

# Avaliação de Recomendações Normativas sobre o Uso de Ensaio no Controle de Qualidade de Fabricação de Geossintéticos

**Carina M. L. Costa**

*Departamento de Construção Civil, CEFET/RN*

**Paulo C. Lodi**

*Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP*

**Yuri D. J. Costa**

*Departamento de Tecnologia Rural, UFRPE*

**Benedito S. Bueno**

*Escola de Engenharia de São Carlos, USP*

**Resumo:** A utilização de materiais poliméricos designados por geossintéticos tem aumentando significativamente nos últimos anos na Engenharia Civil. Para desempenhar adequadamente a função para a qual foram projetados, os geossintéticos devem ser submetidos a um rigoroso processo de controle de qualidade durante a fabricação. Discussões sobre a frequência e os principais tipos de ensaios de laboratório utilizados nesse processo de controle para dois tipos de geossintéticos, os geotêxteis e as geomembranas, os materiais mais utilizados da família dos geossintéticos, são abordados no presente trabalho. As análises efetuadas com base em normas disponíveis no Brasil, nos EUA e na Europa mostram que no cenário nacional não há recomendações normativas sobre o controle de qualidade para a maioria das aplicações de geotêxteis e geomembranas, sendo o assunto pouco discutido na literatura técnica. No cenário internacional, as normas Européias se destacam como o conjunto de práticas mais completo para ensaios de controle de qualidade de fabricação, considerando os diversos tipos de aplicação dos geossintéticos na Engenharia Civil.

**Palavras-chave:** *Geossintético, geotêxtil, geomembrana, ensaios, controle de qualidade.*

## Evaluation of Standard Recommendations on the Use of Tests for Manufacturing Quality Control of Geosynthetics

**Abstract:** The use of polymeric materials known as geosynthetics in Civil Engineering applications has increased significantly in the last few years. In order to perform adequately, geosynthetics need to be manufactured according to rigorous quality control procedures. This paper addresses the frequency and the main types of laboratory tests used for quality control of geotextiles and geomembranes, which are the most largely used materials within the geosynthetic family. Analyses based on technical standards from Brazil, USA and Europe show the need of quality control recommendations for a large number of applications of geotextiles and geomembranes in Brazil. Also, very limited information on this topic is available in Brazilian literature. Conversely, European standards on the subject take into consideration a very comprehensive number of types of geosynthetics and their applications in Civil Engineering, and represent today the most complete set of recommendations for manufacturing quality control of those products.

**Keywords:** *Geosynthetic, geotextile, geomembrane, testing, quality control.*

## Introdução

Os geossintéticos podem ser definidos como produtos poliméricos, sintéticos ou naturais, industrializados e desenvolvidos para aplicação em obras de Engenharia Civil. O termo geossintético é uma denominação genérica que agrupa uma grande família de produtos poliméricos, dentre os quais estão os geotêxteis, as geomembranas, as geogrelhas, as geomantas e as georredes. Cada tipo de

geossintético possui diferentes processos de fabricação, características e funções.

Apesar de terem sido introduzidos no Brasil na década de 1970, somente duas décadas mais tarde passaram a ser utilizados de forma mais significativa no país. Atualmente, o emprego desses materiais tem sido cada vez mais freqüente, graças às diversas vantagens que oferecem. Entre os aspectos que favorecem a crescente utilização de geossintéticos

em obras como estradas, barragens, túneis, estruturas de contenção, dentre outras, está a versatilidade, o fácil emprego, o excelente desempenho e, freqüentemente, o baixo custo em comparação com soluções convencionais.

No entanto, semelhantemente a outros materiais manufaturados, os geossintéticos devem ser submetidos a um rigoroso processo de controle de qualidade durante a fabricação (CQF), a fim de atender a todas as especificações técnicas necessárias ao adequado desempenho de uma determinada obra.

Nos dias atuais, pode-se considerar que o CQF representa praticamente uma exigência técnica inexorável, dada a velocidade com que novas empresas especializadas em produtos geossintéticos surgem no mercado, aumentando assim a concorrência. Aquelas empresas que optarem por um controle mais rígido de seus produtos, com a certificação de um órgão técnico, certamente terão maior aceitação no mercado.

Contudo, o principal papel do CQF é contribuir para o desempenho adequado do geossintético na obra, o que é feito conjuntamente com o controle de qualidade de instalação (CQI). Problemas relacionados à falta de qualidade do material empregado na obra podem arruinar projetos bem concebidos e a credibilidade do próprio material.

Apesar do acentuado crescimento de emprego de geossintéticos no Brasil nos últimos anos, determinados produtos manufaturados no país necessitam de um maior CQF. Por exemplo, Bueno et al.<sup>[1]</sup> analisaram, através de ensaios de laboratório, geotêxteis não tecidos produzidos ao longo de 10 anos por diferentes fabricantes e observaram que uma quantidade muito grande de produtos, cerca de 60%, não poderia ser empregada em obras rodoviárias. Na ausência de especificações nacionais, os resultados foram comparados à especificação M 288<sup>[2]</sup> da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), órgão que regulamenta as características mecânicas de geotêxteis exigidas para aplicações rodoviárias nos EUA. Muitos produtos apresentaram desempenho mecânico tão baixo que não foi possível sequer classificá-los na classe da ME 288 que reúne os materiais de piores qualidades mecânicas.

O CQF de geossintéticos deve sempre incorporar a execução de ensaios de laboratório específicos. Atualmente, uma grande diversidade de ensaios encontra-se disponível para identificar as propriedades de interesse dos geossintéticos, porém, no Brasil, ainda não há padrões bem definidos sobre recomendações e especificações de ensaios de CQF para todos os tipos de geossintéticos. Questões sobre o que é necessário controlar e a freqüência do controle ainda permanecem em aberto<sup>[3]</sup>. A única norma sobre o assunto publicada pela ABNT é a NBR 15352<sup>[4]</sup>, destinada às geomembranas.

Enquanto a ABNT elabora seu próprio acervo, as normas internacionais disponíveis sobre o assunto deveriam ser consideradas como referência para a prática dos ensaios de CQF no Brasil. Entretanto, a maioria das normas é relativamente recente, e muitas recomendações ainda permanecem desconhecidas no país.

Este trabalho apresenta discussões sobre os principais tipos de ensaios de laboratório utilizados para controle de qualidade de fabricação de geotêxteis e geomembranas, com base em normas técnicas da Europa, dos EUA e do Brasil. O enfoque a esses dois tipos de geossintéticos justifica-se pelo fato de constituírem os materiais mais empregados dentro de sua classe: os geotêxteis, por sua versatilidade, e as geomembranas, pela crescente utilização e importância em obras ambientais.

## Aplicações e Ensaios de Geotêxteis e Geomembranas

Geotêxteis são produtos têxteis permeáveis constituídos por fibras oriundas da fusão de polímeros. Os principais tipos de polímeros utilizados na fabricação de geotêxteis são a poliamida (PA), o polietileno (PE), o poliéster (PET) e o polipropileno (PP).

Apesar da grande diversidade de geotêxteis, é possível identificar duas classes principais: a dos geotêxteis tecidos e a dos geotêxteis não tecidos. Os geotêxteis tecidos são materiais obtidos através do entrelaçamento de fios, monofilamentos ou de outros componentes, segundo direções preferenciais, denominadas trama (sentido transversal) e urdume (sentido longitudinal). Os geotêxteis não tecidos, por outro lado, são compostos por fibras cortadas ou filamentos contínuos distribuídos aleatoriamente e interligados por processos mecânicos, térmicos ou químicos.

Os geotêxteis são empregados em diversas obras de Engenharia Civil, como estradas, vias de acesso, pátios, ferrovias, canais, barragens, diques, estabilização de encostas, entre outras. São usados dentro do solo ou em contato com outros materiais na obra. As funções freqüentemente associadas aos geotêxteis são: a) drenagem (coleta e conduz um fluido ao longo do seu plano), b) filtração (retém partículas do solo, possibilitando a passagem de um fluido), c) separação (impede a mistura de materiais de naturezas diferentes), d) proteção (previne danos a outros elementos da obra) e e) reforço (quando inserido em uma massa de solo, proporciona a melhoria do comportamento mecânico do solo). A Figura 1



Figura 1. Dreno ao longo de uma ferrovia utilizando geotêxtil como elemento filtrante<sup>[5]</sup>.

mostra o emprego de geotêxtil como filtro em um sistema de drenagem de uma ferrovia<sup>[5]</sup>.

De uma forma geral, os ensaios utilizados para caracterizar os geotêxteis podem ser agrupados em físicos, mecânicos, hidráulicos e de desempenho. Os ensaios físicos são empregados para a identificação do produto e envolvem basicamente a determinação da gramatura (massa por unidade de área) e espessura. Os mecânicos permitem a obtenção de parâmetros relacionados ao comportamento carga-alongamento do material. Por serem bastante empregados no contexto de controle de qualidade, alguns ensaios mecânicos são descritos brevemente a seguir. Alguns dos ensaios descritos encontram-se esquematizados na Figura 2.

**Ensaio de resistência à tração de faixa larga:** neste ensaio, um corpo-de-prova (CP) com dimensões típicas de 200 mm de largura e 100 mm de comprimento é preso a garras que se estendem por toda sua largura e em seguida é tracionado até a ruptura.

**Ensaio de resistência à tração tipo grab:** a diferença deste ensaio para o anterior está nas dimensões do CP (100 mm de largura e 200 mm de comprimento) e nas garras que só prendem uma área central do CP com 25 mm de largura (Figura 2a).

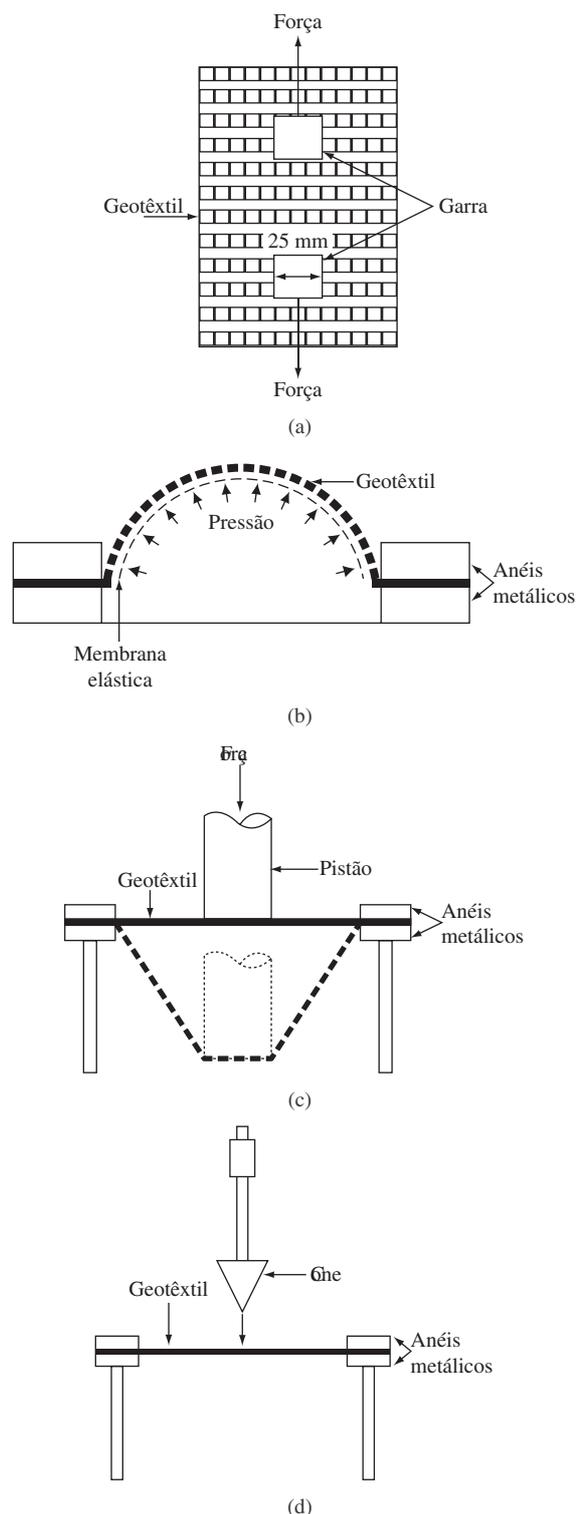
**Ensaio de resistência ao estouro:** um corpo-de-prova circular é preso entre anéis metálicos e em seguida uma pressão interna ao CP é aplicada até que ocorra o estouro do material (Figura 2b).

**Ensaio de punção estático tipo CBR:** um pistão com 50 mm de diâmetro aplica uma força vertical crescente até a ruptura de um CP circular preso entre anéis metálicos (Figura 2c).

**Ensaio de perfuração dinâmica – queda de cone:** um cone com massa e dimensões padronizadas desce em queda livre de uma altura fixa e atinge um CP preso entre anéis metálicos, provocando um furo cujo diâmetro é medido por outro cone padronizado (Figura 2d).

Os ensaios hidráulicos são empregados na determinação de propriedades relevantes para a aplicação de geossintéticos com função de filtração ou drenagem. Como filtro, o geotêxtil deve permitir a passagem de fluido e reter partículas sólidas. Os ensaios mais utilizados para esta aplicação são os destinados à determinação do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ), parâmetro que indica a facilidade de percolação do fluido, e à obtenção da abertura de filtração. Neste último caso, determina-se o diâmetro equivalente da maior partícula que pode atravessar o geotêxtil. Em lugar de se considerar o coeficiente de permeabilidade normal ao plano do geotêxtil ( $k_n$ ), muitas vezes prefere-se trabalhar com a permissividade, que representa a relação entre  $k_n$  e a espessura do geotêxtil.

Para aplicações de drenagem são utilizados ensaios que permitem a determinação do coeficiente de permeabilidade no plano ( $k_p$ ) e da capacidade de fluxo no plano do geotêxtil (vazão no plano por unidade de largura do corpo-de-prova). Pode-se optar ainda pela determinação da transmissividade,



**Figura 2.** a) Ensaio de tração do tipo grab; b) ensaio de resistência ao estouro; c) ensaio de punção estático tipo CBR; e d) ensaio de perfuração dinâmica.

que representa o produto de  $k_p$  pela espessura do geotêxtil, prática comum nos EUA. A Tabela 1 identifica as principais normas relativas aos procedimentos de execução de ensaios físicos, mecânicos e hidráulicos em geotêxteis.

**Tabela 1.** Normas brasileiras, norte-americanas e européias para a execução de ensaios físicos, mecânicos e hidráulicos em geotêxteis.

Ensaio	Métodos de ensaio <sup>(a)</sup>
Gramatura	ABNT NBR12568, ASTM D3776, EN ISO 9864
Espessura	ABNT NBR12569, ASTM D964, EN ISO 9863
Resistência à tração de faixa larga	ABNT NBR12824, ASTM D4595, EN ISO 10319
Resistência tipo “grab”	ASTM D4632
Resistência ao estouro	ASTM D3786
Resistência ao rasgo	ASTM D4533
Puncionamento estático tipo CBR	ABNT NBR13359, ASTM D6241, EN ISO 12236
Perfuração dinâmica – queda de cone	ABNT NBR14971, ISO 13433, EN 918
Permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento, permissividade	ABNT NBR15223, ASTM D4491, EN ISO 11058
Capacidade de fluxo no plano, transmissividade	ABNT NBR15225, ASTM 4716, EN ISO 12958
Abertura de filtração	NBR 15229, ASTM 4751, EN ISO 12956

(a) As referências dos métodos de ensaios citados encontram-se disponíveis em [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br), [www.astm.org](http://www.astm.org) e [www.cen.eu](http://www.cen.eu).

Por fim, ao contrário dos ensaios anteriores, que são realizados com o geotêxtil isolado, os ensaios de desempenho são conduzidos considerando o geotêxtil associado a um ou mais elementos específicos de uma determinada obra, como, por exemplo, o solo a ser utilizado em contato com o material. Maiores detalhes sobre ensaios de geotêxteis podem ser obtidos em Bueno e Vilar<sup>[6]</sup>.

As geomembranas são membranas compostas predominantemente por materiais termoplásticos, elastoméricos e asfálticos, tendo como principal função atuar como barreira para líquidos ou vapores. Se comparadas aos geotêxteis ou aos solos argilosos, apresentam valores de permeabilidade extremamente baixos. Em ensaios de transmissão ao vapor de água, os valores típicos de permeabilidade das geomembranas situam-se na faixa de  $0,5 \times 10^{-10}$  a  $0,5 \times 10^{-13}$  cm/s.

Atualmente, as geomembranas são amplamente empregadas em diversas obras ambientais, como aterros sanitários e industriais, canais, barragens, entre outras. A função da geomembrana é proteger o solo e os aquíferos de contaminações, sendo responsável pela contenção de resíduos ou armazenamento de materiais que podem ser gasosos, líquidos e sólidos. Os gases podem ser resultantes de produtos industriais, de lixo industrial, de aterros sanitários, dentre outras fontes. Os materiais líquidos podem ser água potável, resíduos industriais e domésticos, líquidos de processos químicos, dentre outros. Lixos radioativos, industriais, municipais, hospitalares e de mineração são exemplos de materiais sólidos. A Figura 3a mostra uma geomembrana de PVC e a Figura 3b ilustra o emprego de uma geomembrana em um aterro sanitário.

Diversos polímeros podem ser utilizados para a fabricação de geomembranas. No entanto, por possuírem maior resistência química e por apresentarem maior versatilidade, as geomembranas de polietileno (PE) e de poli(cloreto de vinila) (PVC) são as mais utilizadas. A Tabela 2 ilustra os principais tipos de geomembranas existentes.

Uma enorme diversidade de testes tem sido sugerida por vários autores para a caracterização de geomembranas<sup>[3, 9, 10]</sup>. A Tabela 3 apresenta os ensaios mais comuns, alguns dos



(a)



(b)

**Figura 3.** a) Geomembrana de PVC; e b) aplicação de uma geomembrana em um aterro sanitário.

quais com o objetivo de avaliar também o desempenho de emendas entre geomembranas.

Por serem fabricadas em bobinas com largura limitada, a execução de emendas é frequentemente necessária a fim de atender as dimensões da área a ser impermeabilizada. A união de geomembranas pode ser feita nas obras ou na própria fábrica. As emendas de fábrica possibilitam um maior controle de qualidade e podem reduzir a quantidade de emendas em

**Tabela 2.** Tipos principais de geomembranas em uso (modificado de Koerner<sup>[7]</sup> e Sharma & Lewis<sup>[8]</sup>).

Amplamente utilizadas	Pouco utilizadas	Combinações
Poliétileno de alta densidade (HDPE)	Poliétileno linear de baixa densidade (LLDPE)	PVC – borracha nitrila
Poliétileno clorossulfonado (CSPE)	Liga de interpolímero de etileno reforçado (EIA-R)	PE – EPDM
Poliétileno de densidade muito baixa (VLDPE)	Poliétileno clorado reforçado (CPE-R)	PVC - EVA
Poli (cloreto de vinila) – PVC	Borracha de propileno etileno (EPDM)	CPE com ligação cruzada
Polipropileno flexível (f-PP)		

**Tabela 3.** Ensaios usuais em Geomembranas.

Ensaios de identificação	Métodos de ensaio <sup>(a)</sup>
Espessura	ABNT NBR12569 ASTM D1593, D5199, D3767 e EN 1849-2
Densidade	ASTM D792, D1505, D297 e ISO 1183
Massa por Unidade de Área	ABNT 12568, ASTM D3776 e EN 1849-2
Ensaio de Tração	ABNT NBR12824, ASTM D638, D882, D751 e ISO 527
Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)	ASTM D3417, D3418 e ISO 11357
Análise Termogravimétrica (TGA)	ASTM D6370, E2105 e ISO 11358
Análise Termomecânica (TMA)	ASTM D648 e E831
Índice de Fusão (MFI)	ASTM D1238
Teor de Solventes	ASTM D297
Dureza	ASTM D2240 e ISO868
Extraíveis	ASTM D297, D3421 e ISO 6427
Teor de cinzas	ASTM D297
Tempo de Oxidação (OIT)	ASTM D3895
Teor de Negro de Fumo (PE)	ASTM D1603
Dispersão de Negro de Fumo (PE)	ASTM D5596 e D3015
Ensaios de desempenho	Métodos de ensaio <sup>(a)</sup>
Resistência ao Rasgo	ASTM D1004, D2263, D624 e ISO34
Resistência ao Estouro	ASTM D5617 e prEN 14151
Resistência ao Puncionamento	ASTM D4833, EN ISO 12236, FTMS 101C e ABNT NBR13359
Cisalhamento	ASTM D5321, EN ISO 12957-1 e 12957-2
Fluência	ASTM D5262
Expansão Térmica	ASTM D696
Estabilidade Dimensional	ASTM D1204
Permeabilidade (água)	ASTM E96, EN 14150 e ISO 11058
Permeabilidade (vapor)	ASTM D1434, E96 e ISO 11058
Ensaios de desempenho em emendas	Métodos de ensaio <sup>(a, b)</sup>
Cisalhamento	ASTM D4437, D4545
Descolamento	D6392, GM19, GM14, ISO 13427 e ABNT NBR15352
Ponto de Escoamento Mecânico	
Pressurização das Emendas	
Aplicação de Ar	
Caixa de Vácuo	
Plano de Impedância Ultra-Sônica	
Ressonância Ultra-Sônica	
Ensaios de durabilidade	Métodos de ensaio <sup>(a)</sup>
Abrasão	ASTM D460 e D2228
Exposição à Intempérie	ASTM D1435, EN 12224 e ABNT NBR15352
Envelhecimento Térmico	ASTM D573
Exposição ao Calor (Estufa)	ASTM D794 e D5721
Exposição à Radiação UV	ASTM G153, G154, G155 e ISO 4893
Resistência Química	EPA 9090, EN 14414, ASTM D5747 e D5322
Resistência Biológica	EN 12225, ASTM G22 e G21
Envelhecimento por Ozônio	ASTM D1149
Fissuramento sob Tensão (PE)	ASTM D696, D1693, D5397 e ISO 6252

(a) As referências dos métodos de ensaios citados encontram-se disponíveis em [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br), [www.astm.org](http://www.astm.org) e [www.cen.eu](http://www.cen.eu). (b) Métodos aplicáveis a todos os ensaios de desempenho em emendas citados.

campo. As emendas das geomembranas de PE são feitas em campo e as de PVC, em sua maioria, em fábrica. De uma forma geral, o controle de emendas deve ser efetuado com rigor, haja vista que representam o ponto crítico dos sistemas de impermeabilização.

### Considerações sobre Recomendações Normativas para Ensaios de Controle de Fabricação de Geotêxteis

No processo de produção de geossintéticos ocorre uma variabilidade natural das características dos produtos manufaturados, o que requer medições frequentes, através de ensaios específicos, das propriedades mais relevantes do material produzido.

No Brasil, ainda não há normas sobre a frequência e os tipos de ensaios para CQF de geotêxteis. Na prática, ensaios dessa natureza ficam geralmente limitados à determinação de características físicas e mecânicas do geotêxtil. As características físicas são obtidas com ensaios de gramatura e espessura, enquanto que as características mecânicas são avaliadas através de ensaios de tração do tipo grab, rasgo e, no caso de uso do geotêxtil como reforço, tração de faixa larga. Entretanto, esses testes não são suficientes para avaliar a qualidade dos geotêxteis em todas as suas aplicações. É o caso, por exemplo, de geotêxteis utilizados para filtração e drenagem. Apesar de importantes, os ensaios para a determinação das características físicas e mecânicas nada revelam sobre o desempenho hidráulico do material.

Algumas normas e manuais técnicos nacionais tratam de diversas propriedades relevantes dos geotêxteis de acordo com sua aplicação, porém sem o enfoque do controle de qualidade. É o caso da NBR 15224<sup>[11]</sup> sobre trincheiras drenantes, e dos manuais de pavimentação e de drenagem do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT)<sup>[12,13]</sup>. Por exemplo, para os geotêxteis empregados como filtro, o manual de pavimentação traz especificações sobre a permeabilidade, a abertura de filtração, a resistência à tração de faixa larga, o alongamento e a resistência ao punçonnemento. Isso indica a necessidade de se estabelecer CQF's mais abrangentes no país, incluindo um maior número de tipos de ensaios.

Ao contrário do Brasil, nos EUA já existem algumas normas que tratam de CQF. Entretanto, ainda não há um conjunto de normas que considere as diversas aplicações dos geotêxteis. Ademais, as informações não se encontram agrupadas,

**Tabela 4.** Número de unidades por lote selecionadas para a realização de ensaios para CQF de geotêxteis<sup>[14]</sup>.

Bobinas por lote	Bobinas selecionadas
1 a 2	1
3 a 8	2
9 a 27	3
28 a 64	4
65 a 125	5
126 a 216	6
217 a 343	7
344 a 512	8
513 a 729	9
730 a 1000	10
1001 ou mais	11

de sorte que algumas normas tratam apenas da frequência e outras dos tipos de ensaio.

A norma que trata da frequência de amostragem para ensaios de controle de qualidade de geotêxteis nos EUA é a ASTM D4354<sup>[14]</sup>. Com relação à fabricação, a norma menciona testes para o controle da qualidade do produto e testes para a garantia de qualidade do fabricante. Esses últimos podem ser usados para verificar o programa de controle de qualidade e para emitir atestados de garantia do produto. A Tabela 4 resume a frequência mínima de ensaios recomendada para o CQF. A possibilidade de adoção de uma quantidade maior de ensaios deve ser sempre avaliada com base no histórico do produto e do fabricante e ainda na relação custo-benefício.

A norma D4354 não apresenta os tipos de ensaios que devem ser efetuados para CQF e os critérios de amostragem estipulados servem para geossintéticos de uma forma geral. Normas referentes a tipos de ensaios de CQF para situações específicas de aplicação foram publicadas pelo Instituto de Pesquisas de Geossintéticos dos EUA (*Geosynthetic Research Institute* – GRI). Esse órgão possui grande credibilidade no cenário norte-americano de modo que suas recomendações são utilizadas como referência para a atualização e confecção de normas da ASTM.

Uma das normas do GRI é a GT12<sup>[15]</sup>, que apresenta as especificações necessárias a serem observadas durante o controle de fabricação para aplicação de geotêxteis não tecidos com a função de proteção. A Tabela 5 sumariza as propriedades requeridas e os métodos de ensaio indicados na GT12. A outra norma é a GT13<sup>[16]</sup> e trata de CQF para geotêxteis utilizados com a função de separação em obras de pavimentação. Na GT13, os geotêxteis são agrupados em três classes distintas, a depender da necessidade de sobrevivência, ou

**Tabela 5.** Propriedades requeridas e métodos de ensaio para geotêxteis utilizados como elemento de proteção<sup>[15]</sup>.

Propriedade	Método de ensaio	Unidade							
Gramatura	ASTM D5261	g/m <sup>2</sup>	340	406	542	812	1080	2000	
Resistência à tração tipo grab	ASTM D4632	kN	1,02	1,33	1,64	2,00	2,25	2,80	
Alongamento para tração tipo grab	ASTM D4632	%	50	50	50	50	50	50	
Resistência ao rasgo trapezoidal	ASTM D4533	kN	0,42	0,51	0,64	0,89	0,96	1,27	
Resistência ao punçonnemento (pino)	ASTM D4833	kN	0,53	0,62	0,75	1,11	1,33	1,71	
Resistência UV	ASTM D4355	%	70	70	70	70	70	70	

seja, da necessidade de resistir aos esforços decorrentes da instalação. Os critérios para agrupar os geotêxteis segundo essa classificação são fornecidos na GT13. A Tabela 6 exibe as propriedades requeridas e os métodos de ensaios a serem observados para uma condição de alta necessidade de sobrevivência.

Devido à variabilidade das propriedades do material, o CQF deve sempre incorporar análises estatísticas dos resultados dos ensaios. Nos EUA, a ferramenta estatística adotada para a divulgação das propriedades do material por parte do fabricante tem sido a apresentação de um valor mínimo acompanhado de um determinado nível de confiança. A indústria de geossintéticos norte-americana tem adotado, em geral, um valor mínimo para as características do produto com um nível de confiança correspondente a 97,7%. Esse valor mínimo é designado como MARV (*minimum average roll value*). Cada propriedade que se deseja medir deve ser associada a um determinado MARV. Por exemplo, se a resistência à tração de um determinado produto é divulgada em catálogo como igual a 30 kN/m e esse valor é um MARV, significa que o comprador deve ter 97,7% de confiança que o material adquirido terá no mínimo uma resistência igual a 30 kN/m. Considerando uma distribuição normal, o MARV declarado pelo fabricante é calculado como a média menos duas vezes o desvio padrão obtido nos ensaios de CQF.

Os valores mostrados nas Tabelas 5 e 6 são MARV's, exceto os correspondentes à estabilidade UV, que são valores mínimos, e à abertura aparente, que corresponde a um valor máximo. Nesse caso, entende-se por valor mínimo o menor

valor documentado nos resultados de ensaios de controle de qualidade, e por valor máximo, o maior valor obtido.

Algumas recomendações sobre controle de qualidade durante a fabricação também podem ser obtidas nas normas européias EN13249 a EN13257<sup>[17-25]</sup> e EN13265<sup>[26]</sup>, elaboradas para que o fabricante apresente valores característicos de propriedades de geotêxteis e produtos correlatos, a depender de sua aplicação. Esses documentos representam o conjunto de práticas para ensaios de CQF mais completo e abrangente disponível atualmente. Entretanto, não apresentam a frequência a ser adotada para os ensaios.

As normas EN13249 a EN13257<sup>[17-25]</sup> e EN13265<sup>[26]</sup> presumem que as indústrias de geossintéticos operam segundo certificação ISO 9001 ou ISO 9002 e especificam quais propriedades são relevantes e que métodos de ensaios devem ser adotados para a determinação dessas propriedades. Apresentam também diretrizes para a implementação de um sistema para avaliação da conformidade do produto na fábrica que envolve a participação de um órgão fiscalizador externo. Ao seguir estas normas, o fabricante recebe o selo CE, sem o qual nenhum geotêxtil ou produto correlato pode ser comercializado dentro da Comunidade Européia.

Para certas propriedades do material indicadas nas normas, o fabricante é obrigado a fornecer a média acompanhada da tolerância correspondente a um nível de confiança igual a 95%. Isto não ocorre no Brasil, onde as características de muitos produtos ainda são apresentadas em catálogos técnicos sem qualquer menção a análises estatísticas.

A Tabela 7 ilustra os ensaios que devem ser efetuados pelo fabricante como parte do controle de qualidade para

**Tabela 6.** Propriedades requeridas e métodos de ensaio para geotêxteis classe 1 – alta sobrevivência, utilizados como elemento de separação<sup>[16]</sup>.

Propriedade	Método de Ensaio	Unidade	Alongamento <50%	Alongamento ≥ 50%
Resistência à tração tipo grab	ASTM D4632	kN	1,4	0,9
Resistência ao rasgo trapezoidal	ASTM D4533	kN	0,5	0,35
Resistência ao puncionamento	ASTM D6241	kN	2,8	2,0
Permissividade	ASTM D4491	s <sup>-1</sup>	0,02	0,02
Abertura aparente	ASTM D4751	mm	0,6	0,6
Estabilidade UV	ASTM D4355	% retida a 500 h	50	50

**Tabela 7.** Ensaios para obtenção das características para geotêxteis a serem fornecidas pelo fabricante segundo normas européias<sup>[17,20]</sup>.

Aplicação	Norma	Função	Ensaios <sup>(a)</sup>	Método de Ensaio
Construção de estradas e outras zonas de tráfego	EN 13249	Separação	Tração faixa larga (resistência)	EN ISO 10319
			Puncionamento Estático CBR	EN ISO 12236
		Filtração	Tração faixa larga (resistência)	EN ISO 10319
			Perfuração dinâmica	EN 918
			Abertura de filtração característica	EN ISO 12956
			Permeabilidade normal ao plano sem carga	EN ISO 11058
		Reforço	Tração faixa larga (resistência e alongamento)	EN ISO 10319
Puncionamento Estático (CBR)	EN ISO 12236			
Perfuração dinâmica	EN 918			
Construção de drenos em sistemas de drenagem	EN 13252	Drenagem	Tração faixa larga (resistência)	EN ISO 10319
			Capacidade de fluxo no plano	EN ISO 12958

(a) As características de durabilidade devem ser analisadas segundo o anexo B da norma.

a obtenção do selo CE segundo as normas EN13249<sup>[17]</sup> e EN13252<sup>[20]</sup>. A primeira norma refere-se à aplicação de geotêxteis com função de separação, filtração e reforço na construção de estradas e outras zonas de tráfego. A EN13252 diz respeito ao uso de geotêxteis como dreno em sistemas de drenagem.

Comparando-se os ensaios para CQF nos EUA e na Europa, percebe-se que os tipos de ensaios adotados refletem a tradição local. Por exemplo, o ensaio de tração do tipo grab ainda é bastante empregado nos EUA, mesmo sabendo-se que o ensaio de tração de faixa larga fornece informações mais relevantes para projetos de engenharia, principalmente no caso de reforço de solos. Apesar dos ensaios de rasgo e estouro serem comumente empregados nos EUA, não são recomendados nas normas da Comunidade Européia. No Brasil, é provável que os ensaios a serem futuramente recomendados pela ABNT para CQF sejam semelhantes aos praticados na Europa. Principalmente, considerando-se que as normas mais recentes da ABNT sobre procedimentos de execução de ensaios para geossintéticos foram baseadas em normas européias. É o caso das normas relativas à perfuração dinâmica, abertura de filtração característica, permeabilidade normal ao plano e capacidade de fluxo no plano.

## Considerações sobre Recomendações Normativas para Ensaios de Controle de Fabricação de Geomembranas

### Geomembranas de polietileno (PE)

No Brasil, as propriedades de geomembranas de PE eram avaliadas segundo a norma GM13<sup>[27]</sup> do *Geosynthetic Research Institute* (GRI), que apresenta indicações da frequência de amostragem e de testes para controle de qualidade de fabricação. Essa norma trata de ensaios para geomembranas de Polietileno de alta densidade (HDPE ou PEAD), lisas e texturizadas, com densidade acima de 0,94 g/cm<sup>3</sup> e espessura variando entre 0,75 e 3 mm.

No entanto, a partir de maio de 2006 foi publicada pela ABNT a norma NBR 15352<sup>[4]</sup>, que estabelece requisitos mínimos para mantas termoplásticas de PEAD e de PEBDL, cuja finalidade é a impermeabilização. A NBR 15352 foi concebida segundo uma forte influência da experiência norteamericana. A Tabela 8 apresenta as propriedades das mantas de PEAD lisas exigidas pela NBR 15352 (as propriedades das mantas de PEAD texturizadas, PE linear lisas e PE linear texturizadas podem ser consultadas diretamente na norma em questão). Verifica-se que dentre os ensaios recomendados apenas a espessura média é obtida por uma norma nacional (NBR 15227<sup>[28]</sup>). Na ausência de normas específicas nacio-

**Tabela 8.** Propriedades das mantas de PEAD lisas (modificado da NBR 15352<sup>[4]</sup>).

Propriedades	Valores							Método de ensaio
Espessura (média) (mm)	0,50	0,75	0,80	1,00	1,50	2,00	2,50	ABNT NBR 15227
menor valor individual entre 10 medidas (%)	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	
Densidade (mínima) (g/cc)	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	ASTM D792, D1505
<b>Resistência à tração (mínima)</b>								
No escoamento (kN/m)	7	11	12	15	22	29	37	
Na ruptura (kN/m)	13	20	22	27	40	53	67	ASTM D6693
Alongamento no escoamento (%)	12	12	12	12	12	12	12	Tipo IV
Alongamento na ruptura (%)	700	700	700	700	700	700	700	
Resistência ao rasgo (mínima) (N)	62	93	100	125	187	249	311	ASTM D1004
Resistência ao puncionamento (mínima) (N)	160	240	256	320	480	640	800	ASTM D4833
Resistência ao tenso fissuramento (h)	300	300	300	300	300	300	300	ASTM D5397
Conteúdo de negro de fumo (%)	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	ASTM D1603
Dispersão de negro de fumo	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	ASTM D5596
<b>Tempo de oxidação indutiva OIT<sup>(b)</sup> (mínimo) (minutos)</b>								
OIT Standard	100	100	100	100	100	100	100	ASTM D3895
OIT de alta pressão	400	400	400	400	400	400	400	ASTM D5885
<b>Envelhecimento no forno a 85 °C</b>								
OIT Standard (mínimo), % retida após 90 dias	55	55	55	55	55	55	55	ASTM D5721, D3895
OIT de alta pressão (mín.), % retida após 90 dias	80	80	80	80	80	80	80	ASTM D5885
<b>Resistência UV<sup>(d)</sup> (%)</b>								
OIT Standard	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	ASTM D3895
OIT de alta pressão (mín.) % retida após 1600 h	50	50	50	50	50	50	50	ASTM D5885

(a) Dispersão de negro de fumo (somente aglomerados esféricos) em 10 diferentes formas: 9 nas categorias 1 ou 2 e 1 na categoria 3. (b) A condição de ensaio deve ser de ciclos de 20 h de UV a 75 °C seguidos por 4 h de condensação a 60 °C. (c) Não recomendável uma vez que a temperatura elevada do ensaio Padrão produz resultados não realísticos para certos pacotes de antioxidantes nas amostras expostas aos raios UV. (d) A resistência UV é baseada no valor da percentagem retida independente do valor original do ensaio a alta pressão.

**Tabela 9.** Frequência de ensaios para controle de fabricação de geomembranas<sup>[27]</sup>.

Propriedade	Frequência de ensaio
Espessura	A cada rolo
Densidade	A cada 90 kg
Tração e teor de negro de fumo	A cada 9.070 kg
Resistência ao rasgo, puncionamento e dispersão de negro de fumo	A cada 20.400 kg
Tenso fissuramento	A cada intervalo de 70.000 a 90.700 kg
Tempo de oxidação indutiva (OIT)	A cada 90.700 kg
Envelhecimento no forno a 85 °C	A cada nova formulação

nais, a norma NBR 15352 estabelece que todos os demais ensaios devem ser feitos segundo normas da ASTM.

As propriedades indicadas para teste na NBR 15352 foram totalmente baseadas na especificação GM13 do GRI, o qual, como citado, possui grande credibilidade no cenário norte-americano. Além de propriedades físicas, mecânicas e a resistência ao intemperismo, a NBR 15352 apresenta também requisitos de instalação das geomembranas na obra. Entretanto, a NBR 15352 não apresenta a frequência de ensaios para CQF, sendo as recomendações da GM13 seguidas no Brasil com relação a esse aspecto. A Tabela 9 apresenta a frequência dos ensaios recomendados pela GM13.

#### Geomembranas de poli (cloreto de vinila) (PVC)

O emprego de geomembranas de PVC na Engenharia Civil tem recebido contribuições significativas do *PVC Geomembrane Institute* (PGI), o qual desenvolveu especificações para que esses materiais possam atender aos objetivos dos projetos em geral. Em 2006, o PGI lançou uma publicação que especifica os detalhes pertinentes à verificação do produ-

to, instalação, controle de qualidade de campo e ensaios<sup>[29]</sup>. Nessa publicação, as principais propriedades das geomembranas de PVC são verificadas de acordo com a especificação PGI 1104<sup>[30]</sup>, a qual foi adotada pela ASTM através da norma D7176<sup>[31]</sup>. Ressalta-se que não existem normas semelhantes no Brasil.

A norma D7176 relaciona as propriedades exigidas para geomembranas de PVC flexíveis de 0,25 a 1,5 mm de espessura, usadas para impermeabilização e coberturas. Também especifica os ensaios necessários para avaliar se o produto atende aos critérios mínimos de qualidade e de desempenho desejados. A Tabela 10 apresenta os ensaios recomendados pela D7176.

Para a avaliação de todas as propriedades, a norma estabelece que as amostras para ensaios em geomembranas de PVC devem ser retiradas das mantas aleatoriamente, inclusive das emendas. As propriedades de certificação de fábrica (ver Tabela 10) devem ser obtidas a cada lote ou a cada 18.000 kg de material produzido. No entanto, a espessura deve ser verificada a cada rolo. As propriedades índices devem ser obtidas

**Tabela 10.** Propriedades de certificação de fábrica e propriedades índices de geomembranas de PVC (modificado da ASTM D7176<sup>[31]</sup>).

		PVC						Método de ensaio
		10 <sup>(a)</sup>	20	30	40	50	60	
Propriedades de certificação	Espessura (mm)	0,25	0,51	0,76	1,02	1,27	1,52	D5199
		± 0,013	± 0,03	± 0,04	± 0,05	± 0,06	± 0,08	
	Propriedades de tração (mín.):							
	-Resistência na ruptura (kN/m)	4,2	8,4	12,8	17,0	20,3	24,0	D882
	-Alongamento (%)	250	360	380	430	430	450	
	-Módulo a 100% (kN/m)	1,8	3,6	5,4	7,2	9,0	10,8	
	Resistência ao rasgo mínima (N)	11	27	35	44	58	67	D1004
Propriedades índices	Estabilidade dimensional (%) (variação máx.)	4	4	3	3	3	3	D1204
	Impacto a baixa temperatura (°C)	-23	-26	-29	-29	-29	-29	D1790
	Densidade mínima (g/cm <sup>3</sup> )	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	D792
	Extração de água (%) (perda máx.)	0,16	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	D1239
	Perda máxima de voláteis (%)	1,5	0,9	0,7	0,5	0,5	0,5	D1203
	Enterradas no solo (variação máx.):							
	-Resistência na ruptura (%)	5	5	5	5	5	5	G160
	-Alongamento (%)	20	20	20	20	20	20	
	-Módulo a 100%	20	20	20	20	20	20	
	Resistência Hidrostática mín. (kPa)	290	470	690	830	1030	1240	D751
Peso molecular médio mín.	400	400	400	400	400	400	D2124	

(a) PVC 10 = geomembrana com espessura de 0,010 polegadas ou 0,254 mm (idem para os demais).

para o produto final acabado e um certificado de garantia das propriedades deve ser emitido pelo fabricante. Se existir alguma modificação na formulação das geomembranas, as propriedades índices devem ser reavaliadas. Além disso, os ensaios devem ser refeitos a cada 5 anos para verificar eventuais mudanças nos processos de fabricação, alteração na matéria prima, dentre outros aspectos.

Na Europa, as normas que avaliam as principais propriedades de geomembranas sob o enfoque do CQF são as EN 13361<sup>[32]</sup>, 13362<sup>[33]</sup>, 13491<sup>[34]</sup>, 13492<sup>[35]</sup> e 13493<sup>[36]</sup>. De forma semelhante às normas referentes a geotêxteis, as normas européias para geomembranas identificam propriedades de interesse a depender da aplicação do material, as quais devem ser apresentadas em termos de média e tolerância para a um nível de confiança igual a 95%. Novamente, o cumprimento dessas normas permite a obtenção do selo CE, sem o qual nenhuma geomembrana pode ser comercializada dentro da Comunidade Européia.

A Tabela 11 apresenta ensaios requeridos em geomembranas para algumas aplicações. Ressalta-se que as normas européias não fazem distinção sobre o tipo de geomembrana, mas apenas citam os métodos de ensaios a serem utilizados. São os métodos de ensaios que especificam qual tipo de geomembrana será usada. Por exemplo, a norma EN 13493<sup>[36]</sup> indica a verificação da propriedade de tenso fissuramento pelo método de ensaio D5397<sup>[37]</sup> da ASTM. Nesse método está a especificação que o ensaio é aplicável somente a geomembranas de PE.

Aparentemente, as normas utilizadas para as geomembranas de PE e PVC apresentam uma quantidade elevada de ensaios. No entanto, a frequência de alguns ensaios mostra que estes serão necessários somente após uma certa quantidade de material produzido, o que reduz significativamente o número de ensaios. Ademais, dentro do contexto de CQ, esses ensaios são necessários para que se possa garantir minimamente o material que está sendo fabricado.

## Conclusões

O controle de qualidade de geossintéticos é uma questão pouco discutida na literatura técnica nacional. Neste artigo, foram apresentados os principais tipos de ensaios de laboratório utilizados para controle de qualidade de fabricação de geotêxteis e geomembranas. A avaliação sobre o assunto foi baseada em normas técnicas norte-americanas e européias, analisando-se também a situação brasileira.

No cenário nacional, ainda não há normas específicas referentes ao controle de qualidade de fabricação de geotêxteis. Na prática, os ensaios de CQF ficam geralmente limitados à determinação de características físicas e mecânicas do geotêxtil, as quais não são suficientes para avaliar a qualidade do material em todas as suas aplicações. Por outro lado, as geomembranas contam com a norma NBR 15352<sup>[4]</sup>, que apresenta requisitos mínimos para mantas termoplásticas de PEAD e de PEBDL.

Ao contrário do Brasil, nos EUA já existem algumas normas que tratam de CQF de geotêxteis. Entretanto, ainda não há um conjunto de normas destinadas a todas as aplicações dos geotêxteis na Engenharia Civil. Ademais, as informações não se encontram agrupadas, de sorte que algumas normas tratam apenas da frequência e outras dos tipos de ensaio. No caso das geomembranas, os EUA dispõem de normas distintas para materiais de PE e de PVC. Semelhantemente ao Brasil, as geomembranas também dispõem de padrões mais bem estabelecidos nos EUA para ensaios de CQF, em comparação com os geotêxteis. Isso se dá, em grande parte, por causa do seu importante papel na maioria das obras de contenção de resíduos e da crescente cobrança de responsabilidade ambiental por todos os setores da sociedade.

As normas européias identificam os ensaios necessários para CQF em função das diversas possibilidades de aplicação de geotêxteis e geomembranas na Engenharia Civil, e constitui o conjunto de práticas para ensaios de CQF de geossintéticos mais abrangente disponível atualmente.

**Tabela 11.** Ensaios para obtenção das características para geomembranas a serem fornecidas pelo fabricante, segundo normas européias<sup>[32-34, 36]</sup>.

Aplicação	Norma	Ensaio <sup>(a)</sup>	Método de Ensaio
Reservatórios e barragens	EN 13361	Resistência à tração	ISO 527
		Punção estática	EN ISO 12236
		Permeação a líquidos	EN 14150
Canais	EN 13362	Resistência à tração	ISO 527
		Punção estática	EN ISO 12236
		Permeação a líquidos	EN 14150
Túneis e estruturas enterradas	EN 13491	Resistência à tração	ISO 527
		Punção estática	EN ISO 12236
		Permeação a líquidos	EN 14150
Armazenamento e disposição de resíduos sólidos	EN 13493	Resistência à tração	ISO 527
		Punção estática	EN ISO 12236
		Permeação a líquidos	EN 14150
		Permeação a gases	ASTM D1434

(a) As características de durabilidade devem ser analisadas segundo anexo B da norma.

Destaca-se, por fim, a importância da conscientização das indústrias fabricantes de geossintéticos brasileiras no sentido de estabelecerem um rígido controle da qualidade de seus materiais. Considerando o crescente despontar de novos produtos e fabricantes nacionais, a qualidade do produto manufaturado pode constituir um critério natural de seleção, favorecendo as indústrias que adotam tal prática. Neste processo, o estabelecimento de instituições independentes para certificação de qualidade é de suma importância.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Indiara Vidal, Flávio Montez e Carlos Vinícius Benjamim pelo apoio durante a elaboração deste artigo.

## Referências Bibliográficas

1. Bueno, B. S.; Valetin, C. A. & Mossim, V. - “*Um Panorama do Desempenho de Geossintéticos Comercializados no País sob a Ótica de Ensaios de Laboratório*”, in: Anais do 5º Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, CD-ROM, Recife-PE, jun (2007).
2. American Association of State Highway and Transportation Officials - “*M 288: Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*”, 24ª ed., AASHTO (2004).
3. Bueno, B. S. - “*Propriedades. Especificações. Ensaios.*”, in: Anais do 4º Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, p. 163-176, Porto Alegre-RS, maio (2003).
4. Associação Brasileira de Normas Técnicas - “*NBR 15352: Mantas termoplásticas de polietileno de alta densidade – PEAD – e de polietileno linear – PEBDL – para impermeabilização*”, ABNT (2006).
5. Associação Brasileira das Indústrias de Não-tecidos e Tecidos Técnicos - “*Curso Básico de Geotêxteis*”, Comitê Técnico Geotêxtil – CTG, ABINT (2001).
6. Bueno, B. S.; Vilar, O. M. - “*Propriedades, ensaios e normas*”, in: Manual Brasileiro de Geossintéticos, cap. 3, Vertematti (ed.), Edgard Blücher (2004).
7. Koerner, R. M. - “*Designing with Geosynthetics*”, 5ª edição, Prentice Hall, Englewood Cliffs (2005).
8. Sharma, H. D.; Lewis, S. P. - “*Waste Containment System, Waste Stabilization and Landfills: Design and Evaluation*”, John Wiley & Sons, New York (1994).
9. Maia, I. S. - “*Avaliação da Degradação de Propriedades Mecânicas de Geomembranas de PEAD e PVC*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, (2001).
10. Vilar, O. M. - “*Geossintéticos em Aplicações Ambientais*”, in: Anais do 4º Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, CD-ROM, Porto Alegre-RS, maio (2003).
11. Associação Brasileira de Normas Técnicas. - “*NBR 15224: Geotêxteis – Instalação de Trincheiras Drenantes*”, ABNT (2005).
12. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes - “*Manual de Pavimentação*”, 3ª ed., Rio de Janeiro (2006).
13. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes - “*Manual de Drenagem*”, 2ª ed., Rio de Janeiro (2006).
14. American Society for Testing and Materials - “*D4354: Standard Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing*”, ASTM (2004).
15. Geosynthetic Research Institute - “*GT12: Test Methods and Properties for Nonwoven Geotextiles Used as Protection (or Cushioning) Materials*”, GSI, Folsom, EUA (2002).
16. Geosynthetic Research Institute - “*GT13: Test Methods and Properties for Geotextiles Used as Separation Between Subgrade Soil and Aggregate*”, GSI, Folsom, EUA (2004).
17. European Comitee for Standardization - “*EN 13249: Geotextiles and Geotextile-related Products - Characteristics Required for Use in the Construction of Roads and Other Trafficked Areas (excluding railways and asphalt inclusion)*”, CEN (2000).
18. European Comitee for Standardization - “*EN 13250: Geotextiles and Geotextile-related Products - Required Characteristics for Use in the Construction of Railways*”, CEN (2000).
19. European Comitee for Standardization - “*EN 13251: Geotextiles and Geotextile-related Products - Characteristics Required for Use in Earthworks, Foundations and Retaining Structures*”, CEN (2000).
20. European Comitee for Standardization - “*EN 13252: Geotextiles and Geotextile-related Products - Characteristics Required for Use in Drainage Systems*”, CEN (2000).
21. European Comitee for Standardization - “*EN 13253: Geotextiles and Geotextile-related Products - Characteristics Required for Use in Erosion Control Works (Coastal Protection, Bank Revetments)*”, CEN (2000).
22. European Comitee for Standardization - “*EN 13254: Geotextiles and Geotextile-related Products - Characteristics Required for Use in the Construction of Reservoirs and Dams*”, CEN (2000).
23. European Comitee for Standardization - “*EN 13255: Geotextiles and Geotextile-related Products - Characteristics Required for Use in the Construction of Canals*”, CEN (2000).
24. European Comitee for Standardization - “*EN13256: Geotextiles and Geotextile-related Products - Characteristics*”, CEN (2000).

- istics Required for Use in the Construction of Tunnels and Underground Structures*”, CEN (2000).
25. European Comitee for Standardization - “*EN 13257: Geotextiles and Geotextile-related Products - Characteristics Required for Use in Solid Waste Disposals*”, CEN (2000).
26. European Comitee for Standardization - “*EN 13265: Geotextiles and Geotextile-related Products - Characteristics Required for Use in Liquid Waste Containment Projects*”, CEN (2000).
27. Geosynthetic Research Institute - “*GM13: Test Properties, Testing Frequency and Recommended Warranty for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes*”, GSI, Folsom, EUA (2003).
28. Associação Brasileira de Normas Técnicas - “*NBR 15227: Geossintéticos - Determinação da Espessura Nominal de Geomembranas Termoplásticas Lisas*”, ABNT (2005).
29. PVC Geomembrane Institute - “*PVC Geomembrane Fabrication and Installation Specification*”. University of Illinois, Urbana-Champaign (2006).
30. PVC Geomembrane Institute - “*PGI 1104: PVC Geomembrane Specifications*”, PGI (2004).
31. American Society for Testing and Materials - “*D7176: Standard Specification for Non-Reinforced Polyvinyl Chloride – PVC - Geomembranes Used in Buried Applications*”, ASTM (2006).
32. European Comitee for Standardization - “*EN 13361: Geosynthetic Barriers - Characteristics Required for Use in the Construction of Reservoirs and Dams*”, CEN (2004).
33. European Comitee for Standardization - “*EN 13362: Geosynthetic Barriers – Characteristics Required for Use in the Construction of Canals*”, CEN (2005).
34. European Comitee for Standardization - EN 13491. “*Geosynthetic Barriers - Characteristics required for Use as a Fluid Barrier in the Construction of Tunnels and Underground Structures*”, CEN (2004).
35. European Comitee for Standardization - “*EN 13492: Geosynthetic Barriers - Characteristics Required for Use in the Construction of Liquid Waste Disposal Sites, Transfer Stations or Secondary Containment*”, CEN (2002).
36. European Comitee for Standardization - “*EN 13493: Geosynthetic Barriers - Characteristics Required for Use in the Construction of Solid Waste Storage and Disposal sites*”, CEN (2005).

Enviado: 05/09/07

Aceito: 03/12/07