

IMPERMEABILIZAÇÃO DE TÚNEIS COM GEOMEMBRANAS

GEOMEMBRANE WATERPROOFING SYSTEMS IN TUNNELS

Justo, João L, *Sotecnisol SA, Lisboa, Portugal, jj@sotecnisol.pt*

Lopes, M. Graça, *ISEL, Lisboa, Portugal, glopes@dec.isel.ipl.pt*

Brito, Jorge de, *IST, Lisboa, Portugal, jb@civil.ist.utl.pt*

RESUMO

Exigências crescentes de funcionalidade, longevidade e segurança dos túneis levaram a que, na última década, se tenha recorrido cada vez mais em Portugal à sua impermeabilização contínua. Os sistemas de impermeabilização contínua e drenagem associada são normalmente constituídos por geossintéticos, pela sua grande adaptabilidade aos diferentes tipos de suporte, facilidade e rapidez de instalação, e boa relação qualidade / custo. Tendo em consideração a crescente utilização de sistemas de impermeabilização e drenagem associada (SIImDA) de túneis com geossintéticos e simultaneamente a sua escassa divulgação, julgou-se oportuno apresentar neste artigo uma síntese dos diferentes tipos destes sistemas utilizados em túneis portugueses, os requisitos a serem observados na sua concepção e as respectivas metodologias de instalação.

ABSTRACT

Growing demands in terms of functionality, longevity and safety of tunnels lead in the last decade to an increasing use of its continuous waterproofing. Continuous waterproofing and drainage systems are normally made with geosynthetics due to their great adaptability to different types of background, ease and quick application and good quality / cost ratio. Taking in account the growing use of waterproofing and drainage geosynthetics systems in tunnels and also their scarce disclosure, it was thought to be timely to present in this paper a synthesis of the different types of these systems used in Portuguese tunnels, the requisites that need to be complied in their design and their respective application methodologies.

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, só há cerca de uma década é que grande parte das obras subterrâneas é contemplada com sistemas de impermeabilização contínua, normalmente através de geomembranas. Antes, a impermeabilização era conseguida através do betão estrutural e da aplicação de injeções de caldas impermeabilizantes, nos locais onde as infiltrações surgiam, ou através da captação e condução do excesso de água, no caso de aquelas medidas serem insuficientes. Estas soluções, para além de onerosas, nem sempre conseguem atingir a eficácia a longo prazo adequada para garantir a funcionalidade do túnel durante a sua vida útil. Pelo contrário, a utilização de sistemas de impermeabilização contínua e drenagem associada com geossintéticos, para além do custo pouco relevante (da ordem dos 2% do custo total da construção) e facilidade e rapidez de instalação, têm sido determinantes para o aumento da longevidade do túnel em boas condições de funcionalidade e segurança.

Tendo em consideração a crescente utilização de sistemas de impermeabilização e drenagem associada (SImDA) de túneis com geossintéticos e simultaneamente a sua escassa divulgação, julgou-se oportuno apresentar neste artigo uma síntese dos diferentes tipos destes sistemas utilizados em túneis por escavação portugueses, os requisitos a serem observados na sua concepção e as respectivas metodologias de instalação.

2. OS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO E DRENAGEM EM TÚNEIS

2.1 Constituição dos sistemas de impermeabilização e drenagem associada (SImDA)

A constituição dos SImDA depende do grau de impermeabilização exigido para a utilização do túnel e, portanto, também da qualidade, tipo e quantidade da água do solo na zona de implantação do túnel, factores que condicionam por sua vez o processo construtivo a adoptar, ou seja, o tipo e meios de escavação e o tipo de sustimento inicial.

O grau de impermeabilização de um túnel depende do tipo de uso a que se destina: por exemplo, os túneis de vias-férreas não têm de ser completamente estanques, podendo permitir-se pequenas infiltrações desde que não causem danos graves no revestimento ou no sistema eléctrico, para não afectar a circulação dos comboios. As exigências de impermeabilização aumentam para os túneis rodoviários e ainda mais para alguns túneis hidráulicos, que têm de ser completamente impermeabilizados para evitar a fuga da água transportada.

O conhecimento da composição química da água e do solo é indispensável para a selecção dos materiais constituintes dos SImDA, já que certas substâncias dissolvidas em ambos podem danificar esses materiais bem como à própria camada de forma ou de regularização.

Os requisitos dos SImDA são diferentes consoante o túnel é implantado acima ou na zona capilar ou na zona de saturação. Acima da zona capilar, os SImDA não ficam sujeitos à pressão hidrostática. Além disso, não têm de proteger todo o túnel uma vez que os seus sistemas de drenagem internos ou externos permitem o escoamento das águas por gravidade ou por acção de equipamentos dimensionados para o efeito. Na zona capilar, os SImDA continuam a não ficar sujeitos à pressão hidrostática mas já devem envolver todo o túnel de modo a evitar que a humidade chegue ao seu interior. A introdução de materiais drenantes bem adaptados às obras localizadas acima e na zona capilar contribui, de forma significativa, para um funcionamento menos exigente dos sistemas de impermeabilização. Na zona de saturação, os SImDA devem ser constituídos por materiais que resistam às pressões hidrostáticas a que vão ficar sujeitos depois da obra entrar em funcionamento. Naturalmente que deverão envolver toda a obra e permitir soluções de remate que controlem ou evitem a chegada de água ao túnel e, em particular, aos locais onde tal não é admissível.

A quantidade de água afluyente é também ela determinante na selecção dos métodos de escavação pois condiciona sobremaneira as tarefas a realizar. Além disso, poderá condicionar as espessuras das geomembranas dos SImDA em função do grau de estanqueidade requerido para a obra. Assim, é de extrema importância prever os caudais esperados e preconizar medidas de controlo dos mesmos para possibilitar a correcta execução dos trabalhos de impermeabilização.

Conforme já referido, a constituição dos SImDA de túneis varia também consoante o tipo e meios de escavação e o tipo de sustimento inicial. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 1 a constituição esquemática do sistema de impermeabilização e drenagem de túneis efectuados a céu aberto (a) e em escavação (b).

Como exemplificado, os sistemas de impermeabilização e drenagem são constituídos essencialmente por elementos de drenagem, impermeabilização e protecção.

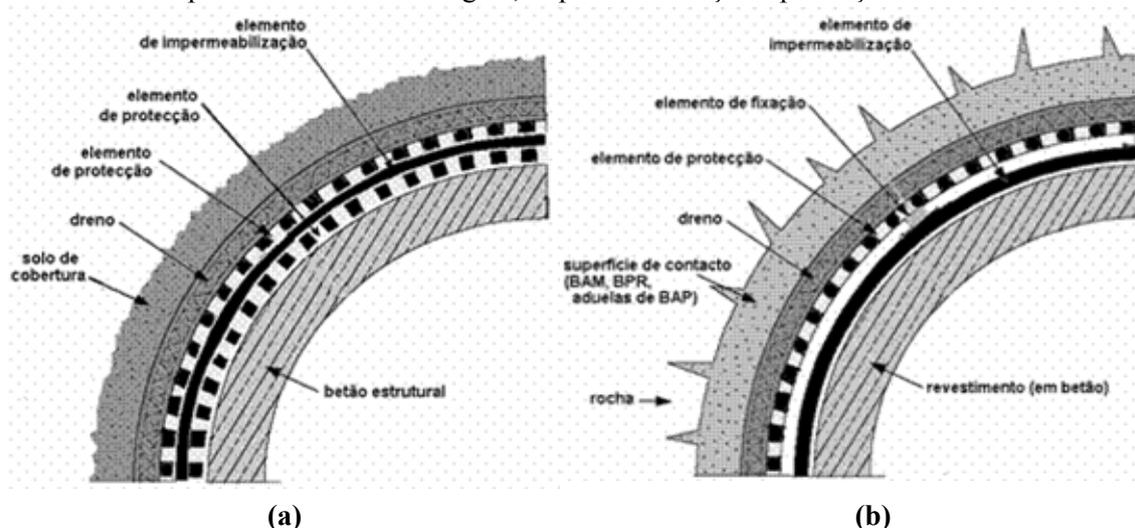


Figura 1 - Constituição esquemática do SImDA de túneis efectuados a céu aberto (a) e em escavação (b) (adaptado de [1])

Os elementos drenantes no tecto e paredes (hasteais) do túnel são normalmente constituídos por geotêxteis ou geocompósitos drenantes (Figura 2) e têm por função assegurar a longo prazo a evacuação da água de infiltração daquelas zonas do túnel até aos drenos longitudinais, evitando-se assim que a geomembrana fique sujeita a uma pressão hidrostática.

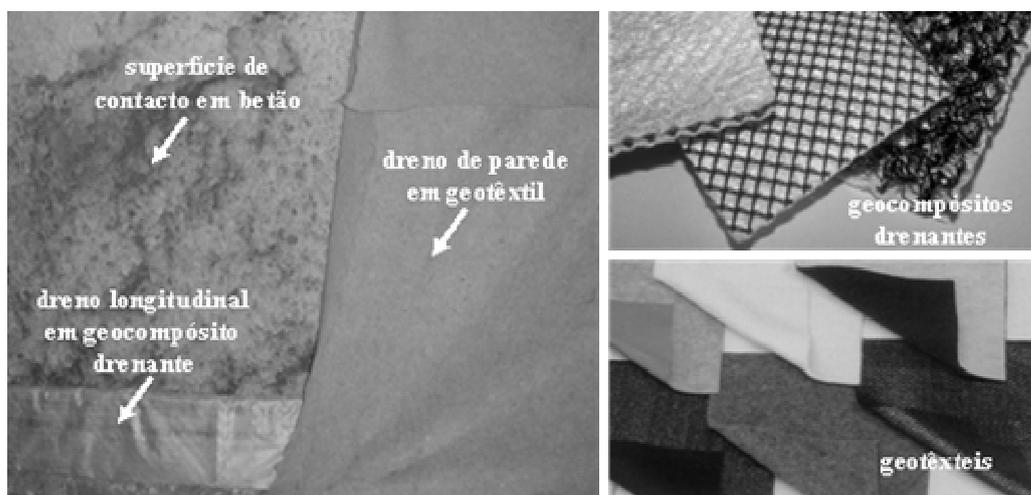


Figura 2 - Elementos de drenagem na parede de túneis (adaptado de [2])

A impermeabilização é normalmente assegurada por geomembranas, evitando-se a penetração das águas de infiltração, causa de danos no revestimento definitivo (pelo efeito do gelo e degelo ou lixiviação) e nos pavimentos (rasante) pelo efeito do gelo e degelo. As geomembranas podem dividir-se em dois grandes grupos, as betuminosas poliméricas e as sintéticas. As primeiras são usadas exclusivamente em túneis efectuados a céu aberto (desde que as superfícies sejam planas e sem rugosidades), enquanto que as segundas são preferencialmente utilizadas em túneis efectuados por escavação. As geomembranas sintéticas de utilização mais frequentes são as de PVC (Figura 3).

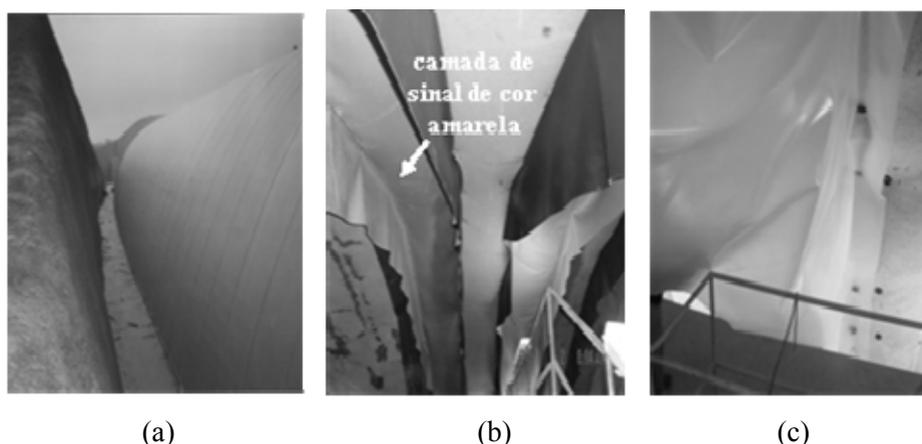


Figura 3 - Elementos de impermeabilização de túneis com geomembranas PVC: (a) geomembrana opaca simples, (b) geomembrana opaca com camada de sinal e (c) geomembrana translúcida [2]

Os elementos de protecção são normalmente constituídos por geotêxteis que muitas vezes têm também a função drenante. O geotêxtil de protecção pode ser colocado sobre a superfície de contacto do suporte, antes da colocação da geomembrana, para evitar que esta seja perfurada por arestas ou pontos salientes (Figura 4 a) remanescentes naquela superfície. O geotêxtil pode também ser colocado após a colocação da geomembrana para evitar a sua perfuração no decorrer de algumas operações subsequentes (instalação de camadas de protecção, armaduras (Figura 4b) e execução de eventuais aterros).

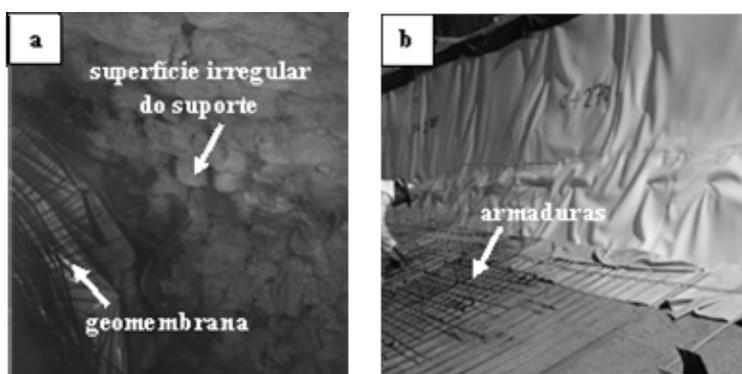


Figura 4 - Elementos passíveis de punçar a geomembrana [2]

Os materiais constituintes dos SIMDA devem conseguir resistir às solicitações mecânicas provocadas pela estrutura de apoio do SIMDA, às deformações impostas pela estrutura de apoio, à agressividade das águas de infiltração e ao contacto com materiais do suporte e revestimento, a variações da pressão da água, a variações de temperatura e a microrganismos.

Os geossintéticos usados nos SIMDA são normalmente complementados com outros elementos, que ajudam a melhorar o seu funcionamento e a minimizar danos, tanto na fase de instalação como de serviço. Entre eles, referem-se as juntas de compartimentação (para confinar o campo de influência de eventuais danos ou patologias e, conseqüentemente, a sua reparação), as juntas de remate, os tubos de injeção (para injeção de caldas ou resinas de impermeabilização), as peças de suspensão e ancoragem de armaduras, entre outros (Figura 5).

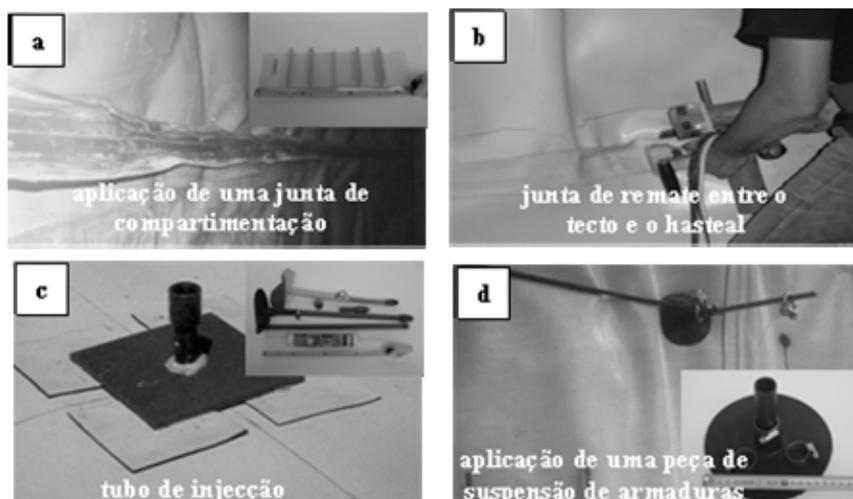


Figura 5 - Materiais complementares (adaptado de [2])

2.2 Tipos de SImDA

Como já referido, a constituição dos SImDA de túneis varia não só com o tipo e meios de escavação mas também com o tipo de sustimento inicial. No Quadro 1, são apresentados em síntese os tipos de SImDA, em função dos factores atrás referidos, para túneis em escavação.

O SImDA tipo T-I (Figura 6) é recomendado para os hasteais e abóbada de túneis executados em escavação total por TBM ou roçadora, sempre que a obra está implantada acima do nível freático. Os materiais que compõem este tipo de sistema são diferentes consoante a obra se encontra implantada na zona gravitacional ou na zona capilar. Caso a obra se encontre na zona capilar, podem ainda ser necessários cuidados específicos nos remates dos vários elementos do sistema com as redes de drenagem do túnel.

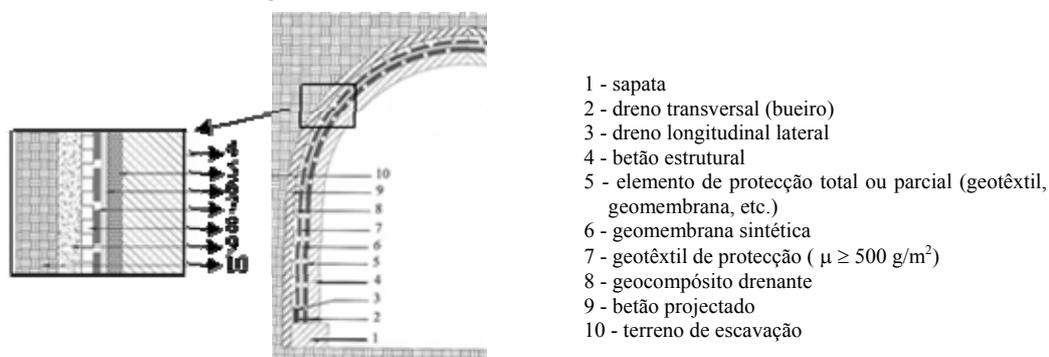


Figura 6 - Constituição esquemática do SImDA tipo T-I (adaptado de [2])

O SImDA tipo T-II (Figura 7) é recomendado em soleiras de túneis executados em escavação total por TBM ou roçadora. Este sistema complementa o sistema tipo T-I e a sua utilização restringe-se a túneis implantados abaixo do nível freático ou acima deste, na zona capilar, por exemplo, quando há a possibilidade de formação de gelo no pavimento. A geomembrana a utilizar na soleira tem de ser compatível com a geomembrana empregue nos hasteais/abóbada, para que se possa efectuar uma soldadura adequada entre ambas. Contudo, a espessura da geomembrana a utilizar na soleira é habitualmente superior à da geomembrana dos hasteais, para melhor suportar as agressões mecânicas a que pode ficar sujeita, durante a sua instalação e no decurso da execução dos trabalhos subsequentes. São recomendáveis espessuras nunca inferiores a 2 mm.

- 1 - terreno de escavação
- 2 - betão projectado
- 3 - drenos para recolha de águas na fase de execução
- 4 - geocompósito drenante e/ou geotêxtil
- 5 - geomembrana de impermeabilização
- 6 - juntas de compartimentação
- 7 - dispositivos de inspecção/injecção
- 8 - elemento de protecção
- 9 - drenos de águas de pavimento
- 10 - betão estrutural de revestimento da soleira

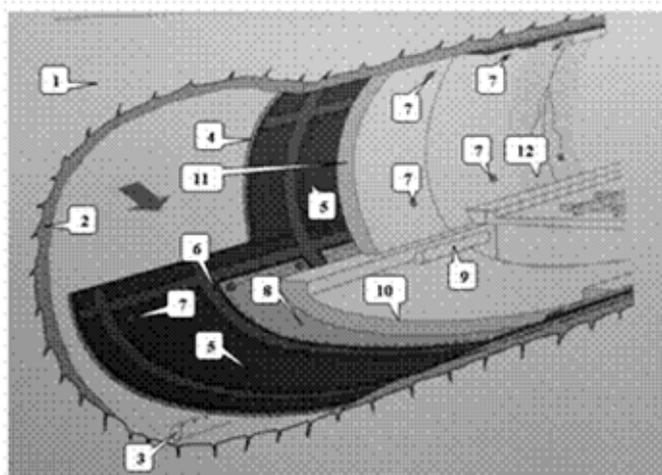


Figura 7 - Constituição esquemática do SimDA tipo T-II (adaptado de [2])

Quadro 1 - Tipos de SimDA em função do processo construtivo (adaptado de [2])

Obra	Processo construtivo				Sistema de impermeabilização e drenagem associada (SimDA)			
	Tipo de escavação	Meios de escavação	Método de escavação e suporte	Elementos do suporte inicial	Localização	Superfície de contacto	Tipo	
Túneis	Total	Única por TBM	Tradicional ou NATM	PRG + BPS	Abóbada e hasteais	BPR	T-I	
				BPS ou BAM	Soleira	BAM + AR	T-II	
				Aduelas de BAP	Toda a envolvente	Aduelas de BAP	T-III	
				PRG	-	Rocha	---	
		Faseada por explosivos	NATM		PRG + BPS	Abóbada e hasteais	BPR	T-IV
					BPS ou BAM	Soleira	BPR	T-V
					PRG + BPS	Abóbada e hasteais	BPR	T-I
					BPS ou BAM	Soleira	BPR	T-II
		Faseada por roçadora	NATM		CAM + BPS	Abóbada e hasteais	BPR	T-IV
					BPS ou BAM	Soleira	BPR	T-V
		Faseada por meios vários	NATM		PRG + BPS	Abóbada	BPR	T-IV
					CAM + BPS	Hasteais	BPR	T-IV
PRG + BPS	Soleira				BPR	T-V		
Parcial	Faseada por explosivos	NATM	CAM + BPS	Hasteais	BPR	T-IV		
			PRG + BPS	Soleira	BPR	T-V		
			CAM + BPS	Soleira	BPR	T-V		

Legenda:

AR - Argamassa de regularização sobre eventual camada de forma
 BAP - Betão armado prefabricado
 BAM - Betão armado moldado
 BPR - Betão projectado de regularização (com ou sem armadura)
 BPS - Betão projectado de sustimento (com ou sem armadura)

CAM - Cambotas
 NATM - *New Austrian Tunneling Method*
 PRG - Pregagens
 TBM - *tunnel boring machine* (um dos tipos de escavação usando meios mecânicos)

O sistema tipo T-III é uma conjugação dos tipos T-I e T-II.

O sistema tipo T-IV é em tudo idêntico ao tipo T-I, sendo apenas superiores as massas surfácicas dos geotêxteis e/ou as espessuras das geomembranas, devido à maior quantidade de água a drenar e/ou à menor regularidade e maiores asperezas das superfícies de contacto com o SImDA. Este tipo de sistema é recomendado para os hasteais e abóbada de túneis executados em escavação total ou parcial: faseada por explosivos ou faseada por meios vários, sempre que a obra esteja implantada acima do nível freático e de preferência na zona gravitacional.

O sistema tipo T-V é em tudo idêntico ao sistema tipo T-II, sendo apenas superiores as massas surfácicas dos geotêxteis e/ou as espessuras das geomembranas, pelas razões apontadas no parágrafo anterior. Este SImDA é recomendado para soleiras de túneis executados em escavação total ou parcial: faseada por explosivos ou faseada por meios vários. Complementa o sistema tipo T-IV e a sua utilização restringe-se a túneis implantados abaixo do nível freático ou acima deste, na zona capilar, por exemplo, quando ocorra a possibilidade de formação de gelo nos pavimentos.

2.3 Metodologias de instalação dos SImDA

A metodologia de instalação dos SImDA em túneis depende do próprio sistema e do processo construtivo. No Quadro 2, indicam-se as diferentes metodologias de instalação (M-I e M-II) em função do processo construtivo e a sua correlação directa com o SImDA para túneis em escavação. Existem vários tipos destes sistemas cuja metodologia de instalação é a mesma. Todavia, um determinado tipo de sistema só tem uma metodologia de instalação.

Na metodologia M-I, a situação mais comum é a realização simultânea dos hasteais e soleira e a sequência das operações é a seguinte:

- (a)** desobstrução da soleira para criar caminho livre para a instalação da plataforma de trabalho;
- (b)** execução do caminho, em betão ou solo compactado;
- (c)** montagem da plataforma de trabalho, com ou sem carris devidamente apoiados e posicionados para instalação do SImDA;
- (d)** remoção de eventuais armaduras, redes electrossoldadas ou outros materiais que ainda se encontrem na superfície de contacto e impeçam a instalação do SImDA;
- (e)** marcação das cotas a partir das quais deve ser instalado aquele sistema;
- (f)** posicionamento dos drenos longitudinais (laterais) nas cotas e inclinação recomendadas em projecto;
- (g)** colocação de geotêxtil ou geocompósito drenante, nos locais previstos para a drenagem, ou onde se verifique ser necessário aumentar a capacidade de drenagem; a sobreposição entre os painéis destes materiais deve ser a que se entenda necessária para garantir o seu correcto funcionamento e evitar derrames que possam prejudicar a instalação dos outros elementos (materiais) do SImDA;
- (h)** instalação do geotêxtil de protecção e drenagem sujeitando-o, por meio de pregos de disparo providos de anilha larga ou estreita, aos contornos da superfície de contacto com o SImDA; a quantidade de fixações é a necessária para se obter um correcto posicionamento dos painéis de geotêxtil, de forma a que estes não fiquem em tensão ao ajustar-se à superfície de contacto do SImDA; esta fixação é reforçada posteriormente aquando da instalação das arandelas, presilhas ou tiras, do mesmo material da geomembrana, para suspensão da própria geomembrana; a largura da zona de sobreposição entre painéis de geotêxtil varia entre 8 a 20 cm em função das irregularidades da superfície de contacto, com o SImDA; não é necessária a união por termofusão ou costura entre os vários painéis de geotêxtil, dever-se-á ter cuidados especiais com os remates, drenos longitudinais, com eventuais esperas de continuidade e com elementos salientes, nomeadamente cabeças de pregagens, ancoragens, etc.;

(i) inicia-se então a fixação das arandelas, presilhas ou tiras de geomembrana, ao sistema primário por meio de pregos de disparo e anilha; a quantidade e posicionamento destas fixações varia entre o tecto e os hasteais e de zona para zona, em função da geometria do perímetro da obra e das irregularidades da superfície de contacto com o SImDA, admitindo-se que cerca de duas a três por metro quadrado, em média, são suficientes; o número pode ainda variar em função da espessura da própria geomembrana;

(j) seguidamente, e mediante a utilização de aparelhos manuais de ar quente, procede-se à termosoldadura da geomembrana às fixações, procurando que fique com folga suficiente para evitar tensões excessivas no momento da betonagem;

Quadro 2 – Metodologias de instalação de SImDA em função do processo construtivo (adaptado de [2])

Obra	Processo construtivo				Sistema de impermeabilização e drenagem associada (SImDA)			
	Tipo de escavação	Meios de escavação	Método de escavação e suporte	Elementos do suporte inicial	Localização	Superfície de contacto	Tipo	Metodologia
Túneis	Total	Única por TBM	Tradicional ou NATM	PRG + BPS	Abóbada e hasteais	BPR	T-I	M-I
				BPS ou BAM	Soleira	BAM + AR	T-II	M-II
				Aduelas de BAP	Toda a envolvente	Aduelas de BAP	T-III	M-I
				PRG	-	Rocha	---	---
		Faseada por explosivos	NATM	PRG + BPS	Abóbada e hasteais	BPR	T-IV	M-I
				BPS ou BAM	Soleira	BPR	T-V	M-II
				PRG + BPS	Abóbada e hasteais	BPR	T-I	M-I
				BPS ou BAM	Soleira	BPR	T-II	M-II
				CAM + BPS	Abóbada e hasteais	BPR	T-IV	M-I
				BPS ou BAM	Soleira	BPR	T-V	M-II
		Faseada por meios vários	NATM	PRG + BPS	Abóbada	BPR	T-IV	M-I
				CAM + BPS PRG + BPS	Hasteais	BPR	T-IV	M-I
	CAM + BPS			Soleira	BPR	T-V	M-II	
	Parcial	Faseada por explosivos	NATM	PRG + BPS	Abóbada	BPR	T-IV	M-I
		Faseada por roçadora		CAM + BPS PRG + BPS	Hasteais	BPR	T-IV	M-I
Faseada por meios vários		CAM + BPS		Soleira	BPR	T-V	M-II	

Legenda:

AR - Argamassa de regularização sobre eventual camada de forma
 BAP - Betão armado prefabricado
 BAM - Betão armado moldado
 BPR - Betão projectado de regularização (com ou sem armadura)
 BPS - Betão projectado de sustimento (com ou sem armadura)
 CAM - Cambotas
 NATM - *New Austrian Tunneling Method*
 PRG - Pregagens
 TBM - *tunnel boring machine* (um dos tipos de escavação usando meios mecânicos)

(k) depois de aplicado o primeiro painel de geomembrana, é colocado o segundo, procedendo-se de igual modo e garantindo uma sobreposição da ordem dos 10 a 15 cm, para assegurar a execução da dupla soldadura em perfeitas condições, face às pequenas irregularidades e ao espaço ocupado pela máquina automática de dupla soldadura;

(l) termosoldados os dois painéis às fixações, executa-se a dupla soldadura entre os painéis; algumas vezes, para executar a soldadura, faz-se em primeiro lugar uma prévia e frágil termosoldadura por pontos, entre os painéis, para conseguir um correcto posicionamento de ambos; só depois terá início a dupla soldadura entre os painéis da geomembrana, a temperatura controlada (cerca de 400 °C para as geomembranas de PVC-P), com recurso às máquinas automáticas de dupla soldadura a jacto de ar quente ou cunha quente; à medida que a máquina

de dupla soldadura avança, o operador vai anulando a termossoldadura por pontos; esta ligação prévia pode ser evitada em zonas regulares ou sempre que a equipa que efectua a dupla soldadura seja constituída por mais de um elemento; em zonas particulares de remate e detalhe, onde não é tecnicamente possível efectuar dupla soldadura, é utilizada uma soldadura simples (em banda) com uma largura entre 2 e 4 cm; os remates que inspirem maiores preocupações são reforçados com geomembrana do mesmo tipo;

(m) muitas vezes o SImDA avança significativamente em relação aos trabalhos subsequentes; este desfasamento, que pode atingir várias semanas e até meses, é perigoso, especialmente em zonas de muita água, pelo que é aconselhável a implementação de “juntas fusível, ou seja, deixar por efectuar uma soldadura, entre os painéis de geomembrana, de 20 em 20 m, por exemplo; a ligação nos pontos referidos só é executada consoante as necessidades dos trabalhos de revestimento definitivo ou da colocação de armadura; com este procedimento, tenta-se limitar os estragos provocados por eventuais abatimentos do SImDA;

(n) execução dos ensaios de controlo de qualidade das termossoldaduras, especificados no plano de controlo da qualidade aprovado para a obra;

(o) execução dos remates do SImDA, de acordo com as necessidades específicas de cada obra (por exemplo, entre o dreno transversal do hasteal e o dreno longitudinal);

(p) termossoldadura simples das juntas de remate / compartimentação, se existirem (Figura 5 a);

(q) instalação dos elementos de protecção (geotêxtil, geomembrana, etc.) sobre a geomembrana de impermeabilização, se tal for preconizado no projecto; o facto de existir esta protecção pode justificar o aumento da densidade das fixações, de sustentação da geomembrana;

(r) protecção pontual, quando não haja lugar na sua totalidade, com elementos de protecção (geotêxtil, geomembrana, etc.), aplicados nas juntas de betonagem em função dos painéis cofrantes, se for este o sistema de protecção escolhido;

(s) colocação de peças de suspensão das armaduras, se existirem, e respectivos remates (Figura 5 d);

(t) colocação das peças de remate dos tubos de inspecção / injeção e de outras peças de remate, se existirem;

(u) execução das termossoldaduras das “juntas fusível”, que ficaram por realizar (por razões de segurança), imediatamente antes de se iniciar a instalação das armaduras;

(v) inspecção das superfícies de acordo com o plano de controlo da qualidade da obra;

(x) instalação de armaduras com todos os cuidados para não danificar o SImDA, nomeadamente fazendo a dobragem das suas extremidades;

(y) cofragem geral e colocação dos tubos de inspecção / injeção e drenagem; do ponto de vista prático e técnico, e sempre que possível, os tubos deverão ser aplicados por troços com uniões estanques;

(z) execução do revestimento definitivo.

Na metodologia M-II, a situação mais comum é a execução da soleira e posteriormente dos hasteais e abóbada e a sequência das operações é a seguinte:

(a) desobstrução da soleira de todo e qualquer material e equipamento;

(b) remoção de eventuais armaduras, redes electrossoldadas ou outros materiais que, pela natureza da obra, ainda se encontrem na superfície de contacto e impeçam a correcta instalação do SImDA;

(c) marcação das cotas até onde deve ser instalado o SImDA;

(d) posicionamento de eventuais drenos longitudinais (de fundo) nas cotas e inclinação recomendadas em projecto;

(e) as actividades (e) a (l) são semelhantes às actividades (g) a (l), respectivamente, da metodologia M-I;

(m) os elementos do SImDA existentes na soleira que devam continuar para os hasteais e abóbada devem ficar com esperas de continuidade suficientes para permitir a respectiva ligação;

nestas circunstâncias, não são admissíveis avanços significativos do SImDA, por poder ser, entretanto, destruído por acções mecânicas;

(n) as actividades (n) a (q) são semelhantes às actividades (n) a (q), respectivamente, da metodologia M-I;

(r) protecção pontual, quando não haja lugar na sua totalidade, com elementos de protecção (geotêxtil, geomembrana, etc.), aplicados nas juntas de betonagem entre os vários painéis cofrantes e entre estes e os hasteais, se for este o sistema de protecção escolhido; protecção geral entre a protecção pontual atrás referida, com elemento separador (geotêxtil), quando não haja lugar a protecção geral com geomembrana de protecção;

(s) colocação de peças de ancoragem das armaduras e de cofragem e respectivos remates, se existirem;

(t) colocação das peças de remate dos tubos de inspecção / injeção e de outras peças de remate, se existirem;

(u) inspecção das superfícies de acordo com o plano de controlo da qualidade da obra;

(v) instalação de eventuais elementos complementares de protecção e/ou controlo de infiltração;

(w) instalação de uma camada de micro-betão de granulometria e compacidade estudadas para o efeito; deve ter uma espessura suficiente para proteger o SImDA, antes da instalação do betão estrutural; por isso, deverá ser armado com fibras sintéticas, evitando-se as redes electrossoldadas sempre que possível;

(x) as actividades (x) e (y) são semelhantes às actividades (x) a (y), respectivamente, da metodologia M-I;

(z) betonagem e descofragem;

A execução do SImDA, na abóbada e hasteais é posteriormente executada em conformidade com a metodologia M-I, tendo o cuidado de estabelecer uma adequada continuidade com o sistema da soleira.

3. CONCLUSÕES

Neste artigo, pretendeu-se mostrar a importância de utilizar a impermeabilização contínua em túneis e de que forma a constituição desses sistemas de impermeabilização e drenagem associada (SImDA) de túneis é dependente do processo construtivo (tipo de escavação, meios de escavação, tipo de sustimento e material empregue no sustimento) e grau de impermeabilização pretendido para o túnel. Foram apresentados em síntese os diversos tipos de SImDA, em função dos factores atrás referidos, para túneis em escavação, bem como as respectivas metodologias de aplicação.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Brummermann, K.; Schlütter, A. - “New German recommendations for geomembrane sealing systems in tunnel construction”, 3rd European Geosynthetics Conference, Munique, Alemanha, 01 a 03 de Março 2004, pp. 211-214.

[2] Justo, J. - “Obras subterrâneas: impermeabilização e drenagem associada”, Dissertação de Mestrado em Construção, IST (2004), 331 pp.

[3] Justo, J.; Lopes, M. G.; Brito, J. - “Instalação do sistema de impermeabilização e drenagem com geossintéticos em túneis em escavação”, 1^o Seminário Português sobre geossintéticos, Porto, 23 e 24 de Outubro 2005, 331 pp. 223 a 233.