendido com o significado de um material em que há um ligante (por exemplo, cimento, betume, cal, resina de polímero, etc.) e um material ligado (por exemplo, areia, cascalho, argila, pós siliciosos, fibras de vidro, fibras de aço, fibras de carbono, fibras de aramida, etc.).

[023] É importante observar que, graças aos recursos da presente invenção, é possível determinar e monitorar o estado

de integridade do segmento supramencionado também continuamente, verificando-se e monitorando-se as características desejadas em tempo real.

[024] O dispositivo de investigação pode ser vantajosamente um acelerômetro, um extensômetro, um inclinômetro, um sensor capacitivo, um sensor de calor, um sensor ótico, um sensor acústico, ou outro tipo de sensor conhecido na técnica. Consequentemente, os parâmetros estruturais predeterminados são, portanto, por exemplo, a tensão detectada em um dado ponto, a deformação detectada em um ponto específico, a orientação, a temperatura, a variação nas características mecânico-estruturais, etc.

[025] De acordo com uma modalidade, o dispositivo de investigação compreende um corpo deformável em que pelo menos um medidor de deformação é disposto, o qual é configurado para detectar pelo menos três medidas de deformação orientadas uma em relação à outra, de modo que uma tensão dentro do dito dispositivo de investigação seja proporcional a uma combinação das ditas três medidas de deformação.

[026] O corpo deformável tem, preferencialmente, comportamento puramente resiliente, desprovido de características viscosas ou viscoelásticas, pelo menos com respeito às tensões admissíveis na estrutura de um aglomerado de cimento. Dessa maneira, é possível detectar uma tensão correlacionada às deformações que ocorrem dentro do dispositivo (e, portanto, dentro do segmento) em vez do exterior do dispositivo (segmento). Essa característica significa uma vantagem técnica significativa, uma vez que, devido ao fato de que o corpo deformável é disposto dentro do dispositivo de investigação, em uma zona não perturbada, o

medidor de deformação detecta as deformações do dispositivo, sendo esse um sólido resiliente, fornece uma medida correlacionada apenas às ações externas aplicadas e não influenciada por fenômenos viscosos, como resultaria se o corpo deformável supramencionado com comportamento resiliente fosse omitido.

[027] Nesse contexto, o termo combinação significa uma combinação matemática dos valores supramencionados. Em um caso particular, quando os valores em questão se referem a espaços vetoriais lineares, a combinação supramencionada pode ser representada por meio de uma combinação linear das três medidas de deformação relacionadas a espaços vetoriais lineares.

[028] Além disso, nesse contexto, uma ação é definida como qualquer causa ou conjunto de causas capaz de induzir estados de tensão e/ou deformação em uma estrutura. As ações podem ser classificadas como segue de acordo com a forma em que as mesmas são realizadas:

- ações diretas, induzidas por forças concentradas, cargas fixas ou móveis distribuídas;
- ações indiretas, induzidas por movimentos impressos, mudanças em temperatura e umidade, retração, pré-compressão, subsidência de restrições, efeitos de viscosidade. Ações externas significam tanto ações explícitas (ou ações diretas) quanto ações implícitas (ou ações indiretas).

[029] Em uma modalidade preferencial o corpo deformável é produzido com o uso de materiais que têm um módulo de elasticidade igual a, ou estritamente maior do que, aquele da estrutura arqueada produzida a partir de aglomerado de cimento em que o dito corpo deformável é embutido, de modo a

reduzir e nivelar a irregularidade de contato entre o aglomerado de cimento e o corpo deformável.

[030] O corpo deformável é vantajosamente produzido de materiais que têm propriedades químicas e mecânicas que são estáveis ao longo do tempo, capazes de serem mantidas dentro do aglomerado sem deteriorar ou mudar ao longo do tempo. Por exemplo, um material do tipo metálico (aço inoxidável ou similar) pode ser usado, ou um material cerâmico (alumina ou similar).

[031] Essa solução técnica resulta na vantagem técnica adicional de ser capaz de realizar uma leitura mais precisa e confiável da tensão por meio de materiais dos quais as características químicas, físicas e mecânicas são corretamente conhecidas e previsíveis ao longo do tempo: a técnica anterior dentro do setor, na verdade, não torna possível obter um nível preditivo de precisão dependendo de materiais dos quais as características são ou não são totalmente conhecidas ou são potencialmente transitórias ao longo do tempo.

[032] O corpo deformável pode opcionalmente compreender, dentro do mesmo, elementos que manifestam comportamento viscoso sob carga, mas que são dimensionados de modo que a conferir uma contribuição viscosa insignificante com respeito ao comportamento substancialmente resiliente do corpo deformável como um todo.

[033] Tais elementos viscosos podem ser produzidos, preferencialmente, com o uso de um material polimérico: por exemplo, uma camada de material polimérico usada como um espaçador (Kapton) ou como um adesivo (resina polimérica).

[034] O dispositivo de investigação é, preferencialmente,

restrito ao reforço.

[035] Dessa maneira é possível impedir que o dispositivo de investigação se move durante a etapa de concretagem e no período de cura do mesmo, da posição inicial em que o mesmo foi posicionado, comprometendo uma interpretação correta da correlação espacial entre os sinais lidos pelo dispositivo de investigação e a superfície ou sinais comportamentais (em termos de resistência para as ações aplicadas) demonstrados pelo segmento pré-fabricado.

[036] De acordo com uma modalidade, o corpo deformável tem comportamento resiliente, pelo menos com respeito às tensões admissíveis na estrutura do aglomerado de cimento, e compreende duas superfícies, cuja menor dimensão é maior ou igual ao diâmetro nominal máximo de um material ligado compreendido no dito aglomerado de cimento e tem um formato substancialmente achulado com respeito às duas dimensões predominantes de modo a obter no interior do dito corpo deformável uma zona não perturbada da tensão, zona em que o dito pelo menos um medidor de deformação é disposto.

[037] Graças a esse recurso técnico, é possível obter uma medida da tensão dentro do dispositivo de investigação que não é afetada pelas contribuições viscoelásticas presentes no aglomerado de cimento do segmento pré-fabricado que circunda o dispositivo de investigação (para uma descrição mais detalhadas e completa, consultar o documento IT 102016000037314).

[038] A vantagem dessa solução técnica é clara, uma vez que é possível dessa forma obter informações corretas com base no tempo relacionadas à tensão que atua em uma direção perpendicular às superfícies que definem o formato

substancialmente achatado, e as ditas informações podem ser calculadas por meio de uma combinação simples das três deformações detectadas na zona não perturbada da tensão dentro do corpo deformável contido no dispositivo de investigação.

[039] Em particular, o corpo deformável compreende, preferencialmente, duas superfícies, cuja menor dimensão é maior ou igual ao diâmetro nominal máximo do dito material ligado ou inerte contido dentro do dito aglomerado, que tem especificamente uma dimensão transversal mínima (por exemplo, o diâmetro no caso de uma forma cilíndrica) maior ou igual ao diâmetro nominal máximo dos materiais ligados ou inertes do aglomerado.

[040] Na verdade, é importante observar que o corpo deformável que tem o dito formato substancialmente achatado com respeito às duas dimensões predominantes afeta, de maneira desprezível, o campo de tensão da tensão ortogonal ás duas dimensões predominantes dentro do próprio corpo produzindo, desse modo, uma zona não perturbada da tensão não perturbada por fenômenos viscosos de primeira ou segunda ordem. Em física, um campo é uma região de espaço, em qualquer ponto do qual uma variável física é definida por meio de uma lei adequada (dependendo de sua natureza, o campo será definido como um campo escalar, campo vetorial, campo tensorial, etc.). A variável física pode ser uma temperatura (exemplo de campo escalar), uma força (exemplo de campo vetorial: campo gravitacional, elétrico ou magnético) ou uma tensão como nesse campo de aplicação.

[041] Nesse contexto, o termo perturbar de maneira desprezível significa que o formato substancialmente achatado

do corpo deformável compreende possíveis perturbações do campo de tensão da tensão abaixo de um valor predefinido. Em particular, esse valor predefinido é igual a 10% do valor local do campo de tensão.

[042] Em uma modalidade preferencial, as pelo menos três medidas de deformação orientadas uma em relação à outra são contidas na zona não perturbada e a tensão é proporcional a uma combinação das três medidas de deformação supramencionadas.

[043] Além disso, no presente contexto, formato substancialmente achatado identifica, preferencialmente, aquelas estruturas tridimensionais que têm um desenvolvimento primário ao longo de duas dimensões predominantes com respeito a uma terceira: exemplos podem ser um modelo prismático ou cilíndrico ou laminar que tem duas bases definidas pelas duas dimensões predominantes e separadas entre si ao longo da terceira dimensão de menor altura comparada às duas dimensões predominantes.

[044] O segmento pré-fabricado compreende, preferencialmente, um primeiro, um segundo e um terceiro dispositivos de investigação posicionados respectivamente em faces radiais opostas e em uma zona média da dita estrutura arqueada.

[045] Dessa maneira é possível ter uma análise e monitoramento otimizados de quaisquer rachaduras, fraturas ou deformações que possam ocorrer dentro do segmento pré-fabricado supramencionado.

[046] Em particular, o primeiro e o segundo dispositivos de investigação posicionados respectivamente nas ditas faces radiais opostas tornam possível avaliar qualquer mudança em

tensões nas cercanias das zonas de movimento uma em direção à outra entre dois segmentos durante a etapa de uso dos segmentos dentro do túnel.

[047] Tais tipos de tensões são definidos como tensões de membrana e são correlacionados a interações relacionadas puramente à superfície entre os segmentos.

[048] Além disso, a instalação do terceiro dispositivo de investigação na zona média da estrutura arqueada torna possível comparar as mudanças nos dados fornecidos pelo primeiro e segundo dispositivos de investigação de modo a ser capaz de entender como quaisquer fraturas ou deformações ou rachaduras poderiam estar se desenvolvendo em uma zona intermediária entre as duas faces radiais.

[049] O segmento pré-fabricado compreende, preferencialmente, pelo menos um sensor capacitivo, que é incluído na dita estrutura arqueada, para detectar fraturas internas do dito segmento pré-fabricado.

[050] Na verdade, é sabido que os segmentos pré-fabricados supramencionados não têm superfícies perfeitamente lisas, mas, em vez disso, superfícies providas de saliências microscópicas que são produzidas intrinsecamente durante os processos de produção ou as etapas sucessivas de transporte/instalação.

[051] Tais saliências relacionadas à superfície garantem que a carga que atua entre duas faces movidas uma em direção à outra (preferencialmente faces circunferenciais) de dois segmentos adjacentes não seja distribuída uniformemente, mas em pontos intermitentes, o que, por sua vez, resulta em danos estruturais significativos aos próprios segmentos.

[052] Além disso, graças a essa disposição técnica, é

possível avaliar e detectar fenômenos de "divisão" dentro da estrutura arqueada do segmento pré-fabricado.

[053] Nesse contexto, os fenômenos de divisão são relacionados à aplicação de cargas (permanentes ou temporárias), que induzem forças de compressão em uma primeira zona de interesse e forças de tensão em uma segunda zona de interesse induzidas pela reação do material para as forças de compressão aplicadas supramencionadas.

[054] Como um resultado da presença das forças de tensão, é possível que o material quebre, criando fraturas internas de separação e, portanto, dissipando parcialmente a energia acumulada por meio da formação de novas superfícies internas.

[055] Inserindo-se sensores capacitivos nessas zonas afetadas por fenômenos de divisão é, portanto, possível detectar imediatamente o início potencial do dito fenômeno por meio da mudança na capacidade do sensor supramencionado correlacionada a uma mudança na distância entre seus reforços.

[056] As faces mais afetadas por esses tipos de tensões e, portanto, defeitos, são vantajosamente as faces longitudinais que sustentam o peso do terreno na porção externa, próxima à face longitudinal externa e ao túnel, e quaisquer cargas aplicadas por maquinário em serviço na porção interna, próxima à face longitudinal interna.

[057] O pelo menos um sensor capacitivo é, preferencialmente, alojado em uma zona de suporte ou posicionamento tomadas de uma máquina de perfuração de túnel identificada em uma face circunferencial ou em uma face longitudinal interna, que pode ser usada pela máquina de perfuração de túnel para repousar contra durante uma etapa de

movimento.

[058] Essa solução técnica torna possível otimizar o monitoramento de quaisquer fenômenos de divisão durante ou que seguem aplicações de cargas por uma máquina de perfuração de túnel que repousa em uma zona de suporte específica. O requerente, na verdade, confirmou que os fenômenos de fraturas ocorrem principalmente nas zonas em que a máquina de perfuração de túnel repousa durante fases de movimento ou em zonas nas quais as tomadas são posicionadas.

[059] Por exemplo, uma correspondência da zona de suporte identificada na face longitudinal interna pode ser definida traçando-se um segmento de linha reta radial que conecta o eixo geométrico longitudinal do túnel e a zona de repouso da máquina de perfuração de túnel e continuando-se o mesmo até que alcance a face longitudinal externa: essa continuação do segmento supramencionado representa as zonas posicionadas substancialmente na zona de suporte em questão.

[060] De acordo com uma modalidade, o pelo menos um sensor capacitivo é alojado a uma distância da face longitudinal interna igual a aproximadamente metade do afastamento entre duas zonas de posicionamento de tomadas.

[061] Dessa maneira, pelo menos um sensor capacitivo é posicionado em uma zona ideal na qual quaisquer fenômenos de fraturas potenciais se desenvolvem para uma extensão maior.

[062] De fato, o requerente confirmou que a distância na qual a maioria dos tipos de rachaduras desse tipo se manifesta é igual a aproximadamente 0,5 ou 0,6 da medida entre duas zonas consecutivas de posicionamento de tomadas de contato da máquina de perfuração de túnel. O segmento pré-fabricado compreende, preferencialmente, pelo menos um

inclinômetro disposto dentro ou sobre a estrutura arqueada e configurado para detectar variações de ovalização do segmento pré-fabricado.

[063] Dessa maneira é, além disso, possível realizar uma avaliação de mudanças "macroscópicas" na inclinação ou orientação do segmento uma vez instalado.

[064] Tais mudanças podem ocorrer tipicamente seguindo fenômenos naturais, tais como deslizamentos de terra, terremotos, etc., ou seguindo fenômenos artificiais, tais como a produção de perfurações para túneis nas cercanias do túnel pré-existente, produção de fundações para estruturas de edificações, etc.

[065] É interessante observar que o segmento pré-fabricado produzido de acordo com a presente invenção oferece a possibilidade de compreender três tipos diferentes de sensores dedicados a informações específicas:

- medidores de deformação, que fornecem informações locais relacionadas, preferencialmente, a tensões de membrana;
- sensores capacitivos, que fornecem informações locais relacionadas, preferencialmente, aos fenômenos de fraturas/divisão;
- inclinômetros, que fornecem informações relacionadas, preferencialmente, a fenômenos em relação a uma mudança na inclinação/orientação dos segmentos que seguem a subsidência estrutural.

[066] Também é importante observar que os procedimentos de monitoramento mais convencionais, em geral, fornecem informações relacionadas ao nível de deformação dos túneis em análises, mas não permitem uma medição das tensões dentro do concreto e não tornam possível realizar uma retroanálise a

fim de avaliar o empuxo que atua no terreno. Os algoritmos e os procedimentos de monitoramento propostos aqui superam essa desvantagem por meio da instalação preferencialmente simultânea na estrutura de dois tipos de instrumentação e vantajosamente por meio do desenvolvimento de algoritmos para análise ad hoc.

[067] O túnel é vantajosamente equipado com sensores de tensão inseridos dentro dos anéis. Os sensores de tensão podem ser instalados nas etapas de produção dos segmentos do túnel (segmentos inteligentes) ou, possivelmente, podem ser pós-instalados dentro das estruturas existentes. Como já discutido, no caso da instalação dos sensores em etapas de pré-fabricação, os segmentos equipados com sensores fornecem dados relacionados às tensões de membrana induzidas no túnel também em etapas de construção.

[068] No final da etapa de construção do túnel, um conjunto de inclinômetros (em um número mínimo determinado com base na geometria e raio do túnel) é montado nos intrados da cavidade, de modo a descrever exaustivamente o processo de deformação da cavidade. Os leitores dos sensores estarão livres de influências de fatores ambientais externos ou erros de medição através de um algoritmo de processamento de dados desenvolvido precisamente para os sensores usados. As leituras dos inclinômetros darão a rotação de cada ponto do túnel, com base nas quais a ovalização do túnel ao longo do tempo pode ser calculada. Uma vez conhecida a ovalização, as tensões de flexão às quais o túnel é submetido podem ser determinadas por meio da modelagem FEM do túnel. Os sensores de tensão preferencialmente embutidos na estrutura fornecem informações sobre o estado de tensão axial dos segmentos de

túnel. A inclusão de sensores de tensão e inclinômetros torna possível para totalmente reconstruir totalmente o estado de flexão por compressão de cada seção do túnel.

[069] Com base no fenômeno de deformação monitorado e com base no estado de tensão interna do túnel, é possível estimar as cargas externas do terreno que atuam no túnel por meio de um procedimento de retroanálise trabalhando para trás até atingir a solução.

[070] De acordo com uma modalidade, o segmento pré-fabricado comprehende uma primeira pluralidade de inclinômetros transversais interconectados operacionalmente e alojados com medida predefinida ao longo de uma direção transversal ao eixo geométrico longitudinal e/ou uma segunda pluralidade de inclinômetros longitudinais interconectados operacionalmente e alojados com medida predefinida ao longo de uma direção paralela ao eixo geométrico longitudinal.

[071] Dessa maneira, é possível comparar e monitorar o desenvolvimento das inclinações / orientações do segmento em mais pontos, com referência às contribuições na direção transversal ou longitudinal em relação ao eixo geométrico do túnel.

[072] A primeira pluralidade de inclinômetros transversais e a segunda pluralidade de inclinômetros longitudinais são, preferencialmente, alojadas em uma pluralidade de segmentos de modo a aumentar a quantidade de dados coletados e as informações que podem ser correlacionadas à integridade do túnel.

[073] De acordo com uma modalidade, a primeira pluralidade de inclinômetros transversais ou a segunda pluralidade de inclinômetros longitudinais são posicionadas dentro ou sobre

uma tira flexível.

[074] Vantajosamente, quando a tira flexível compreende a primeira pluralidade de inclinômetros transversais, a mesma é disposta em uma direção transversal ao eixo longitudinal, enquanto que a tira flexível que compreende a segunda pluralidade de inclinômetros longitudinais, é disposta em uma direção paralela ao eixo longitudinal.

[075] A tira flexível é de preferência fixada a porções de segmentos e / ou porções de túnel por meio de argamassas de cimento, adesivos poliméricos, sistemas de ligação, pregos ou parafusos ou soluções técnicas similares, de acordo com uma modalidade, a tira flexível é fixada externamente à estrutura arqueada do segmento pré-fabricado por meio de dispositivos de acoplamento.

[076] Os sensores e/ou medidores de deformação que são montados dentro dos segmentos produzem preferencialmente uma quantidade de dados que é diferente, dependendo de suas várias fases de trabalho, conforme mostrado na Tabela 1 abaixo.

Fase		Freq. Amostr.	Consumo	Duraçã o	Comunicaçã o	Fonte de alimentaçã o
1	Maturaç ão	a cada 2 dias		8 semana s	-	bateria
2	Instala ção	a cada 2 minutos		2 dias	LoRa 868MHz	bateria
3	Aguarda ndo	a cada 2 dias		semana s	LoRa 868MHz	bateria
4	Uso	> 4 vezes por dia	3 W	anos	Linha de energia	230 V AC

Tabela 1: Características de amostragem do sensor

[077] A bateria que alimenta os sensores e/ou medidores de

deformação na primeira fase deve garantir com vantagem a medição, a conservação e a comunicação dos dados coletados de acordo com os tempos descritos na Tabela 1. É observado que a alta frequência de amostragem da fase 2 envolve um maior consumo de energia e, portanto, os sensores envolvidos são preferencialmente ativados no início da referida fase e desativados no final.

[078] De acordo com uma modalidade, a coleta dos dados e a ativação dos modos dos sensores são realizadas com o uso do rádio LoRa se os testes no TBM e dentro do segmento derem resultados positivos.

[079] O mecanismo de ativação supramencionado é, preferencialmente, implantado por meio de um sistema de ímã que ativa um relé Reed, sendo que o dito relé é contido em uma caixa imersa no concreto. O sistema, uma vez lançado, está vantajosamente em um estado "pronto", comunicando-se por meio do rádio LoRa.

[080] Uma alternativa para esse sistema está no uso de RFID em 13,5 MHz.

[081] Os leitores RFID usados são, preferencialmente, do tipo ATEX.

[082] Em ambos os casos discutidos acima, a ativação é realizada trazendo o sistema de leitura/interrogação do "leitor" em direção ao segmento (esse pode ser implantado de fora do túnel antes de os segmentos serem transportados no TBM ou durante o uso do próprio TBM, por exemplo, durante a inserção dos parafusos para ancorar os segmentos).

[083] Além disso, o termo segmento neste contexto significa uma estrutura pré-moldada que compreende uma estrutura arqueada da qual as faces radiais convergem em um único

centro ou eixo com o propósito de formar um anel, que é adaptado para ser movido em direção a outros segmentos adjacentes.

[084] O produto inventivo produzido de acordo com a presente invenção é um anel de túnel que compreende pelo menos cinco segmentos pré-fabricados, que são movidos uns em direção aos outros em pares, nas respectivas faces radiais opostas para formar um anel, sendo que pelo menos três dos segmentos pré-fabricados são um segmento pré-fabricado para um túnel de concreto reforçado, que compreende uma estrutura arqueada que tem um reforço e um aglomerado de cimento que é projetado para cobrir estruturalmente segmentos de túnel anulares repetidos para módulos que correspondem a uma fração do corte transversal do mesmo, em que a dita estrutura arqueada compreende respectivas faces radiais opostas que se encontram em superfícies radiais com respeito a um eixo geométrico longitudinal do túnel, respectivas faces circunferenciais opostas que se encontram em superfícies perpendiculares ao eixo geométrico longitudinal, e respectivas faces longitudinais opostas que se encontram em superfícies que são paralelas ao eixo geométrico longitudinal, em que as ditas faces radiais são adaptadas para serem movidas em direção às respectivas faces radiais de segmentos adjacentes a fim de formarem uma porção de túnel anular, em que as ditas faces circunferenciais são adaptadas para serem movidas uma em direção à outra a fim de formarem uma extensão linear do dito túnel ao longo do dito eixo geométrico longitudinal e uma face longitudinal externa que é a uma distância maior do que uma face longitudinal interna a partir do dito eixo geométrico longitudinal, colocada em

contato com o solo do dito túnel, em que pelo menos um dispositivo de investigação é embutido na dita estrutura arqueada do dito segmento pré-fabricado a uma distância predeterminada a partir de pelo menos uma das ditas faces radial, circunferencial ou longitudinal.

[085] Dessa maneira, é possível otimizar o número de segmentos pré-fabricados equipados com dispositivos de investigação com respeito ao número total de segmentos do túnel, garantindo um monitoramento eficaz das condições de integridade do próprio túnel.

[086] Preferencialmente, há dezoito seções monitoradas em relação à pressão para cada anel, duas para cada segmento.

[087] Os anéis com instrumentação devem ser posicionados próximos àqueles fornecidos na etapa de planejamento e já monitorados por meio de extensômetros.

[088] Oito inclinômetros transversais são, preferencialmente, fornecidos por anel, com dois inclinômetros longitudinais por anel.

[089] De acordo com uma modalidade, os segmentos pré-fabricados que compreendem instrumentação são colocados em posição pelo TBM da mesma maneira que os segmentos tradicionais.

[090] Os seguintes requisitos adicionais precisam ser observados pelos segmentos que tem instrumentação; uma vez que as caixas estão em linha com o segmento e não com a cobertura sobre o perímetro da ventosa que move os segmentos (de modo a ter a cobertura inteira dentro do perímetro ou a cobertura inteira fora do perímetro), sendo que as peças eletrônicas fornecidas pelo segmento têm instrumentação totalmente "imersa" no concreto não exigem certificação ATEX

3. Além disso, as caixas do segmento que contém componentes eletrônicos elétricos precisam ser estanques, a fim de impedir o ingresso de quaisquer gases em uma etapa de instalação.

[091] A caixa com os componentes eletrônicos é preferencialmente totalmente espumada no interior, também de modo a impedir a saída de qualquer líquido corrosivo da bateria descarregada ao longo do tempo.

[092] Os segmentos pré-fabricados compreendem, preferencialmente, sistemas de alimentação de bateria e/ou sistemas de alimentação de 230 V de CA.

[093] No caso em que a fonte de alimentação é fornecida por bateria, as caixas que alojam os componentes eletrônicos e/ou os sensores e/ou medidores de deformação são incorporados dentro do segmento a uma distância de qualquer face do referido segmento pré-fabricado igual a pelo menos 4 cm.

[094] Essa solução técnica torna possível garantir os requisitos da ATEX. Os componentes eletrônicos nos quais a unidade de processamento, a bateria e quaisquer outros componentes eletrônicos estão contidos vantajosamente têm dimensões iguais a 50\*136\*120 mm.

[095] A caixa na qual os componentes eletrônicos são inseridos é preferencialmente posicionada verticalmente do lado de fora (tampa 50x136 mm) em direção ao interior do segmento (120 mm) e corre sobre guias laterais dentro da caixa. Os cabos dos sensores entram na caixa e correm até o ponto em que os conectores estão posicionados; dessa forma, a manutenção e possível substituição da placa são facilitadas. Quando o sistema de monitoramento é realizado, a tampa é removida e trocada por outra tampa, já dotada do cabo do

barramento de dados para conexão ao inclinômetro, por um lado, e à placa dentro da caixa, por outro.

[096] Uma caixa de juncão terá, preferencialmente, uma medição indicativa de 50 x 136 x 120 mm, para ser posicionada também verticalmente, de modo que o cabo da fonte de alimentação possa ser inserido sem interferência com os ferros.

[097] De acordo com uma modalidade, além da unidade de controle primária equipada com uma conexão à rede celular, 14 unidades de controle secundárias são posicionadas no duto de cabo abaixo da superfície da pista, uma a cada 500m, em poços para conexão ao túnel acima.

[098] Essas unidades de controle são preferencialmente conectadas por fibra óptica (monomodal) e incluem o modem powerline.

[099] Vantajosamente, o número de caixas projetado para conter os componentes eletrônicos fornecidos e correlacionados ao dispositivo de investigação é de quatro por segmento, posicionadas nas cercanias das faces radiais do segmento e conectadas uma à outra em série. As duas caixas intermediárias têm, preferencialmente, duas zonas internas separadas para alojar componentes eletrônicos capazes de produzir conexões em série que isolam fisicamente os diferentes componentes eletrônicos.

[0100] De acordo com uma modalidade, pelo menos uma caixa tem uma face com fio coincidente com uma face do dito segmento pré-fabricado. É vantajosamente possível, por meio da face com fio da dita pelo menos uma caixa, conectar operacionalmente a dita caixa, por meio de um cabo, a outra caixa contida em um segmento pré-fabricado adjacente.

[0101] Os segmentos pré-fabricados equipados com um dispositivo de investigação vantajosamente são aqueles nos quais a máquina de perfuração de túneis repousa durante as fases de movimento.

[0102] De fato, o requerente confirmou que, dessa maneira, o monitoramento das zonas mais frequentemente expostas a cargas críticas que podem induzir a formação de fraturas, trincas, deformações e assentamentos estruturais é otimizado.

[0103] Os modos operacionais do segmento pré-fabricado, que definem o processo e o método da presente invenção, compreendem as etapas descritas doravante. O processo de produzir e monitorar um segmento pré-fabricado produzido de cimento compreende, preferencialmente, fornecer fôrma para receber um concreto armado, alojar pelo menos um dispositivo de investigação na dita fôrma, conectar operacionalmente o dito pelo menos um dispositivo de investigação a uma unidade de processamento que seja capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um dispositivo de investigação, realizar a dita concretagem no interior da dita fôrma embutindo-se o dito pelo menos um dispositivo de investigação para formar uma estrutura arqueada do dito segmento pré-fabricado, e monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento analisando-se quaisquer mudanças nos ditos dados coletados ou processados durante as etapas que seguem a dita concretagem.

[0104] O processo de produzir e monitorar um segmento pré-fabricado produzido de concreto reforçado compreende preferencialmente: fornecer um reforço no interior de fôrma para receber o dito concreto armado, fixar pelo menos um dispositivo de investigação ao reforço, conectar

operacionalmente o pelo menos um dispositivo de investigação a uma unidade de processamento que seja capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um dispositivo de investigação, realizar a dita concretagem no interior da dita fôrma embutindo-se o dito pelo menos um dispositivo de investigação para formar uma estrutura arqueada do dito segmento pré-fabricado, e monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento analisando-se quaisquer mudanças de tensão durante as etapas que seguem a dita concretagem.

[0105] Dessa maneira, o dispositivo de investigação é inserido a partir das etapas iniciais de formação do segmento e torna possível para analisar e monitorar quaisquer mudanças de tensão durante as etapas de cura seguintes, mas também, possivelmente, durante as etapas de transporte e instalação do segmento dentro do túnel.

[0106] De acordo com uma modalidade, o processo de produção e monitoramento compreende: restringir pelo menos um sensor capacitivo a uma sustentação ou ao dito reforço antes de realizar a dita concretagem, conectar operacionalmente o dito pelo menos um sensor capacitivo à dita unidade de processamento capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um sensor capacitivo, e monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento analisando-se quaisquer mudanças estruturais detectadas pelo dito pelo menos um sensor capacitivo durante as etapas que seguem a dita concretagem.

[0107] Dessa maneira, é possível analisar e monitorar qualquer presença de fenômenos de fratura no segmento pré-fabricado.

[0108] A sustentação é, preferencialmente, uma estrutura tridimensional posicionada em uma superfície que identifica a zona de concretagem e capaz de atuar como um maio de fixação estável para o sensor capacitivo (por exemplo, uma estrutura de metal ou polímero).

[0109] O processo de produção e monitoramento compreende preferencialmente: restringir pelo menos um inclinômetro ao exterior da dita estrutura arqueada após um tempo de cura predefinido a partir de quando a concretagem ocorreu, conectar operacionalmente o dito pelo menos um inclinômetro à dita unidade de processamento que é capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um inclinômetro, e monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento analisando-se quaisquer mudanças de inclinação detectadas pelo dito pelo menos um inclinômetro durante as etapas que seguem a dita concretagem.

[0110] Dessa maneira, é possível analisar e monitorar qualquer presença de fenômenos de deformações e/ou movimentos do segmento pré-fabricado.

[0111] De acordo com uma modalidade, o processo de produção e monitoramento compreende: aguardar durante o dito tempo de cura para a dita estrutura arqueada do dito segmento pré-fabricado, instalar o dito segmento pré-fabricado no interior de um túnel, e monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento que analisa quaisquer mudanças estruturais detectadas.

[0112] Dessa maneira, é possível analisar e monitorar qualquer presença de deformações, fraturas, rachaduras ou movimentos do segmento pré-fabricado durante e depois de sua instalação em um túnel.

[0113] Esse modo operacional permite, portanto, um monitoramento eficaz e constante, capaz de garantir a integridade dos segmentos analisados e uma pronta resposta em caso da presença de defeitos estruturais perigosos.

[0114] O método para produzir e monitorar o túnel comprehende preferencialmente: fazer um furo em um terreno, instalar segmentos pré-fabricados em faces radiais opostas movendo-se os mesmos uns em direção aos outros em pares, de modo a formar um anel de túnel, sendo que pelo menos um dos ditos segmentos pré-fabricados comprehende um dispositivo de investigação de modo que, uma vez conectado a uma unidade de processamento, os dados processados possam ser monitorados durante e após a instalação dos ditos segmentos pré-fabricados no dito túnel.

[0115] Dessa maneira o requerente confirmou que um túnel no qual pelo menos um dos segmentos pré-fabricados instalados permite a análise e o monitoramento dos dados estruturais detectados pode ser construído de maneira segura.

[0116] O método comprehende preferencialmente: usar uma máquina de perfuração de túnel para formar o dito furo para o dito túnel e instalar os ditos segmentos pré-fabricados, sendo que pelo menos um dos ditos segmentos pré-fabricados comprehende um dispositivo de investigação, conectado a uma unidade de processamento, e monitorar os dados processados durante e após a instalação dos ditos segmentos pré-fabricados no dito túnel e durante e após o avanço da máquina de perfuração de túnel para que a mesma toque os ditos segmentos pré-fabricados, em que pelo menos um dos ditos segmentos pré-fabricados comprehende o dito dispositivo de investigação.

[0117] Dessa maneira, é possível analisar e monitorar a integridade estrutural dos segmentos pré-fabricados incluindo pelo menos um dispositivo de investigação durante as etapas de tunelamento por meio de uma máquina de perfuração de túneis e durante as etapas de instalação dos segmentos um com o outro. O requerente confirmou que essas etapas são particularmente críticas no que diz respeito à integridade estrutural dos segmentos e, portanto, constituem momentos de particular importância para análise e monitoramento.

[0118] O método compreende vantajosamente avançar a máquina de perfuração de túnel ao longo de um eixo geométrico longitudinal do túnel repousando-se a mesma contra pelo menos um segmento pré-fabricado, e monitorar as possíveis variações nos dados processados durante e após as etapas de repouso da máquina de perfuração de túnel.

[0119] O requerente confirmou que a fase de empuxo produzida pela máquina de perfuração de túnel nos segmentos durante os movimentos representa um momento em que cargas muito altas são aplicadas, o que frequentemente pode induzir danos críticos aos segmentos pré-fabricados. Nesse sentido, analisar e monitorar os parâmetros fornecidos pelos dispositivos de investigação e sensores contido no segmento pré-fabricado que tem os recursos da presente invenção torna possível otimizar o monitoramento da estrutura para o propósito de detectar, em tempo hábil, qualquer perda de integridade de uma porção do túnel.

#### Breve descrição dos desenhos

[0120] Os recursos e vantagens da invenção se tornarão mais claros a partir da descrição detalhada de uma modalidade preferencial da mesma, fornecida a título de exemplo não

limitante, e a partir dos desenhos anexos, nos quais:

- A Figura 1 é uma vista em perspectiva de um segmento pré-fabricado para um túnel produzido de concreto reforçado;
- A Figura 2 é uma vista em perspectiva de um reforço compreendido no segmento pré-fabricado da Figura 1;
- A Figura 3 é uma vista de baixo de uma pluralidade de segmentos pré-fabricados dispostos de forma adjacente um ao outro dentro de um túnel;
- A Figura 4 é uma vista em perspectiva de um anel de túnel composto de uma pluralidade de segmentos pré-fabricados movidos uns em direção aos outros em pares em faces radiais;
- A Figura 5 é uma vista em perspectiva de um dispositivo de investigação e das deformações e tensões correlacionadas ao mesmo;
- A Figura 6 é uma vista em perspectiva de um dispositivo de investigação que pode ser associado a uma estrutura de um aglomerado.

#### Modalidade preferencial da invenção

[0121] Nos desenhos, o sinal de referência 1 indica um segmento pré-fabricado 1 para um túnel de concreto reforçado produzido de acordo com a presente invenção e projetado para realizar um processo e um método para produzir e monitorar o segmento pré-fabricado e um túnel que compreende o segmento pré-fabricado supramencionado.

[0122] O segmento pré-fabricado 1 compreende, preferencialmente, uma estrutura arqueada 2 que tem um reforço 3 e um aglomerado de cimento.

[0123] De acordo com uma modalidade, o segmento pré-fabricado 1 é projetado para cobrir estruturalmente segmentos

de túnel anulares repetidos com módulos que correspondem a uma fração do corte transversal do mesmo. A estrutura arqueada 2 compreende respectivas faces radiais opostas 2a, 2b que se encontram em superfícies radiais com respeito a um eixo geométrico longitudinal X do túnel, sendo que as respectivas faces circunferenciais opostas 2c, 2d se encontram em superfícies perpendiculares ao eixo geométrico longitudinal X e as respectivas faces longitudinais opostas 2e, 2f se encontram em superfícies paralelas ao eixo geométrico longitudinal X.

[0124] As faces radiais 2a, 2b são vantajosamente movidas em direção às respectivas faces radiais de segmentos adjacentes a fim de formar uma porção de túnel anular, sendo que as ditas faces circunferenciais 2c, 2d são adaptadas para serem movidas umas em direção às outras a fim de formar uma extensão linear do dito túnel ao longo do dito eixo geométrico longitudinal X e uma face longitudinal externa 2f que está a uma distância maior do que uma face longitudinal interna 2e a partir do dito eixo geométrico longitudinal X, cuja face longitudinal interna é colocada em contato com o solo do dito túnel, em que pelo menos um dispositivo de investigação 4 é embutido na dita estrutura arqueada 2 do dito segmento pré-fabricado 1 a uma distância predeterminada D a partir de pelo menos uma das ditas faces radial 2a, 2b, circunferencial 2c, 2d ou longitudinal 2e, 2f.

[0125] A estrutura arqueada tem, preferencialmente, um comprimento entre 2 e 6 metros, uma espessura entre 30 e 80 centímetros, e uma largura entre 2 e 3 metros.

[0126] De acordo com uma modalidade, a distância D (não mostrada nos desenhos) pode ser definida arbitrariamente por

um usuário com base nos requisitos específicos. A distância D é definida vantajosamente pelas faces radiais e está entre 0 e 20 cm.

[0127] Com referência à Figura 1, o segmento pré-fabricado 1 tem, preferencialmente, faces circunferenciais opostas 2c, 2d de formato trapezoidal substancialmente curvo, enquanto as faces restantes 2a, 2b, 2e, 2f são de formato substancialmente retangular.

[0128] De acordo com uma modalidade, o dispositivo de investigação 4 compreende um corpo deformável 5, no qual é disposto pelo menos um medidor de deformação Ri configurado para detectar pelo menos três medidas de deformação E1, E2, E3 orientadas uma em relação à outra, de modo que uma tensão SYY dentro do dito dispositivo de investigação 4 seja proporcional a uma combinação das três medidas de deformação E1, E2, E3 (consultar a Figura 5).

[0129] Esse medidor de deformação Ri é, preferencialmente, um dispositivo que compreende pelo menos um trio de extensômetros elétricos ou ópticos.

[0130] Em uma modalidade preferencial, o medidor de deformação Ri compreende pelo menos um trio de resistências (extensômetro, piezorresistivo, etc.), cuja deformação é facilmente detectável monitorando-se as mudanças nas resistências elétricas. Alternativamente ou adicionalmente, o medidor de deformação Ri pode compreender um capacitor capacitivo, cuja deformação pode ser facilmente detectada monitorando-se mudanças na capacidade. Tais modalidades são destinadas a ser exemplificativas não limitantes e podem ser facilmente e de maneira comum adaptadas ou trocadas por sensores de deformação similares por pessoas versadas na

técnica com o propósito de atingir os objetivos da invenção. Em uma modalidade preferencial o medidor de deformação Ri compreende um trio de sensores de deformação R1, R2, R3, orientados individualmente de acordo com um sistema de eixo geométrico triplo predeterminado e capazes de medir três deformações E1, E2, E3, com base nas quais a tensão SYY é calculada por meio de combinação, sendo que a dita tensão atua em uma zona não perturbada A2 e é proporcional à combinação das três medidas de deformação E1, E2, E3 e, portanto, exclusivamente às ações externas aplicadas (por exemplo, uma carga P) e não é influenciada por fenômenos viscosos gerados dentro do corpo deformável 5 (consultar a Figura 5).

Em particular, o pelo menos um medidor de deformação Ri compreende três sensores de deformação Rv, Rr, Rc, orientados individualmente de acordo com um trio ortogonal predeterminado e capazes de medir três deformações orientadas ortogonalmente uma em relação à outra Ev, Er, Ec contidas na zona não perturbada A2, e a tensão SYY é proporcional a uma combinação das ditas três medidas de deformação orientadas ortogonalmente uma em relação à outra Ev, Er, Ec. Por exemplo, na hipótese de forma axial-simétrica tanto em torno de uma porção do aglomerado de cimento ao redor do dispositivo de investigação, quanto do dispositivo de investigação 4 e com uma carga P aplicada ao longo de um eixo geométrico de referência, o trio ortogonal definido de acordo com as coordenadas cilíndricas vertical, radial e circunferencial universais v, r, c também define as orientações dos três sensores de deformação vertical, radial e circunferencial Rv, Rr, Rc, das três deformações vertical,

radial e circunferencial correspondentes  $E_v$ ,  $E_r$ ,  $E_c$  e das três tensões vertical, radial e circunferencial  $S_v$ ,  $S_r$ ,  $S_c$  respectivamente (consultar a Figura 5). Além disso, na aproximação axial-simétrica usada, as três deformações vertical, radial e circunferencial  $E_v$ ,  $E_r$ ,  $E_c$  são diferentes de zero, enquanto as deformações de corte  $E_{rv}$ ,  $E_{rc}$ ,  $E_{vc}$  são zero ou desprezíveis. Isso significa que o cálculo da tensão axial  $S_{YY}$ , coincidente com a tensão vertical  $S_v$ , é simplificado aplicando-se a ligação constitutiva linear resiliente do material do qual o corpo deformável 5 é produzido, na hipótese de um estado axial-simétrico de acordo com a seguinte equação (1):

$$\begin{bmatrix} S_{XX} \\ S_{YY} \\ S_{ZZ} \\ S_{XY} \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G/C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{XX} \\ E_{YY} \\ E_{ZZ} \\ E_{XY} \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0131] Se for desejado para abandonar a hipótese de simetria axial, é necessário aplicar a relação constitutiva completa do material com o uso dos seis componentes da deformação e da tensão usando-se uma equação mais complexa, mas que produz resultados substancialmente idênticos (consultar equação (2)).

$$\begin{bmatrix} S_{XX} \\ S_{YY} \\ S_{ZZ} \\ S_{XY} \\ S_{XZ} \\ S_{YZ} \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G/C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G/C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G/C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{XX} \\ E_{YY} \\ E_{ZZ} \\ E_{XY} \\ E_{XZ} \\ E_{YZ} \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0132] em que:

$$C = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

[0133] em que  $\nu$  é a razão de Poisson e  $E$  é o módulo de Young.

[0134] Ambas as hipóteses dão a equação (3) :

$$Sv = SYY = C [vEXX + (1 - \nu) EYY + \nu EZZ] \quad (3)$$

[0135] Graças ao dispositivo de investigação 4 e aos recursos mencionados acima do mesmo, mesmo no caso em que o modelo do dispositivo não é axialmente simétrico, é possível definir uma zona não perturbada A2, dentro do corpo deformável 5, na qual a tensão  $Sv$  é proporcional apenas às ações externas aplicadas e não é influenciada por fenômenos viscosos produzidos dentro do corpo deformável 5 ou por desvios das linhas de força (consultar as Figuras 5 e 6).

[0136] Nesse caso os cálculos necessários para obter o valor da tensão exigem o uso da ligação constitutiva completa do material a partir do qual o corpo deformável 5 é produzido, como descrito acima.

[0137] Em uma modalidade preferencial, no caso em que a carga externa aplicada  $P$  é constante, a combinação acima mencionada da equação 3 é constante e isso implica que o valor de  $SYY$  também é constante.

[0138] O dispositivo de investigação 4 é, preferencialmente, fixado ao reforço 3 (por exemplo, por meio de ligação, soldagem, colagem, etc.).

[0139] De acordo com uma modalidade, o corpo deformável 5 tem comportamento resiliente, pelo menos com respeito às tensões admissíveis na dita estrutura do dito aglomerado de cimento.

[0140] O corpo deformável 5 vantajosamente compreende duas superfícies A, B, cuja dimensão menor é maior ou igual ao diâmetro nominal máximo de um material ligado compreendido no

dito aglomerado de cimento.

[0141] O corpo deformável 5 tem, preferencialmente, um formato substancialmente achatado com respeito às duas dimensões predominantes de modo a obter no interior do dito corpo deformável 5 uma zona não perturbada A2 da dita tensão SYY, zona em que o dito pelo menos um medidor de deformação Ri é disposto.

[0142] Com referência às Figuras. 5 e 6 e como uma função da razão R entre a dimensão mínima das superfícies A e B (também denominadas superfícies de base) e uma altura h1 do corpo deformável 5, a zona perturbada é espacialmente confinada a uma extensão mais ou menos extensa parte das superfícies A e B. Tais perturbações, no entanto, dizem respeito apenas a uma coroa cilíndrica externa, denominada A1, do corpo deformável 5, para uma extensão igual a uma fração do raio (no caso do dispositivo cilíndrico mostrado nas Figuras. 5 e 6, tal extensão é de aproximadamente 1/3 do raio do corpo deformável 5).

[0143] Portanto, é possível identificar uma zona dentro do corpo deformável 5, ou seja, a dita zona não perturbada A2, que permanece inalterada por esses fenômenos viscosos de primeira e segunda ordem e que está, portanto, sujeita a uma tensão  $S_v = S_{YY}$  ortogonal às faces A e B e proporcional apenas aos agentes que atuam do lado de fora (por exemplo, a carga P, como mostrado na Figura 5).

[0144] Em particular, a tensão  $S_v = S_{YY}$  ortogonal às faces A e B é proporcional a uma combinação de uma pluralidade de deformações compreendidas na zona não perturbada supramencionada A2.

[0145] Com referência à Figura 5, a zona não perturbada A2

é, preferencialmente, identificável com um cilindro dentro do corpo deformável 5, que tem uma base de diâmetro D2 igual a aproximadamente 20 mm.

[0146] O dito pelo menos um medidor de deformação Ri é, preferencialmente, posicionado a uma distância h2 a partir de pelo menos uma das ditas duas superfícies A, B (consultar a Figura 5).

[0147] Além disso, preferencialmente, a distância h2 é maior ou igual à dimensão da maior bolha de gás possivelmente presente no aglomerado. De fato, esse posicionamento do medidor de deformação R1 supramencionado permite que o material do qual o corpo deformável 5 é produzido reduza a perturbação local causada à medição pelas bolhas de gás presentes no aglomerado.

[0148] De acordo com uma modalidade, o medidor de deformação Ri é disposto de forma equidistante entre as duas faces A e B.

[0149] O medidor de deformação Ri é alternativamente disposto de forma assimétrica dentro do dito corpo deformável, mas mantendo a distância mínima entre uma parte do mesmo e a face A ou B maior que a dita dimensão da bolha de gás maior.

[0150] Com referência à Figura 2 o segmento pré-fabricado 1 comprehende, preferencialmente, um primeiro, um segundo e um terceiro dispositivos de investigação 4a, 4b, 4c posicionados respectivamente em faces radiais opostas 2a, 2b, 2c e em uma zona média M da estrutura arqueada 2.

[0151] O primeiro, segundo e terceiro dispositivos de investigação 4a, 4b, 4c são, preferencialmente, dispostos ao longo de um alinhamento radial com o eixo geométrico

longitudinal X do túnel, e o primeiro e segundo dispositivos são substancialmente paralelos à respectiva face radial na qual os mesmos estão alojados.

[0152] O primeiro, segundo e terceiro dispositivos de investigação 4a, 4b, 4c são vantajosamente pluralidades de dispositivos de investigação alojados respectivamente nas faces radiais opostas 2a, 2b e na zona média M da estrutura arqueada 2.

[0153] De acordo com uma modalidade, o dispositivo de investigação 4, o primeiro, o segundo ou o terceiro dispositivos de investigação 4a, 4b, 4c, são conectados operacionalmente a uma unidade de processamento 50 que é capaz de processar os dados coletados pelos ditos dispositivos de investigação. Essa conexão operacional pode ser estabelecida por meio de cabos (preferencialmente equipados com conectores estanques) ou por meio de sistemas de transferência de dados sem fio.

[0154] Além disso, o dispositivo de investigação e/ou a unidade de processamento podem ser alimentados por meio de uma bateria ou por meio de uma conexão elétrica a uma linha de fonte de alimentação externa.

[0155] Tais conexões são estabelecidas por meio de cabos e conectores garantidos de acordo com o padrão IP68 e satisfazem aos parâmetros ATEX.

[0156] O segmento pré-fabricado 1 compreende, preferencialmente, pelo menos um sensor capacitivo 10, incluído na estrutura arqueada 2, para detectar fraturas internas do segmento pré-fabricado 1.

[0157] As pessoas versadas na técnica serão capazes de identificar o tipo de sensores capacitivos disponíveis no

mercado que podem ser mais bem aplicados às necessidades da presente invenção.

[0158] De acordo com uma modalidade preferencial, o sensor capacitivo 10 é conectado operacionalmente à unidade de processamento 50 que é capaz de processar os dados do dito sensor. Essa conexão operacional pode ser estabelecida por meio de cabos (preferencialmente equipados com conectores estanques) ou por meio de sistemas de transferência de dados sem fio.

[0159] Além disso, o sensor capacitivo e/ou a unidade de processamento podem ser alimentados por meio de uma bateria ou por meio de uma conexão elétrica a uma linha de fonte de alimentação externa.

[0160] De acordo com uma modalidade, o pelo menos um sensor capacitivo 10 é alojado em uma zona de repouso S1 identificada em uma face circunferencial 2c, 2d ou na face longitudinal interna 2e utilizável por uma máquina de perfuração de túnel para repousar contra durante uma fase de movimento.

[0161] O pelo menos um sensor capacitivo 10 é, preferencialmente, alojado dentro da estrutura arqueada a uma distância F (não mostrada nos desenhos) da face longitudinal interna 2e igual a aproximadamente metade do afastamento entre duas zonas de posicionamento consecutivas S1, S2 de duas tomadas de contato da dita máquina de perfuração de túnel.

[0162] O requerente, na verdade, demonstrou que aplicações de cargas da máquina de perfuração de túneis destinadas a produzir o movimento por meio de repouso nas referidas superfícies de uma face circunferencial 2c, 2d ou na face

longitudinal interna 2e podem induzir fenômenos de fratura dentro do próprio segmento e, em particular, nas tomadas da máquina de perfuração de túnel usadas como pontos de suporte. De acordo com uma modalidade, a distância entre as duas zonas de posicionamento S1, S2 é cerca de 1,20 m e, portanto, a distância F é igual a aproximadamente 0,60 m.

[0163] De acordo com uma modalidade, o segmento pré-fabricado 1 comprehende pelo menos um inclinômetro 20 disposto dentro ou sobre a estrutura arqueada 2 e configurado para detectar variações de ovalização do segmento pré-fabricado 1.

[0164] O inclinômetro 20 comprehende, preferencialmente, uma caixa estanque dentro da qual está alojado um sensor de inclinação.

[0165] O inclinômetro 20 é vantajosamente fixado do lado de fora à estrutura arqueada 2 por meio de um suporte ou soluções técnicas semelhantes, que, vantajosamente, tornam possível fixar o referido inclinômetro com uma orientação preferida.

[0166] De acordo com uma modalidade, o inclinômetro 20 é restrito à face longitudinal interna 2e, que se estende em direção ao interior do túnel.

[0167] As pessoas versadas na técnica serão capazes de identificar o tipo de inclinômetro disponível no mercado que pode ser mais bem aplicado às necessidades da presente invenção.

[0168] De acordo com uma modalidade preferencial, o inclinômetro 20 é conectado operacionalmente à unidade de processamento 50 capaz de processar os dados recebidos do referido inclinômetro. Essa conexão operacional pode ser estabelecida por meio de cabos (preferencialmente equipados

com conectores estanques) ou por meio de sistemas de transferência de dados sem fio.

[0169] Além disso, o inclinômetro 20 e/ou a unidade de processamento podem ser alimentados por meio de uma bateria ou por meio de uma conexão elétrica a uma linha de fonte de alimentação externa.

[0170] O segmento pré-fabricado 1 compreende, preferencialmente, uma primeira pluralidade de inclinômetros transversais 21 interconectados operacionalmente e alojados com uma medida predefinida ao longo de uma direção transversal ao eixo geométrico longitudinal X e/ou uma segunda pluralidade de inclinômetros longitudinais 22 interconectados operacionalmente e alojados com uma medida predefinida ao longo de uma direção paralela ao dito eixo geométrico longitudinal X.

[0171] De acordo com uma modalidade, a primeira pluralidade de inclinômetros transversais ou a segunda pluralidade de inclinômetros longitudinais 22 são posicionadas dentro ou sobre uma tira flexível.

[0172] O produto inventivo produzido de acordo com a presente invenção é um anel de túnel 100 que compreende pelo menos cinco segmentos pré-fabricados, que são movidos uns em direção aos outros em pares, nas respectivas faces radiais opostas 2a, 2b para formar um anel, sendo que pelo menos três dos segmentos pré-fabricados são formados como o dito segmento pré-fabricado 1 que é projetado para cobrir estruturalmente segmentos de túnel anulares repetidos para módulos que correspondem a uma fração do corte transversal do mesmo. A estrutura arqueada 2 compreende respectivas faces radiais opostas 2a, 2b que se encontram em superfícies

radiais com respeito ao eixo geométrico longitudinal X do túnel, respectivas faces circunferenciais opostas 2c, 2d que se encontram em superfícies perpendiculares ao eixo geométrico longitudinal X, e respectivas longitudinais opostas 2e, 2f faces que se encontram em superfícies que são paralelas ao eixo geométrico longitudinal X. As faces radiais 2a, 2b são vantajosamente movidas em direção às respectivas faces radiais de segmentos adjacentes a fim de formar uma porção de túnel anular, sendo que as ditas faces circunferenciais 2c, 2d são adaptadas para serem movidas umas em direção às outras a fim de formarem uma extensão linear do dito túnel ao longo do dito eixo geométrico longitudinal X e uma face longitudinal externa 2f que é a uma distância maior do que uma face longitudinal interna 2e a partir do dito eixo geométrico longitudinal X, colocada em contato com o solo do dito túnel, em que pelo menos um dispositivo de investigação 4 é embutido na dita estrutura arqueada 2 do dito segmento pré-fabricado 1 a uma distância predeterminada D a partir de pelo menos uma das ditas faces radial 2a, 2b, circunferencial 2c, 2d ou longitudinal 2e, 2f.

[0173] Os modos operacionais do segmento pré-fabricado, que definem o processo e o método da presente invenção, compreendem as etapas descritas doravante.

[0174] O processo 200 para produzir e monitorar um segmento pré-fabricado 1 produzido de cimento compreende, preferencialmente, fornecer fôrma para receber um concreto armado, alojar pelo menos um dispositivo de investigação 4 na dita fôrma, conectar operacionalmente o dito pelo menos um dispositivo de investigação 4 a uma unidade de processamento 50 que seja capaz de processar os dados coletados pelo dito

pelo menos um dispositivo de investigação 4, realizar a dita concretagem no interior da dita fôrma embutindo-se o dito pelo menos um dispositivo de investigação 4 para formar uma estrutura arqueada 2 do dito segmento pré-fabricado 1, e monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento 50 analisando-se quaisquer mudanças nos ditos dados coletados ou processados durante as etapas que seguem a dita concretagem.

[0175] Nesse contexto, o termo cimento significa tanto as estruturas em concreto reforçado (e, portanto, equipadas com reforço) quanto concretos reforçados (e, portanto, que compreendem metal ou fibras cerâmicas em seu interior capazes de aumentar as características mecânicas do próprio concreto).

[0176] O processo 200 de produzir e monitorar um segmento pré-fabricado 1 produzido de concreto reforçado comprehende preferencialmente: fornecer um reforço 3 dentro de fôrma para receber um concreto armado, fixar pelo menos um dispositivo de investigação 4 ao reforço 3, conectar operacionalmente o pelo menos um dispositivo de investigação 4 a uma unidade de processamento 50 que seja capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um dispositivo de investigação 4, realizar a dita concretagem no interior da dita fôrma embutindo-se o reforço 3 e o pelo menos um dispositivo de investigação 4 para formar uma estrutura arqueada 2 do segmento pré-fabricado 1, e monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento 50 analisando-se quaisquer mudanças de tensão durante as etapas que seguem a dita concretagem.

[0177] O processo de produção e monitoramento 200

compreende, preferencialmente, restringir pelo menos um sensor capacitivo 10 a uma sustentação ou ao reforço 3 antes de realizar a dita concretagem, conectar operacionalmente o pelo menos um sensor capacitivo 10 à unidade de processamento 50 capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um sensor capacitivo 10, e monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento 50 analisando-se quaisquer mudanças estruturais detectadas pelo dito pelo menos um sensor capacitivo 10 durante as etapas que seguem a dita concretagem.

[0178] De acordo com uma modalidade, o processo de produção e monitoramento 200 comprehende restringir pelo menos um inclinômetro 20 ao exterior da dita estrutura arqueada 2 após um tempo de cura predefinido  $T_c$  a partir de quando a concretagem ocorreu, conectar operacionalmente o dito pelo menos um inclinômetro 20 à dita unidade de processamento 50 que é capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um inclinômetro 20, e monitorar os dados coletados ou processado pela dita unidade de processamento 50 analisando-se quaisquer mudanças de inclinação detectadas pelo dito pelo menos um inclinômetro 20 durante as etapas que seguem a dita concretagem.

[0179] O tempo de cura  $T_c$  é, preferencialmente, compreendido dentro do período de 8 semanas.

[0180] De acordo com uma modalidade, o processo de produção e monitoramento 200 comprehende: aguardar durante o dito tempo de cura  $T_c$  da estrutura arqueada 2 do segmento pré-fabricado 1, instalar o segmento pré-fabricado 1 no interior de um túnel, e monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento 50 analisando-se quaisquer mudanças estruturais

detectadas.

[0181] O método 300 para produzir e monitorar um túnel compreende preferencialmente: fazer um furo em um terreno, instalar segmentos pré-fabricados em faces radiais 2a, 2b opostas movendo-se os mesmos uns em direção aos outros em pares, de modo a formar um anel de túnel, sendo que pelo menos um dos ditos segmentos pré-fabricados compreende um dispositivo de investigação 4 de modo que, uma vez conectado a uma unidade de processamento 50, os dados processados possam ser monitorados durante e após a instalação dos ditos segmentos pré-fabricados no dito túnel.

[0182] De acordo com uma modalidade, o método 300 compreende o uso de uma máquina de perfuração de túnel para fazer o furo para o túnel e instalar os segmentos pré-fabricados, sendo que pelo menos um dos ditos segmentos pré-fabricados 1 compreende um dispositivo de investigação 4.

[0183] O dispositivo de investigação 4 é, então, conectado a uma unidade de processamento 5 avançando-se a dita máquina de perfuração de túnel para que a mesma toque os ditos segmentos pré-fabricados, sendo que pelo menos um dos ditos segmentos pré-fabricados 1 compreende o dito dispositivo de investigação 4, e monitorar os dados processados durante e após a instalação dos segmentos pré-fabricados no dito túnel. Os dados transferidos operacionalmente do dispositivo de investigação 4 e processados pela unidade de processamento 5 são do tipo ASCII ou bruto, ou similares, permitindo que os referidos dados sejam processados e exibidos pela referida unidade de processamento de acordo com modelos de razão de força/deformação ou similares, conhecidos no campo de estudo de estruturas de cimento.

[0184] De acordo com uma modalidade a máquina de perfuração de túnel é movida ao longo do túnel, pressionando em uma zona de suporte ou posicionamento de tomadas identificada em uma face circunferencial 2c, 2d ou na face longitudinal interna 2e do segmento pré-fabricado supramencionado 1.

[0185] O método 300 comprehende, preferencialmente, avançar a máquina de perfuração de túnel ao longo de um eixo geométrico longitudinal X do túnel repousando-se a mesma contra pelo menos um segmento pré-fabricado 1 e monitorando-se quaisquer mudanças nos dados processados durante e após as fases de repouso da máquina de perfuração de túnel.

[0186] Dessa maneira, é possível avaliar, em tempo real, quaisquer mudanças em respostas estruturais fornecidas pelo segmento pré-fabricado 1 como um resultado da formação de fraturas, rachaduras ou deformações.

REIVINDICAÇÕES

1. Segmento pré-fabricado (1) para um túnel de concreto reforçado, caracterizado por compreender uma estrutura arqueada (2) que tem um reforço (3) e um aglomerado de cimento que é projetado para cobrir estruturalmente segmentos de túnel anulares repetidos para módulos que correspondem a uma fração do corte transversal dos mesmos, sendo que a dita estrutura arqueada (2) compreende respectivas faces radiais opostas (2a, 2b) que se encontram em planos que são separados angularmente entre si e passam através de um eixo geométrico longitudinal (X) do túnel, em que respectivas faces circunferenciais opostas (2c, 2d) se encontram em superfícies perpendiculares ao dito eixo geométrico longitudinal (X) e são separadas ao longo do dito eixo geométrico longitudinal, respectivas faces longitudinais opostas (2e, 2f) se encontram em superfícies que são paralelas ao dito eixo geométrico longitudinal (X), em que as ditas faces radiais (2a, 2b) são adaptadas para serem movidas em direção às respectivas faces radiais de segmentos adjacentes a fim de formar uma porção de túnel anular, as ditas faces circunferenciais (2c, 2d) são adaptadas para serem movidas em direção às respectivas faces circunferenciais de segmentos adjacentes a fim de formar uma extensão linear do dito túnel ao longo do dito eixo geométrico longitudinal (X) e uma face longitudinal externa (2f), que está a uma distância maior do que uma face longitudinal interna (2e) a partir do dito eixo geométrico longitudinal (X), é colocada em contato com o solo do dito túnel, em que pelo menos um dispositivo de investigação (4) é embutido na dita estrutura arqueada (2) do dito segmento pré-fabricado (1) a uma distância predeterminada (D) de pelo

menos uma das ditas faces radial (2a, 2b), circunferencial (2c, 2d) ou longitudinal (2e, 2f), de modo a detectar parâmetros estruturais predeterminados.

2. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o dito dispositivo de investigação (4) compreender um corpo deformável (5) no qual pelo menos um medidor de deformação (R<sub>i</sub>) é disposto, o qual é configurado para detectar pelo menos três medidas de deformação (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>) orientadas uma em relação à outra, de modo que uma tensão (S<sub>YY</sub>) dentro do dito dispositivo de investigação (4) é proporcional a uma combinação das ditas três medidas de deformação (E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>).

3. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o dito corpo deformável (5) ter comportamento puramente resiliente, pelo menos com respeito às tensões admissíveis na dita estrutura do dito aglomerado de cimento.

4. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com uma ou mais das reivindicações anteriores, caracterizado por o dito corpo deformável (5) compreender duas superfícies (A, B), cuja menor dimensão é maior ou igual ao diâmetro nominal máximo de um material ligado compreendido no dito aglomerado de cimento e tem um formato substancialmente achatado com respeito às duas dimensões predominantes de modo a obter no interior do dito corpo deformável (5) uma zona não perturbada (A<sub>2</sub>) da dita tensão (S<sub>YY</sub>), zona em que o dito pelo menos um medidor de deformação (R<sub>i</sub>) é disposto.

5. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por o dito dispositivo de investigação (4) ser restrito ao dito reforço

(3).

6. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por compreender um primeiro, um segundo e um terceiro dispositivo de investigação (4a, 4b, 4c) posicionados respectivamente nas ditas faces radiais opostas (2a, 2b) e em uma zona média (M) da dita estrutura arqueada (2).

7. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por compreender pelo menos um sensor capacitivo (10), que é incluído na dita estrutura arqueada (2), para detectar fraturas internas do dito segmento pré-fabricado (1).

8. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por compreender o dito pelo menos um sensor capacitivo (10) ser alojado na proximidade de uma zona de contato (S1) identificada em uma face circunferencial (2c, 2d) ou na dita face longitudinal interna (2e), que pode ser usada por uma máquina de perfuração de túnel para repousar contra durante uma etapa de movimento.

9. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por compreender o dito pelo menos um sensor capacitivo (10) ser alojado a uma distância (F) da dita face longitudinal interna (2e) que é igual a aproximadamente metade do afastamento entre duas zonas de posicionamento consecutivas (S1, S2) de duas tomadas de contato da dita máquina de perfuração de túnel.

10. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por compreender pelo menos um inclinômetro (20) disposto dentro ou sobre a dita estrutura arqueada (2) e projetado para detectar

variações na ovalização do dito segmento pré-fabricado (1).

11. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por compreender:

- uma primeira pluralidade de inclinômetros transversais (21) que são interconectados operacionalmente e alojados com uma medida predefinida em uma direção transversal ao dito eixo geométrico longitudinal (X); e/ou
- uma segunda pluralidade de inclinômetros longitudinais (22) que são interconectados operacionalmente e alojados com um afastamento predefinido em uma direção paralela ao dito eixo geométrico longitudinal (X).

12. Segmento pré-fabricado (1), de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por compreender a dita primeira pluralidade de inclinômetros transversais (21) ou a dita segunda pluralidade de inclinômetros longitudinais (22) serem posicionadas dentro ou sobre uma tira flexível.

13. Anel de túnel (100) caracterizado por compreender:

- pelo menos cinco segmentos pré-fabricados, que são movidos uns em direção aos outros em pares, nas respectivas faces radiais opostas (2a, 2b) para fechar o dito anel;
- sendo que pelo menos três dos ditos segmentos pré-fabricados são formados de acordo com os recursos das reivindicações anteriores.

14. Método (200) para produzir e monitorar um segmento pré-fabricado (1) produzido de cimento, caracterizado por:

- fornecer fôrma para receber um concreto armado;
- alojar pelo menos um dispositivo de investigação (4) na dita fôrma;
- conectar operacionalmente o dito pelo menos um dispositivo de investigação (4) a uma unidade de processamento (50) que

seja capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um dispositivo de investigação (4);

- realizar a dita concretagem no interior da dita fôrma embutindo-se o dito pelo menos um dispositivo de investigação (4) para formar uma estrutura arqueada (2) do dito segmento pré-fabricado (1); e

- monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento (50) analisando-se quaisquer mudanças nos ditos dados coletados ou processados durante as etapas que seguem a dita concretagem.

15. Método de produção e monitoramento (200), de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por:

- fornecer um reforço (3) no interior da fôrma para receber o dito concreto armado;

- fixar pelo menos um dispositivo de investigação (4) ao dito reforço (3);

- conectar operacionalmente o dito pelo menos um dispositivo de investigação (4) a uma unidade de processamento (50) que seja capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um dispositivo de investigação (4);

- realizar a dita concretagem no interior da dita fôrma embutindo-se o dito reforço (3) e o dito pelo menos um dispositivo de investigação (4) a fim de formar uma estrutura arqueada (2) do dito segmento pré-fabricado (1); e

- monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento (50) analisando-se quaisquer mudanças na tensão durante as etapas que seguem a dita concretagem.

16. Método de produção e monitoramento (200), de acordo com qualquer uma das reivindicações 14 ou 15, caracterizado por:

- restringir pelo menos um sensor capacitivo (10) a uma

sustentação ou ao dito reforço (3) antes de realizar a dita concretagem;

- conectar operacionalmente o dito pelo menos um sensor capacitivo (10) à dita unidade de processamento (50) capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um sensor capacitivo (10); e
- monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento (50) analisando-se quaisquer mudanças estruturais detectadas pelo dito pelo menos um sensor capacitivo (10) durante as etapas que seguem a dita concretagem.

17. Método de produção e monitoramento (200) de acordo com qualquer uma das reivindicações 14 a 16, caracterizado por:

- restringir pelo menos um inclinômetro (20) ao exterior da dita estrutura arqueada (2) após um tempo de cura predefinido (Tc) a partir de quando a concretagem ocorreu;
- conectar operacionalmente o dito pelo menos um inclinômetro (20) à dita unidade de processamento (50) que é capaz de processar os dados coletados pelo dito pelo menos um inclinômetro (20); e
- monitorar os dados processados pela dita unidade de processamento (50) analisando-se quaisquer mudanças de inclinação detectadas pelo dito pelo menos um inclinômetro (20) durante as etapas que seguem a dita concretagem.

18. Método de produção e monitoramento (200), de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores 14 a 18, caracterizado por:

- aguardar durante o dito tempo de cura (Tc) para a dita estrutura arqueada (2) do dito segmento pré-fabricado (1);
- instalar o dito segmento pré-fabricado (1) no interior de

um túnel; e

- monitorar os dados coletados ou os dados processados pela dita unidade de processamento (50) que analisa quaisquer mudanças estruturais detectadas.

19. Método (300) para produzir e monitorar um túnel, caracterizado por:

- fazer um furo em um terreno;
- instalar segmentos pré-fabricados em faces radiais opostas movendo-se os mesmos uns em direção aos outros em pares, de modo a formar um anel de túnel;
- em que pelo menos um dos ditos segmentos pré-fabricados compreende um dispositivo de investigação (4) de modo que, uma vez conectado a uma unidade de processamento (50), os dados processados podem ser monitorados durante e após a instalação dos ditos segmentos pré-fabricados no dito túnel.

20. Método (300), de acordo com a reivindicação 19, caracterizado por:

- usar uma máquina de perfuração de túnel para formar o dito furo para o dito túnel e para instalar os ditos segmentos pré-fabricados, sendo que pelo menos um dos ditos segmentos pré-fabricados (1) compreende um dispositivo de investigação (4);
- conectar o dito dispositivo de investigação (4) a uma unidade de processamento (50);
- avançar a dita máquina de perfuração de túnel para que a mesma toque os ditos segmentos pré-fabricados, sendo que pelo menos um dos ditos segmentos pré-fabricados (1) compreende o dito dispositivo de investigação (4); e
- monitorar os dados processados durante e após a instalação dos ditos segmentos pré-fabricados no dito túnel.

21. Método (300), de acordo com a reivindicação 20, caracterizado por:

- avançar a dita máquina de perfuração de túnel ao longo de um eixo geométrico longitudinal (X) do dito túnel repousando-se a mesma contra o dito pelo menos um segmento pré-fabricado (1); e
- monitorar as possíveis variações nos dados processados durante e após as etapas de repousar a máquina de perfuração de túnel.

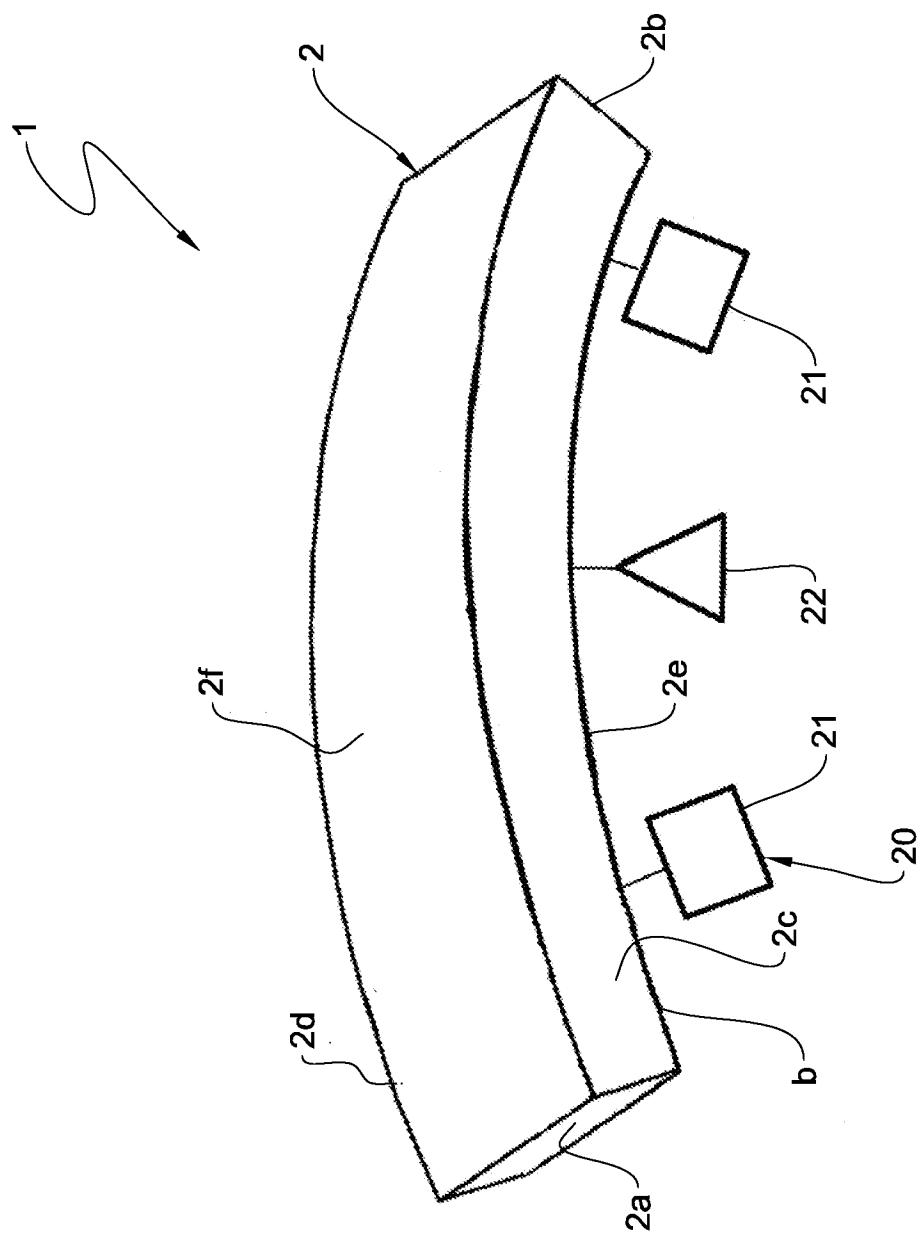


Fig. 1

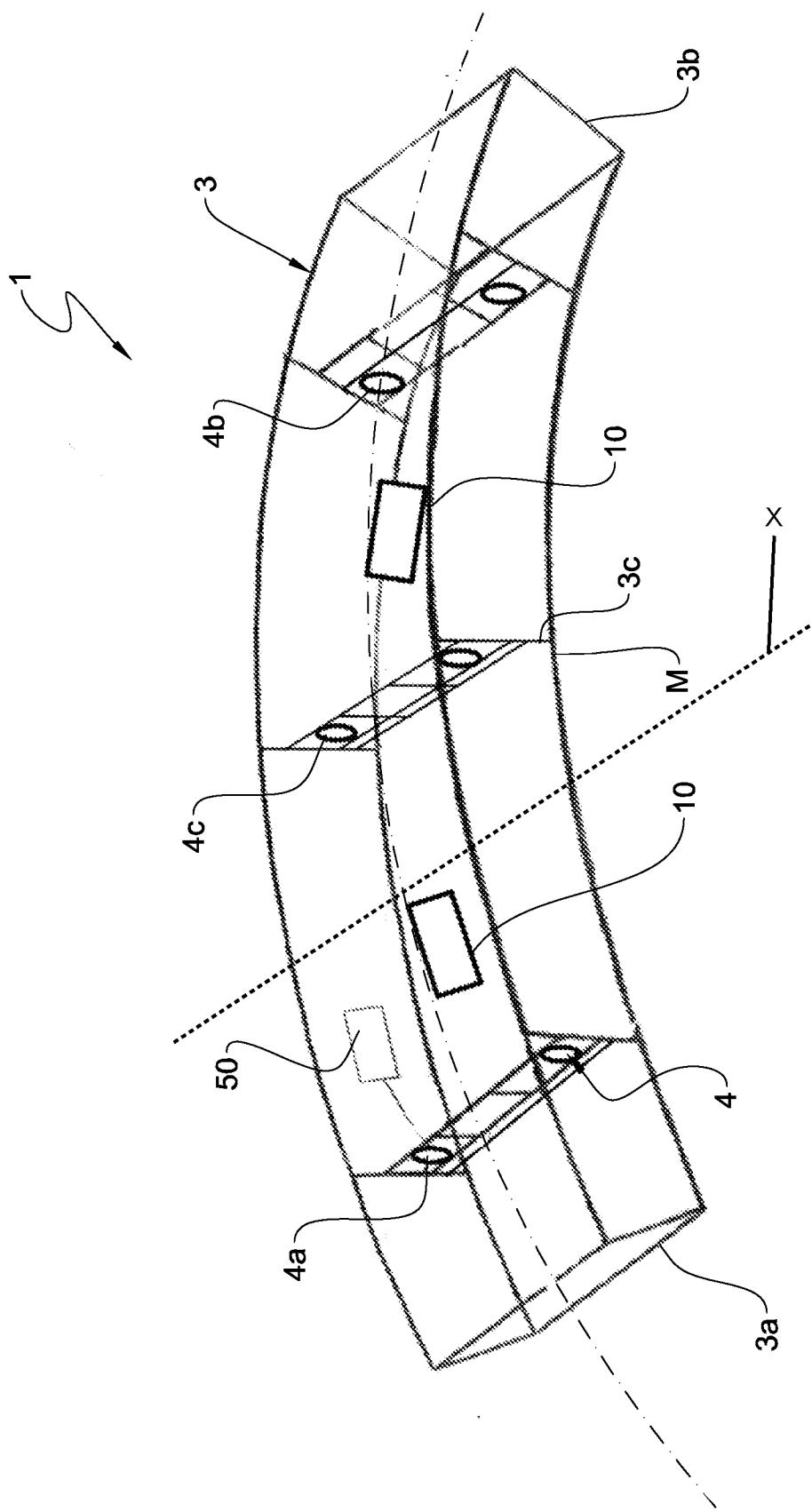


Fig. 2

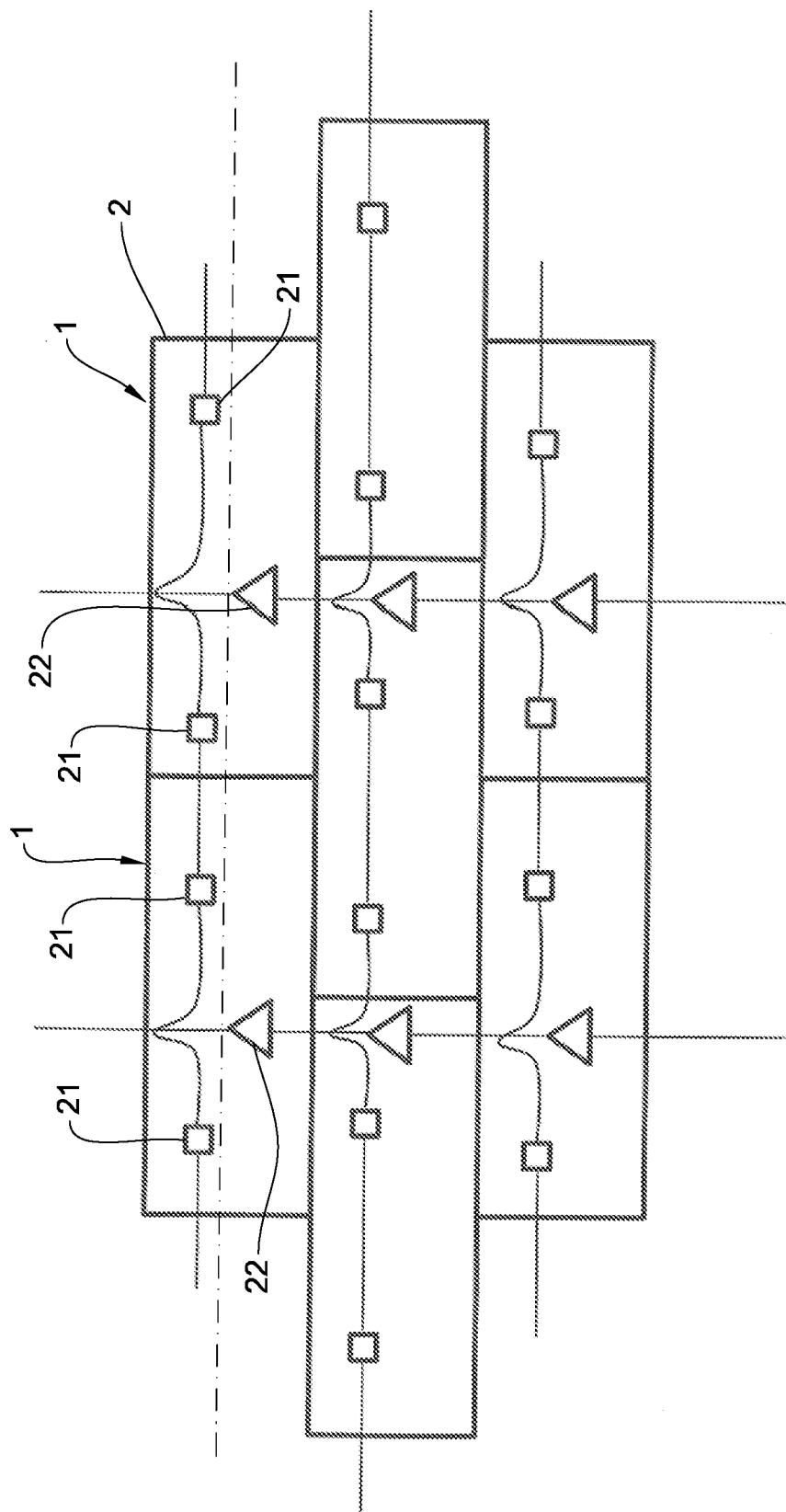


Fig. 3

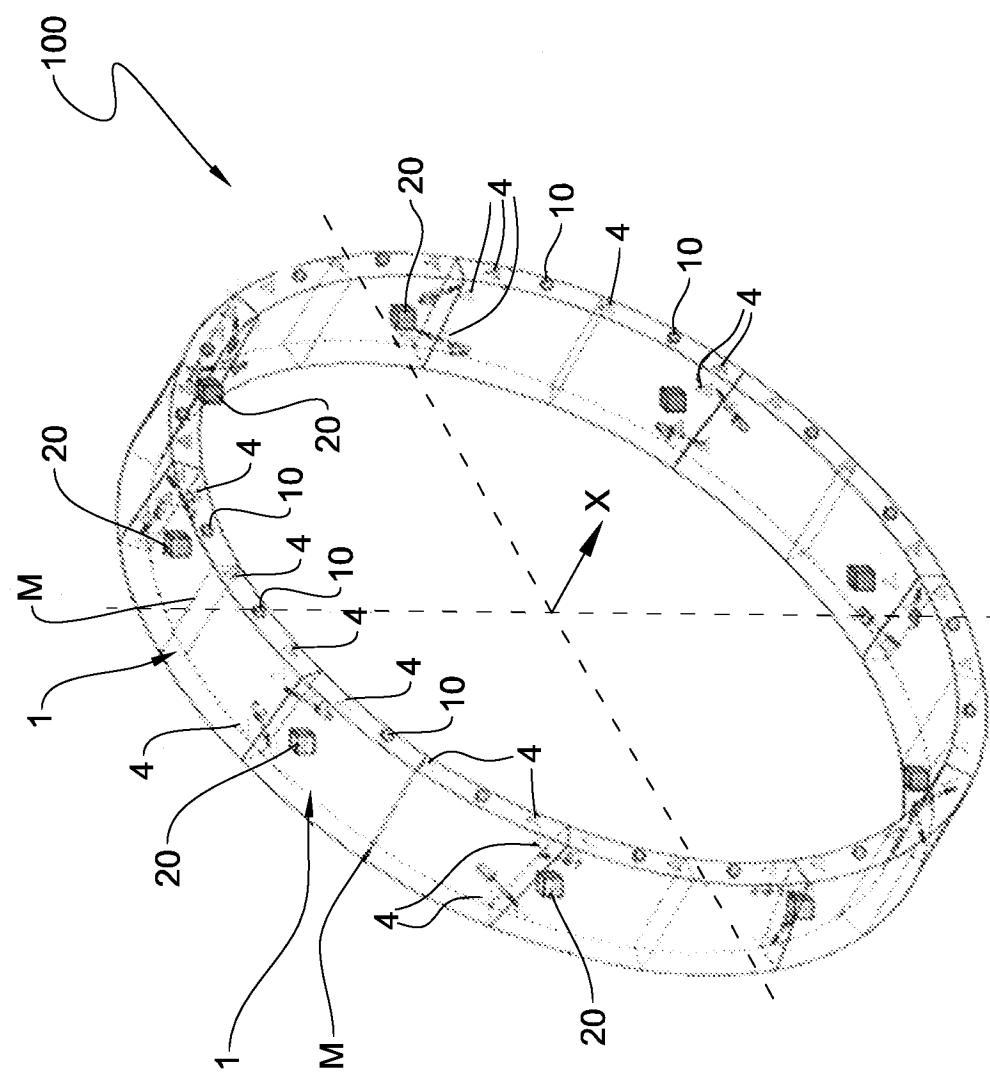


Fig. 4

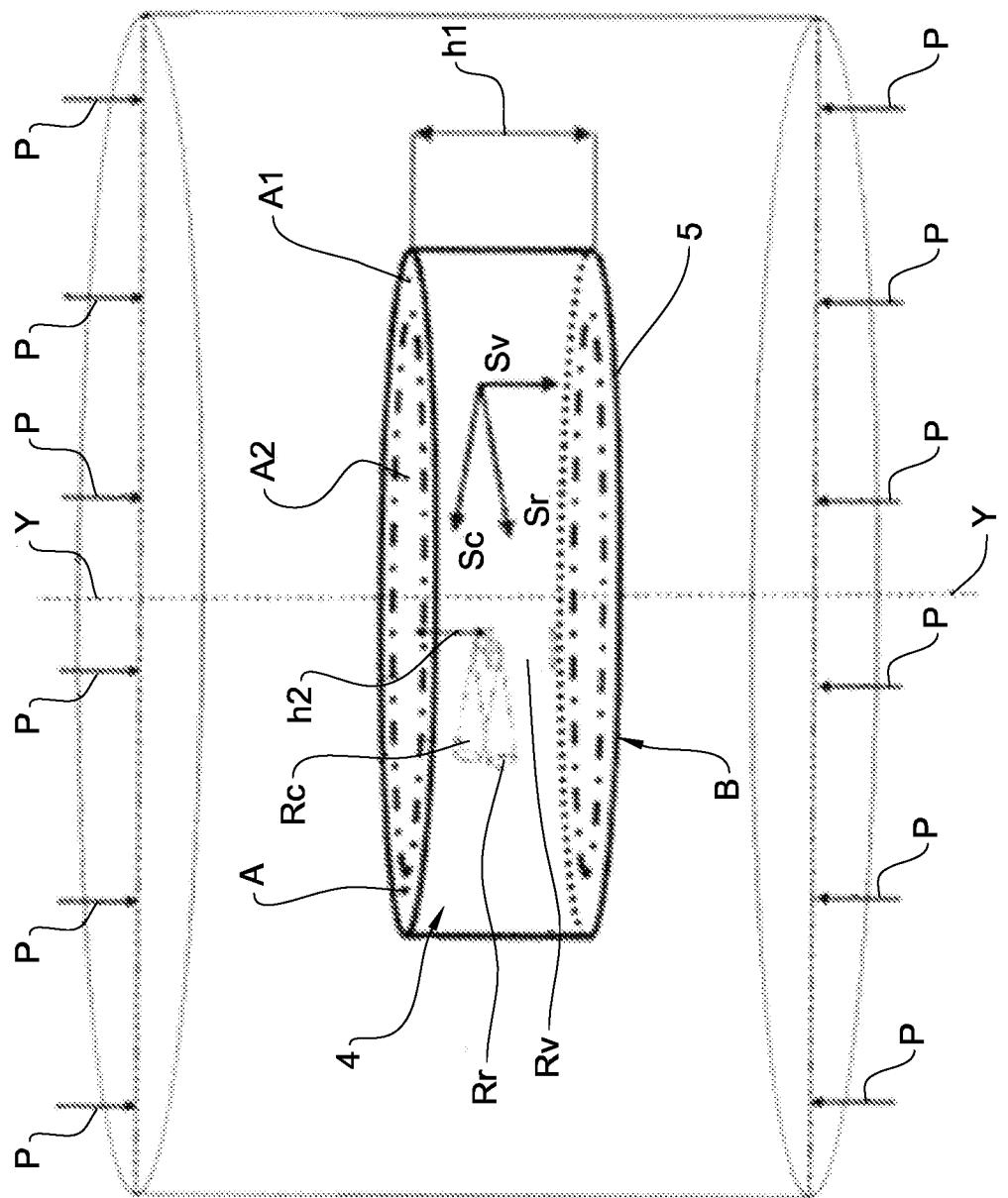


Fig. 5

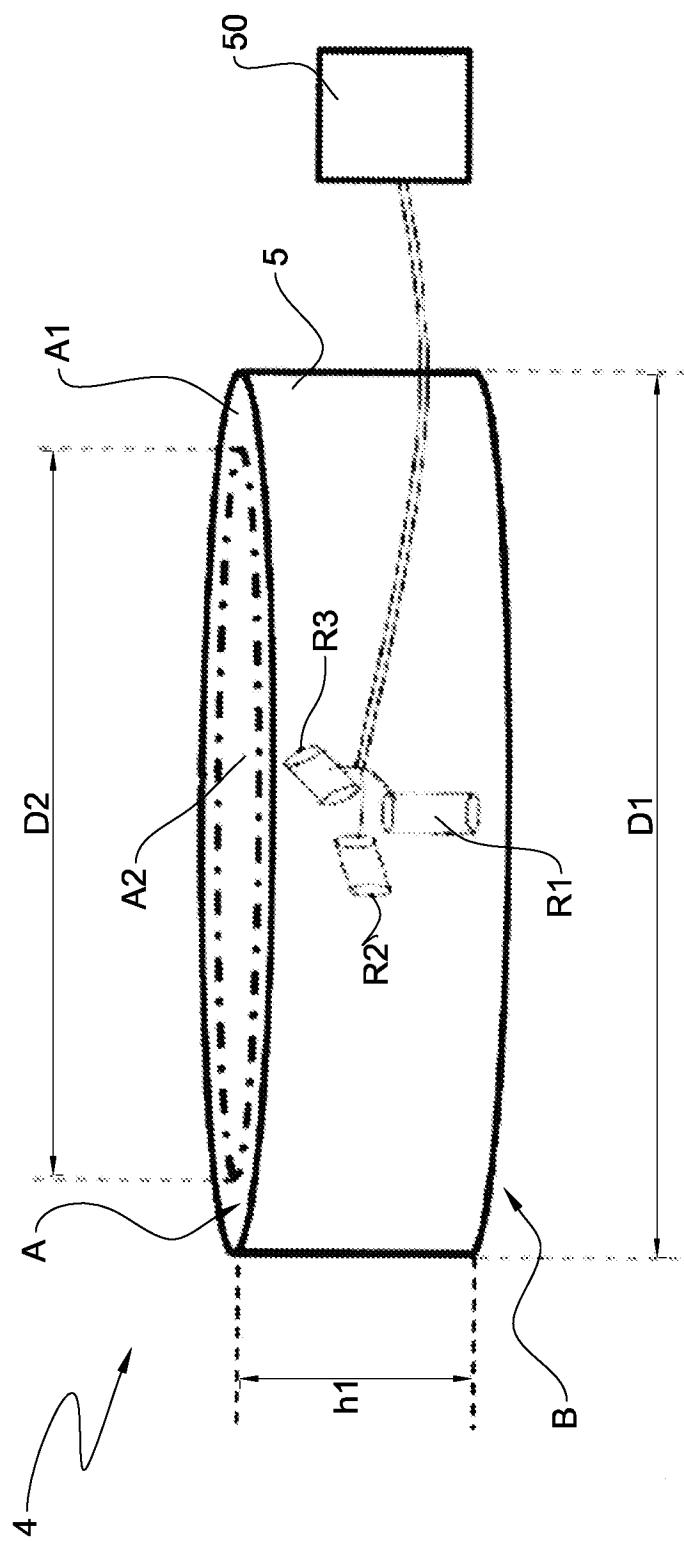


Fig. 6

RESUMO

“SEGMENTO PRÉ-FABRICADO PARA TÚNEIS E MÉTODO PARA PRODUZIR E MONITORAR O DITO SEGMENTO PRÉ-FABRICADO”

Trata-se de segmento pré-fabricado para um túnel de concreto reforçado, que compreende uma estrutura arqueada com um reforço e um aglomerado de cimento que é projetado para cobrir estruturalmente segmentos de túnel anulares repetidos para módulos que correspondem a uma fração do corte transversal dos mesmos, sendo que a estrutura arqueada compreende respectivas faces radiais opostas que se encontram em planos que são separados angularmente entre si e passam através de um eixo geométrico longitudinal do túnel e em superfícies perpendiculares ao eixo, sendo separadas ao longo do dito eixo, respectivas faces longitudinais opostas se encontram em superfícies que são paralelas ao dito eixo e adaptadas para serem movidas em direção às respectivas faces radiais de segmentos adjacentes, as faces circunferenciais são adaptadas para serem movidas em direção às faces de segmentos adjacentes e uma face longitudinal externa é colocada em contato com o solo do túnel, em que pelo menos um dispositivo de investigação é embutido na estrutura arqueada do segmento pré-fabricado a uma distância predeterminada de pelo menos uma das faces radial, circunferencial ou longitudinal, de modo a detectar parâmetros estruturais predeterminados.