

# **Borracha de Poliuretano millable para Revestimiento de Cilindros**

Luis Antonio Tormento  
LT Químicos/TSE Industries  
11/11/2004

# Introdução

Este trabalho apresenta de maneira clara e sucinta quais são as vantagens que os poliuretanos tipo millable possuem sobre outras borrachas no revestimento de cilindros.

# Porque os cilindros são revestidos

A aplicação de camadas de borracha sobre a superfície de rolos e cilindros metálicos é feita com a finalidade de protegê-los ou torná-los aptos para desempenhar os mais diversos tipos de trabalhos.

# A primeira aplicação

Com o trabalho “ goma elástica”, Charles Goodyear, em 1850, já fazia referência a esta aplicação, em particular, com borracha vulcanizada.

# As primeiras borrachas

Desde a primeira utilização prática até 1930, os revestimentos eram feitos com borracha natural.

Por volta de 1930, com a descoberta das duas primeiras borrachas sintéticas - NBR e SBR - foram disponibilizados cilindros com revestimentos mais resistentes à abrasão, óleos e solventes.

# Uso

O revestimento de cilindros com o uso de elastômeros é uma técnica muito utilizada nos setores:

- Siderúrgico
- Gráfico
- Fabricação de papel
- Embalagens

# Processo de Revestimento de Cilindros

## 1- Preparação do Substrato

O processo para se fazer o revestimento de um cilindro é complexo; deve ser controlado em etapas.

# Processo de Revestimento de Cilindros

## a) Limpeza Mecânica

Sua finalidade é eliminar todo o revestimento anteriormente aplicado e corrigir imperfeições causadas por oxidação ou corrosão no substrato metálico.

Os processos utilizados são:

- Desbaste
- Lixamento
- Jateamento



# Processo de Revestimento de Cilindros

## b) Limpeza Química

Sua finalidade é eliminar toda contaminação que possa haver na superfície, a fim de que a boa adesão borracha/metal não seja prejudicada.

Para esta limpeza, são utilizados:

- Solventes
- Bases
- Ácidos

# Processo de Revestimento de Cilindros

## c) Aplicação do Adesivo

Nesta etapa é aplicado um adesivo específico, que tem por finalidade promover a adesão entre as camadas de borracha sobre a superfície do metal.

Os adesivos podem ser:

- Chemlok, Thixon, Chemosil
- Preparados pelo processador




Tempo de secagem: 30 minutos ou mais.

# Processo de Revestimento de Cilindros

## 2 – Revestimento

Nesta etapa, o cilindro recebe as camadas de borracha em forma de lençóis, com espessuras variando conforme as características da borracha aplicada. Os lençóis são preparados com pelo menos 12 horas de antecedência, para permitir o rearranjo das cadeias do polímero e a distribuição das cargas e aditivos na matriz polimérica.

# Tipos de Revestimentos

<b>Paralelo</b>	
<b>Manga</b>	
<b>Cabeceira</b>	

# Processo de Revestimento de Cilindros

## 3 – Moldagem

Os cilindros revestidos com borracha com a base metálica sólida, são recobertos com borracha para depois sofrerem o processo de vulcanização, retífica e embalagem.

# Processo de Revestimento de Cilindros

Basicamente os cilindros são moldados das seguintes formas:

- Cilindros pequenos: em geral são moldados em prensa ou injetados diretamente sobre o metal.
- Cilindros maiores: sofrem o processo de enfaixamento para depois serem vulcanizados.

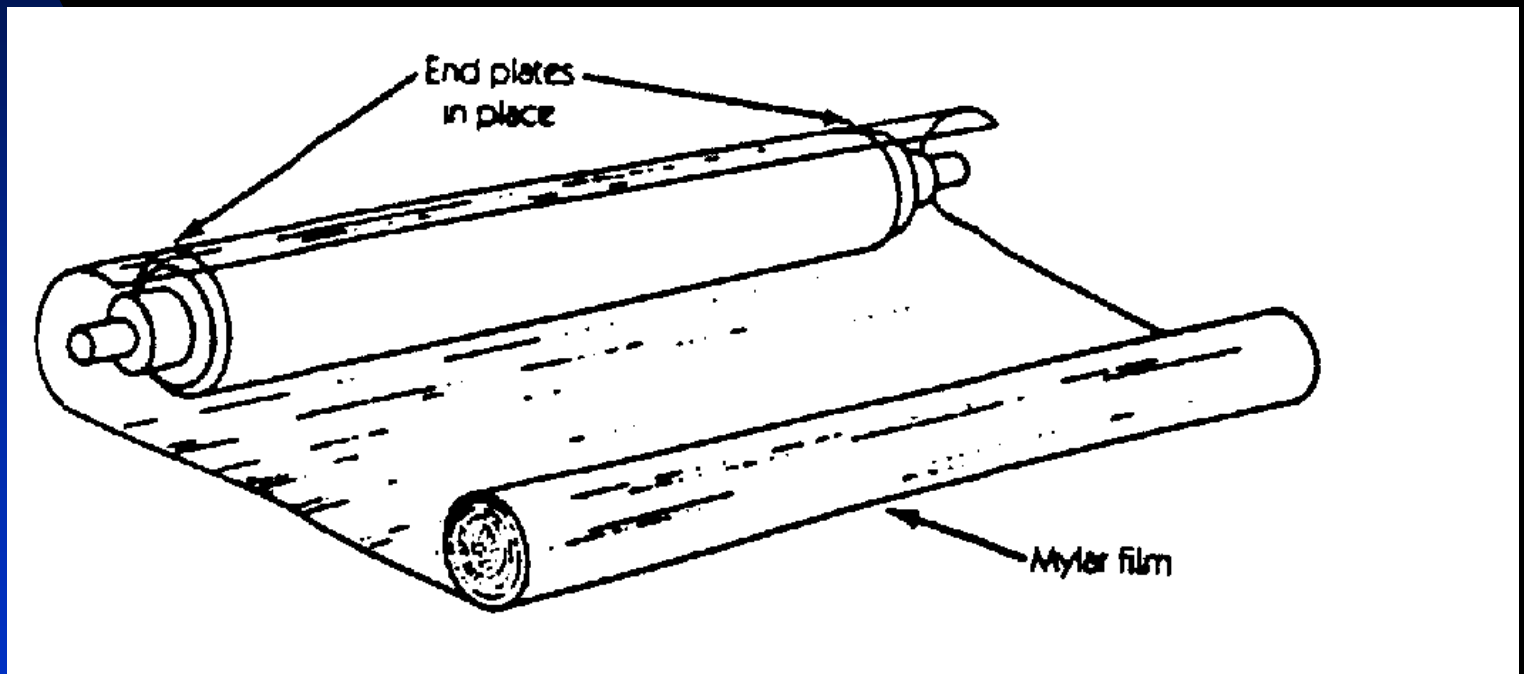
# Processo de Revestimento de Cilindros - Exemplos

Cilindros Prensados e Injetados



# Processo de Revestimento de Cilindros

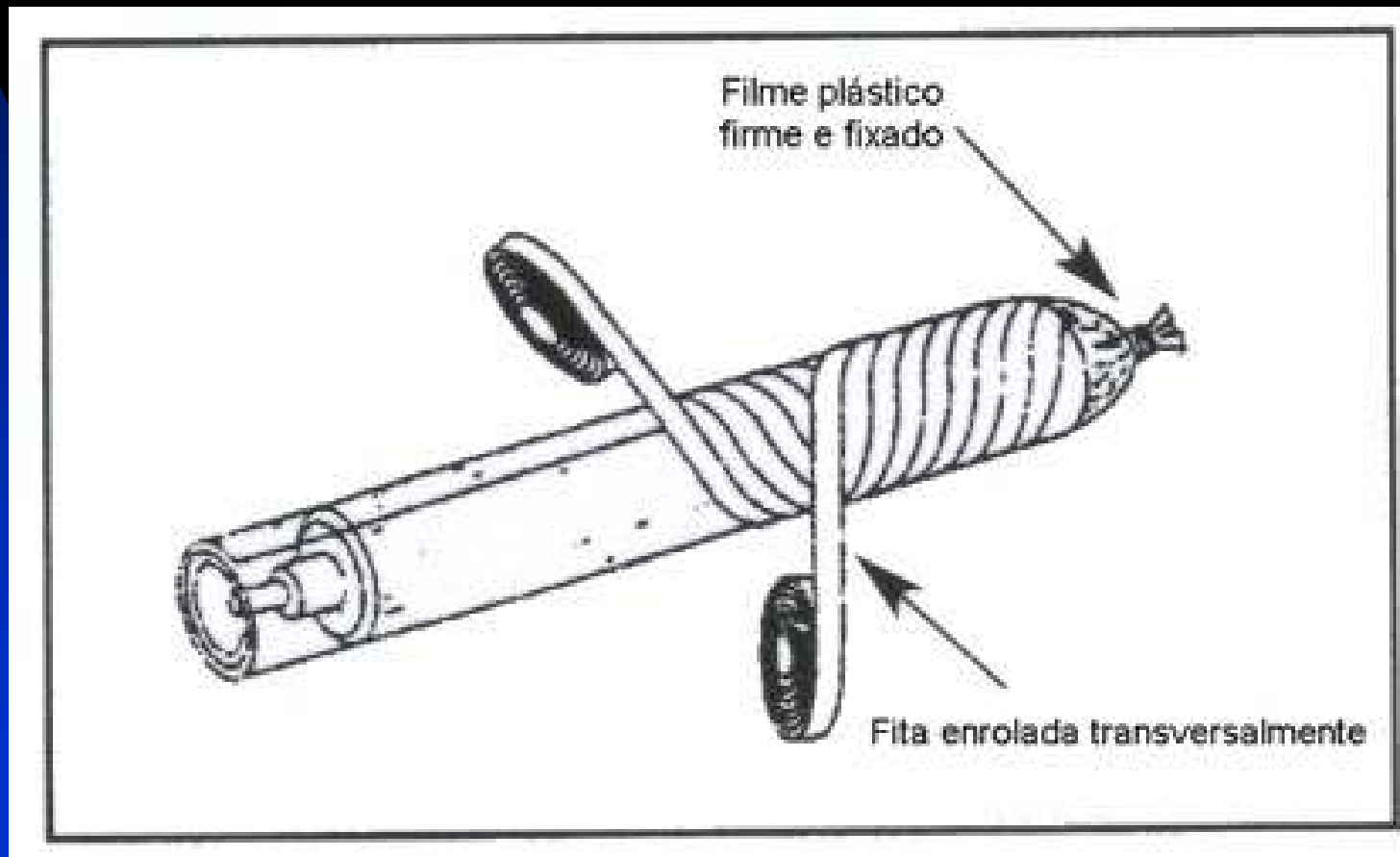
Cilindros Enfaixados





# Processo de Revestimento de Cilindros

Cilindros Enfaixados



# Processo de Revestimento de Cilindros

## 4 – Vulcanização

Cilindros com revestimento de borracha são normalmente curados com vulcanização a vapor, embora o autoclave ou estufa de ar quente também possam ser utilizados. O autoclave a vapor seco tem pior transferência de calor em relação ao autoclave a vapor e o cilindro deve ser curado por um período mais longo. Contudo, tem a vantagem de ter presente uma baixa umidade.

# Processo de Revestimento de Cilindros

## 4 – Vulcanização

Cilindros vulcanizados a vapor são curados a 120 - 145°C, por 30 minutos a 4 horas, dependendo da espessura da camada de borracha. Tipicamente, cilindros são curados por uma hora ou mais a 115 -125°C para completar a cura. Cilindros mais espessos são curados por períodos mais longos a temperaturas mais baixas.

# Processo de Revestimento de Cilindros

## 5 – RETÍFICA

Depois de curado, o cilindro revestido é removido; ao voltar à temperatura ambiente é desenfaixado, a proteção de plástico ou celofane é retirada e o cilindro pode ser retificado para se obter o acabamento final da superfície.

Inicialmente ele é desbastado grosseiramente e depois retificado na medida solicitada pelo cliente, com ranhuras, chanfros ou outros detalhes.

# Tipos de Retílicas

<b>Paralela</b>	 A cylindrical brush with a smooth, uniform blue surface and two metal end caps.
<b>Xadrez</b>	 A cylindrical brush with a blue surface featuring a diamond-shaped mesh or grid pattern and two metal end caps.
<b>Canais ou Recartilhado</b>	 A cylindrical brush with a blue surface featuring four distinct blue rings or segments and two metal end caps.
<b>Ranhura</b>	 A cylindrical brush with a blue surface featuring a V-shaped groove pattern and two metal end caps.
<b>Rôscas</b>	 A cylindrical brush with a blue surface featuring a diagonal rib pattern and two metal end caps.

# Processo de Revestimento de Cilindros

## **5 – BALANCEAMENTO E EXPEDIÇÃO**

Depois de acabado, o cilindro deve ser balanceado dinamicamente.

É envolto em papel e enviado ao cliente.

# Parte B

## Poliuretano Millable

- O elastômero millable - normalmente chamado de goma - foi uma das primeiras formas de poliuretano.
- Quando o uretano foi inventado, o processo padrão utilizado para converter elastômeros em produtos acabados empregava as mesmas técnicas que as borrachas.

# Poliuretano Millable

- Diferenciam-se dos outros poliuretanos nos métodos utilizados em sua cura, na composição intensa e processamento. As borrachas de poliuretano millable são processadas em equipamento convencional de borracha nas temperaturas de 120 - 130°C.
- Os líquidos moldados de poliuretano, embora com propriedades similares às do poliuretano millable, requerem procedimento específico, equipamentos dimensionados, estufas e outros maquinários.



# Poliuretano Millable

- Sistemas de fundição (castable) geralmente consistem de três materiais iniciais: um polímero líquido com grupos finais de hidroxila; um isocianato polifuncional e um poliol de baixo peso molecular ou poliamida (MOCA ou 1,4-butanodiol).
- Poliuretanos termoplásticos sólidos são polímeros de alto peso molecular, amolecidos por temperatura e processados em equipamento de plásticos como sopro, injeção e extrusão. Compostos de uretano millable exibem as mesmas propriedades extraordinárias, que os outros polímeros de uretano.

# Poliuretano Millable

Especificamente, estas propriedades são:

- superior resistência à abrasão;
- excelente resistência à ruptura e ao corte;
- excelente resistência ao ozônio, combustíveis e óleos;
- alta flexibilidade de compressão (load bearing);
- ótima flexibilidade à baixa temperatura.

Estas são as propriedades conjuntas que distinguem os poliuretanos dos outros polímeros.

# Comparação entre Polímeros

PROPRIEDADES	POLIURETANO	NEOPRENE	NITRÍLICA	NATURAL	EPDM
Tensão de Ruptura	E	B-E	R	B-E	R
Dureza, Shore A	10-95	10-95	20-100	30-100	25-90
Temperatura máxima (°C)	100	120	120	100	175
Resistência ao Ozônio	E	R-B	P	P	E
Resistência ao Corte	E	B	R	B	R
Resistência ao Rasgo	E	B	R	B	R
Deformação Permanente	R-B	B	R-B	R	B
Abrasão	E	B-E	R	B	R
Geração de Calor	E	E	P	R-B	R-B

E - Excelente, B - Bom, R - Regular, P - Pobre

# Resistência a Produtos Químicos

PROPRIEDADES	POLIURETANO	NEOPRENE	NITRÍLICA	NATURAL	EPDM
Óleo ASTM #1	E	R-B	E	P	P
Gasolina (Fuel B)	E	R	B-E	P	P
Tolueno	E	P-R	B	P	P
Hexano	E	B	E	P	P
Álcool Isopropílico	B	B-E	B-E	E	E
Água - 25oC	B	B-E	B-E	E	E
Água - 100oC	R	B	B	E	E
Soda Caustica a 10%	P	B-E	B-E	E	E
Ácido Sulfúrico a 10%	P	B-E	B-E	E	E

E - Excelente, B - Bom, R - Regular, P - Pobre

# Principais Propriedades

- A resistência à abrasão e a grande durabilidade dos poliuretanos são as propriedades-chave que levam os poliuretanos a serem escolhidos sobre outros sistemas poliméricos. Cilindros de uretano são conhecidos pela superior durabilidade em relação a cilindros revestidos com outros polímeros, com um fator de 10 a 1.
- A longa durabilidade dos cilindros de uretano reduzem o custo do tempo ocioso do equipamento, causado na substituição do cilindro. A dureza do elastômero de uretano faz dele um elastômero ideal para operar cilindros de metal e instrumentos de comando.

# Principais Propriedades

- As propriedades de alto rasgo, corte e abrasão do uretano evitam as rupturas de pequenas partículas do cilindro mesmo durante longos períodos de operação. Estas propriedades são particularmente importantes onde a contaminação pelas partículas causem defeitos no produto final e aumento de custo para reparar ou limpar a superfície final do cilindro ( tempo ocioso).
- Na impressão e gravação os revestimentos cilíndricos devem ser conservados rigorosamente limpos

# Millable vs. Castable

Muitos dos aspectos do PU líquido (castable) são similares àqueles do poliuretano millable. A maioria das diferenças óbvias entre os sistemas é o método de processamento.

# Millable vs. Castable

Considerando que o uretano millable é processado em equipamento convencional de borracha, os polímeros castable requerem um equipamento de manuseio especial. Os elastômeros millable têm mostrado muitas vantagens em escalas de baixa dureza (40 - 70 Shore A) e moldagens com composições de alta dureza (80+ Shore). Em cilindros de baixa dureza os compostos de PU millable proporcionam alta resistência à ruptura e coeficiente de fricção, além de serem mais fáceis de reparar em relação aos compostos de PU castable.



# Millable vs. Castable

Cilindros de poliuretano millable normalmente resistem a giros em temperaturas mais altas, em relação aos cilindros moldados de PU castable de igual dureza. A maioria dos clientes têm também relatado que o coeficiente de fricção do cilindro millable é uma característica que o distingue em aplicações como revestimento de business machine rolls.

# Millable vs. Castable

Dentre as vantagens que os uretanos millable têm sobre os uretanos castable destacam-se:

- curtos ciclos de cura;
- não requerem manuseio especial;
- baixa geração de calor;
- facilidade de reparação nos compostos de baixa dureza;
- alto coeficiente de fricção;
- alta resistência ao rasgo em compostos de baixa dureza.

# Millable vs. Castable

TIPO DE ELASTÔMEROS		CASTABLE (líquido)	MILLABLE (sólido)	NITRÍLICA	NEOPRENE
PROPRIEDADES	GRAU DE IMPORTÂNCIA	PERFORMANCE DO ELASTÔMERO EM RELAÇÃO AO GRAU DE IMPORTÂNCIA			
Estabilidade da dureza em solventes (resistência à extração)	5	5	5	3	4
Resistência a inchamento em solventes apolares (óleos)	5	5	5	4	3
Absorção de tintas	5	5	5	5	4
Resistência ao rasgo e a abrasão	4	5	4	2	3
Baixa geração de calor em operações de alta velocidade	4	3	3	2	3
Resistência a inchamento em solventes polares (ex. tintas ultravioletas)	3	2	3	1	2
Índice de performance	absoluto	113	112	79	85
Índice de performance (100 = melhor)	relativo	100	99	70	75

# POLIÉTER & POLIÉSTER

- Os elastômeros de poliuretano millable são disponibilizados em dois tipos químicos: poliéster e poliéter.
- Os poliésteres têm melhor resistência a solventes e a combustível e melhor comportamento na resistência ao calor, em relação aos tipos poliéteres. Por estas propriedades os poliésteres são usados em impressão, aplicações químicas e revestimento de cilindros que terão contato com produtos químicos e solventes.

# POLIÉTER & POLIÉSTER

- Os poliéteres são usados na maioria das aplicações em contato com água, especialmente em altas temperaturas, porque exibem superior estabilidade hidrolítica em relação aos poliésteres.
- Muitos dos cilindros vulcanizados em autoclaves são poliéteres porque resistem melhor ao efeito prejudicial do vapor d'água durante a cura.
- A estabilidade hidrolítica dos compostos de poliéster pode ser consideravelmente melhorada com a adição de polycarbodiimida (Stabaxol P).
- Cilindros de poliéter também tendem a desenvolver menos calor quando comparados aos cilindros de poliéster.

# POLIÉTER & POLIÉSTER

	POLIÉTER	POLIÉSTER
Resistência ao frio	+	-
Resistência à hidrólise	+	-
Resistência a solventes	-	+
Resistência ao calor	-	+
Resistência a óleo e a gasolina	-	+
Geração de calor	-	+

# Compondo e Misturando

- As práticas de composição de outras borrachas, como natural e sintética, podem normalmente ser empregadas na composição dos elastômeros millable, mas também foram desenvolvidas práticas específicas para estes polímeros.

# Compondo e Misturando

- Como carga, negro de fumo é usado para se obter máxima resistência mecânica e abrasão.
- A sílica é normalmente utilizada como carga branca.
- Os silanos são freqüentemente usados com a sílica, para reduzir a geração de calor e promover o aumento de propriedades físicas e de abrasão.
- Óleos vegetais vulcanizados são usados especialmente em compostos de baixa dureza para ajudar a absorver altos níveis de plastificante, contribuir para o amolecimento e auxiliar no processamento, na extrusão, além de promover a estabilidade dimensional.



# Compondo e Misturando

- Como plastificante, os adipatos, ftalatos, ésteres e a resina de cumarona-indeno têm mostrado boas características nas operações de manufatura.
- As resinas de cumarona-indeno são plastificantes eficientes na cura à base de enxofre, porém não são utilizadas na cura por peróxidos devido à interação com o agente de cura.

# Compondo e Misturando

- Como a maioria das borrachas sintéticas, os poliuretanos millable podem ser curados por quaisquer sistemas à base de enxofre ou peróxido.
- Curas peroxídicas são usadas principalmente para se obter baixa deformação permanente e melhorar as propriedades de resistência ao calor.

# Compondo e Misturando

- Uretanos com altos níveis de poliéster podem também ser curados com isocianato. Compostos curados por este método são vulcanizados rapidamente e tem baixa estabilidade na armazenagem.
- No entanto, os vulcanizados exibem boas propriedades físicas, especialmente em aplicações de 78A a 70D Shore.
- Co-agentes à base de acrilatos como o Sartomer SR-350 ou Saret 500, podem ser usados com sucesso para aumentar a dureza de compostos curados à base de peróxido quando usados de 10 a 20 phr. A forma líquida desses produtos também ajuda a controlar a viscosidade em compostos com alto peso molecular.

# Compondo e Misturando

- Os auxiliares de processo efetivamente utilizados em compostos de uretano incluem polietileno glicol, polietileno de baixo peso molecular, ácido esteárico e TE 88 XL.

# Técnicas de Mistura

- Os compostos do poliuretano millable podem ser misturados em moinhos convencionais, misturadores Banbury e outros misturadores internos.

# Composto para Baixa Dureza

phr

Borracha de Poliuretano Míllable - Tipo Poliéter (1)	100.0
Esterato de Zinco	0.5
Di (butoxi - etoxi - etil) Adipato (2)	30.0
Sílica (3)	5.0
Factis (VVO) (4)	30.0
MBTS	4.0
MBT	2.0
Complexo Parcial de ZnCl com MBTS (5)	1.0
Enxofre	1.5

# Composto para Baixa Dureza

Cura 20/150°C

Modulo 300%, MPa	1.3
Tensão de Ruptura, MPa	10.1
Alongamento, %	730
Dureza, Shore A	31.0
Resistência ao Rasgo tipo C, KN/m	27.7
Resiliência Bashore, %	59.0

# Enxofre vs. Peróxido

	A Enxofre	B Peróxido
Borracha de Poliuretano Millable - Tipo Poliéter (1)	100.00	100.00
Esterato de Zinco	0.25	
Ácido Esteárico		0.25
Negro de fumo N-330 (HAF)	40.00	40.00
Resina de cumarona indeno	10.00	
Di (butoxi - etoxi - etil) Adipato		10.00
MBTS	4.0	
MBT	2.0	
Complexo Parcial de ZnCl com MBTS (5)	1.0	
Enxofre	2.00	
Peróxido de Dicumila		1.20



# Enxofre vs. Peróxido

Cura 10/160°C

Tensão de Ruptura, MPa	29.30	19.40
Alongamento, %	450.00	480.00
Dureza, Shore A	71	61
Resistência ao Rasgo, KN/m	91.00	61.30
Deformação Permanente 22 hrs @ 70°C, %		
Resiliência Bashore, %	59.0	

# Referências

- TSE Industries – Literatura Técnica
- Rubber Technology - Morton

# Muito Obrigado



**LT Químicos**

LT Comércio de Borrachas e Representações Ltda

Av. Pedro Severino Jr., 366 Cj. 35

São Paulo – SP

04310-060

Tel: (11) 5581-0708

Fax: (11) 5585-1716

E-mail: [ltormento@ltquimicos.com](mailto:ltormento@ltquimicos.com)