



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**SUBSTITUIÇÃO DE ESTABILIZANTES A BASE DE CHUMBO
PELO DE CÁLCIO-ZINCO NO PROCESSO PRODUTIVO DE
TUBOS DE PVC RÍGIDO.**

Dráusio Vicente de Almeida

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Mecânica**.

Orientador: Prof. Dr. Hidekasu Matsumoto

Ilha Solteira – SP, setembro de 2005.

SUBSTITUIÇÃO DE ESTABILIZANTES A BASE DE CHUMBO PELO DE CÁLCIO-ZINCO NO PROCESSO PRODUTIVO DE TUBOS DE PVC RÍGIDO.

Dráusio Vicente de Almeida

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE **MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA** NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA.

Prof. Dr. Gilberto Pechoto de Melo / Coordenador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hidekasu Matsumoto / Orientador

Prof. Dr. Wyser José Yamakami

Prof. Dr. João Paulo Pereira Marcicano

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha irmã, Ana Maria de Almeida (em memória), aos meus pais, Athayde e Diva pela lição de vida passada, à minha esposa Jane e aos meus filhos João Pedro e José Victor, pela paciência e apoio e a todos aos amigos que me incentivaram nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde espiritual e material, para a concretização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira - SP, à todo seu corpo docente, especialmente à pessoa de meu orientador, Prof. Dr. Hidekasu Matsumoto, por ter sempre acreditado na minha pessoa, e no meu propósito.

Ao grupo ASPERBRAS, hoje fabricante da linha completa de tubos de pvc rígido, certificada NBR ISO 9001:2000, nas pessoas dos seus diretores, Francisco Carlos Jorge Colnaghi e José Roberto Colnaghi que acreditaram em meu propósito acadêmico, disponibilizando através de suas empresas em Penápolis(S.P) e em Simões Filho(BA), matérias primas, pessoal e equipamentos e demais recursos para a realização deste trabalho.

Ao amigo e colaborador Hélio Paes, responsável pela área da Qualidade da Asperbras.

A empresa CHEMSON LTDA, líder mundial na fabricação de lubrificantes e estabilizantes para formulações de pvc, com sua unidade do Brasil, localizada em Rio Claro-S.P, através de seus diretores e corpo técnico, que também cordialmente nos disponibilizou, seus modernos laboratórios, com o devido apoio técnico de seus profissionais competentes, em especial o Sr. Luis Carlos Salomão.

A meus amigos de Mestrado Rogério Pinto Alexandre, Odilon Caldeira Filho, Nelson H. Takiy e Marcelo A. Teixeira Dória, pelo companheirismo e incentivo.

A minha irmã, Prof. Dra. Célia Maria de Almeida Soares, pelo incentivo e orientação.

Sumário

RESUMO	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 MATÉRIAS PRIMAS – (NUNES), 2002	5
2.1.1 POLICLORETO DE VINILA (PVC).....	5
OBTENÇÃO DO PVC	7
SÍNTESE DO PVC.....	8
PROCESSO DE POLIMERIZAÇÃO EM SUSPENSÃO	8
ASPECTOS MORFOLÓGICOS DAS RESINAS DE PVC OBTIDAS PELOS	
PROCESSOS DE POLIMERIZAÇÃO DE SUSPENSÃO	10
CARACTERÍSTICAS DO PVC	12
O PVC E O FOGO	12
O PVC E O CALOR.....	13
O PVC E O MEIO AMBIENTE.....	13
O PVC É RECICLÁVEL.....	14
CONSUMO ENERGÉTICO.....	14
DURABILIDADE DO PVC	14
FOTODEGRADAÇÃO.....	15
ÁGUA E VAPOR DE ÁGUA.....	15
AGENTES QUÍMICOS	15
2.1.2 ADITIVOS UTILIZADOS NA FORMULAÇÃO PARA EXTRUSÃO DE TUBOS... 16	
ESTABILIZANTES TÉRMICOS	16
COMPOSTOS À BASE DE CHUMBO	18
COMPOSTOS À BASE DE CÁLCIO E ZINCO.....	20
CARBONATO DE CÁLCIO	21
LUBRIFICANTES	23
PIGMENTOS	25

DIÓXIDO DE TITÂNIO	28
2.1.3 PREPARAÇÃO DE MISTURAS DE RESINAS DE PVC RÍGIDO COM ADITIVOS	29
2.2 EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA DE EXTRUSÃO DE TUBOS RÍGIDOS DE PVC	32
2.2.1 EXTRUSORAS	32
EXTRUSORAS DE ROSCA SIMPLES OU MONORROSCA.....	33
EXTRUSORAS DE ROSCA DUPLA.....	35
2.2.2 MATRIZ OU CABEÇOTE.....	36
2.2.3 TANQUE DE CALIBRAÇÃO E RESFRIAMENTO.....	37
2.2.4 GRAVADORAS.....	39
2.2.5 PUXADORES	40
2.2.6 CORTADORES.....	41
2.2.7 EMBOLSADEIRAS	42
2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	43
2.3.1 EXTRUSÃO DE TUBOS DE PVC RÍGIDO	43
2.3.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.....	44
2.3.4 CONTROLE DA QUALIDADE.....	45
2.3.5 CUSTOS DOS TUBOS DE PVC NA FABRICAÇÃO	48
CUSTOS OPERACIONAIS	48
CUSTOS DOS COMPOSTOS DE PVC FORMULADOS.....	49
2.3.6 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS DE FORMULAÇÕES DE PVC	49
CAPÍTULO 3.....	52
3 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	52
3.1 METODOLOGIA.....	52
DESCRIÇÃO.....	54
3.2. REFERÊNCIAS NORMATIVAS.....	55
3.2.1 ESPECIFICAÇÃO DE PRODUTO.....	56
3.2.2. VALORES NORMATIVOS DE ENSAIOS LABORATORIAIS.....	60
3.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO	61
3.3.1 MATERIAIS USADOS NA FABRICAÇÃO.....	61
3.3.2 EQUIPAMENTOS USADOS NA FABRICAÇÃO	65
PLANTA DE PENÁPOLIS (SP).....	65
PLANTA DE SIMÕES FILHO (BA).....	66

3.4. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS	66
3.4.1. VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL (NBR-5687)	66
CRITÉRIO DE APROVAÇÃO	67
3.4.2 VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À PRESSÃO HIDROSTÁTICA INTERNA (NBR – 5688)	69
3.4.3 VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO (NBR – 14262)	72
3.4.4 EXTRUSIÔMETRO (CHEMSON).....	74
CAPÍTULO 4.....	75
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1 RESULTADOS EXPERIMENTAIS (ASPERBRAS)	76
4.1.1 EXPERIMENTO 1 – TUBO ADUTORA DE 60MM CL 15	76
4.1.2 EXPERIMENTO 2 – TUBO PREDIAL ÁGUA FRIA DE 25MM PN 750KPA	78
4.1.3 EXPERIMENTO 3 – TUBO ADUTORA DE 85MM CL 15	80
4.1.4 EXPERIMENTO 4 – TUBO DEFOFO DN 200 PN 1MPA.....	82
4.1.5 EXPERIMENTO 5 – TUBO PREDIAL ÁGUA FRIA DE 25MM PN 750KPA	84
4.1.6 EXPERIMENTO 6 – TUBO PREDIAL ÁGUA FRIA DE 40MM PN 750KPA	86
RESULTADO ENCONTRADO	88
4.2 RESULTADOS EXPERIMENTAIS (CHEMSON)	88
4.2.1 AVALIAÇÃO REOLÓGICA – FORMULAÇÃO TUBOS PARA ÁGUA FRIA.	88
4.2.2 AVALIAÇÃO REOLÓGICA – FORMULAÇÃO TUBOS DE ESGOTO SN.....	92
4.3 COMENTÁRIOS E DISCUSSÕES	95
CAPÍTULO 5.....	98
5 CONCLUSÕES.....	98
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

Figuras

FIGURA 2.1 – PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO PVC NO BRASIL EM 2001, (NUNES, 2002)	6
FIGURA 2.2 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DO PVC	7
FIGURA 2.3 -REPRESENTAÇÃOESQUEMÁTICA DO PROCESSO DE POLIMERIZAÇÃO EM SUSPENSÃO, (NUNES , 2002),.....	10
FIGURA 2.4 - PARTÍCULA DE PVC OBTIDO PELO PROCESSO DE POLIMERIZAÇÃO EM SUSPENSÃO VISUALIZADA NO MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV), AUMENTO DE 645X, (NUNES, 2002)	11
FIGURA 2.5 - MICROGRAFIA DE UMA PARTÍCULA DE PVC, CORTADA DE MODO A EXIBIR SUA ESTRUTURA INTERNA, BEM COMO A POROSIDADE INTERNA DA RESINA, (NUNES, 2002)	11
FIGURA 2.6 - MICROGRAFIA DE UMA PARTÍCULA DE PVC, NA QUAL A MEMBRANA APRESENTA ABERTURAS QUE PERMITEM ACESSO À ESTRUTURA INTERNA DA MESMA, (NUNES, 2002)	12
FIGURA 2.7- ESQUEMA DO PROCESSO DE DESIDROCLORAÇÃO EM UMA CADEIA DO POLÍMERO PVC (NUNES, 2002)	17
FIGURA 2.8- CONJUNTO MISTURADOR INTENSIVO/RESFRIADOR UTILIZADO NA PREPARAÇÃO DE COMPOSTOS DE PVC. (NUNES, 2002).....	29
FIGURA 2.6 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UMA EXTRUSORA (NUNES, 2002).....	32
FIGURA 2.7 - ROSCA DE UM ESTÁGIO, (NUNES, 2002)	33
FIGURA 2.8 - ROSCA DE DOIS ESTÁGIOS, (NUNES, 2002).	34
FIGURA 2.9 - TIPOS DE EXTRUSORAS DE ROSCA DUPLA: (A) PARALELA; (B) CÔNICA, (NUNES, 2002)	35
FIGURA 2.10 – CABEÇOTE DE EXTRUSÃO	36
FIGURA 2.11 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UMA MATRIZ TÍPICA PARA EXTRUSÃO DE TUBOS DE PVC (NUNES, 2002).	37
FIGURA 2.12 – CALIBRADORES DE DIÂMETRO EXTERNO.	38
FIGURA 2.13 –TANQUE DE CALIBRAÇÃO.	38
FIGURA 2.14 – GRAVADORA.	39
FIGURA 2.15 – PUXADOR COM DETALHES.....	40
FIGURA 2.16– CORTADOR COM CHANFRADOR.....	41

FIGURA 2.18– EMBOLSADEIRA AUTOMÁTICA E SEUS DETALHES	42
FIGURA 2.19 - PROCESSO DE EXTRUSÃO DE TUBOS DE PVC, (NUNES, 2002)	44
FIGURA 2.20 – PLANILHA DO CONTROLE DE PRODUÇÃO.....	46
FIGURA 2.21- FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO	47
FIGURA 2.22 – GRÁFICO DO CUSTO DO TUBO POR CARBONATO.....	51
FIGURA 3.1 – MARCAÇÃO DO CORPO DE PROVA	67
FIGURA 3.2 – TANQUE DE GLICERINA TERMOESTABILIZADO	68
FIGURA 3.3 – CAPS DE FECHAMENTO	70
FIGURA 3.4 – APARELHO DE PRESSURIZAÇÃO	71
FIGURA 3.5 – SUPORTE DE FIXAÇÃO DE CORPO DE PROVA.....	71
FIGURA 3.6 – APARELHO DE IMPACTO	73
FIGURA 3.7 – PERCURSORES DE IMPACTO.....	73
FIGURA 3.8 – EXTRUSIÔMETRO MR-20 – GÖTTFERT-FEINWERK-TECHNIK.....	74
FIGURA 4.1 – GRÁFICO COMPARATIVO DE PRESSÃO DE MASSA.....	90
FIGURA 4.2 – GRÁFICO COMPARATIVO DE TORQUE E FORÇA DE EMPUXO.....	91
FIGURA 4.3 – GRÁFICO COMPARATIVO DE PRODUÇÃO.....	91
FIGURA 4.4 – GRÁFICO COMPARATIVO DE PRESSÃO DE MASSA.....	93
FIGURA 4.5 – GRÁFICO COMPARATIVO DE TORQUE E FORÇA DE EMPUXO.....	94
FIGURA 4.6 – GRÁFICO COMPARATIVO DE PRODUÇÃO.....	94

Tabelas

TABELA 2.1 – DADOS DE CONSUMO PER CAPITA DE PVC EM ALGUNS PAÍSES SELECIONADOS (NUNES, 2002).....	5
TABELA 2.2– PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO PVC RÍGIDO	12
TABELA 2.3 - PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE LUBRIFICANTES INTERNOS E EXTERNOS UTILIZADOS EM FORMULAÇÕES DE PVC. (NUNES, 2002).	25
TABELA 2.4 - PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE PIGMENTOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS, (NUNES, 2002)	27
TABELA 2.5 – NOTAÇÕES DE FORMULAÇÕES EM PCR E % (NUNES, 2002).	31
TABELA 2.6 – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE CARBONATO DE CÁLCIO.	50
TABELA 2.7– VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE ESTABILIZANTE.....	50
TABELA 3.1 – RESULTADO DE ENSAIOS.....	54
TABELA 3.2 – TUBO ESGOTO PREDIAL NBR 5688.....	56
TABELA 3.3 – TUBO ADUTORA PN 0,60 MPA NBR 5647 - 1	57
TABELA 3.4 – TUBO ADUTORA PN 0,75 MPA NBR 5647 - 1	57
TABELA 3.5 – TUBO ADUTORA PN 1,00 MPA NBR 5647 - 1	58
TABELA 3.6 – TUBO PVC 12 DEFOFO NBR 7665.....	58
TABELA 3.7 – TUBO PREDIAL PN 750 KPA NBR 5648.....	59
TABELA 3.8 – AMOSTRAGEM.....	59
TABELA 3.9 – VALORES DE ENSAIO PARA TUBO ESGOTO PREDIAL SN (NBR 5688).....	60
TABELA 3.10 – VALORES DE ENSAIO PARA TUBO ADUTORA (NBR 5647-1)	60
TABELA 3.11 – VALORES DE ENSAIO PARA TUBO DEFOFO (NBR 7665).....	60
TABELA 3.12 – VALORES DE ENSAIO PARA TUBO PREDIAL (NBR 5648)	61
TABELA 3.13 – RESINA DE PVC.....	61
TABELA 3.14 – CARBONATO DE CÁLCIO	62
TABELA 3.15 – ESTABILIZANTE TÉRMICO NAFTOBASE.....	62
TABELA 3.16 – ESTABILIZANTE TÉRMICO NAFTOMIX.....	63
TABELA 3.17 – LUBRIFICANTE PLASTABIL.....	63
TABELA 3.18 – PIGMENTO TITÂNIO.....	64
TABELA 3.19 – PIGMENTO MARROM.....	64
TABELA 3.20 – PIGMENTO AZUL	65

TABELA 4.1 – PARÂMETROS E RESULTADOS DO ENSAIO 1	77
TABELA 4.2 – PARÂMETROS E RESULTADOS DO ENSAIO 2	79
TABELA 4.3 – PARÂMETROS E RESULTADOS DO ENSAIO 3	81
TABELA 4.4 – PARÂMETROS E RESULTADOS DO ENSAIO 4	83
TABELA 4.5 – PARÂMETROS E RESULTADOS DE ENSAIO 5.....	85
TABELA 4.6 – PARÂMETROS E RESULTADOS DE ENSAIO 6.....	87
TABELA 4.7 – FORMULAÇÃO DE COMPOSTO DA LINHA PREDIAL	89
TABELA 4.8 – CONDIÇÕES DO EXTRUSIÔMETRO	89
TABELA 4.9 – RESULTADOS REOLÓGICOS.....	89
TABELA 4.10 – FORMULAÇÃO DE COMPOSTO DA LINHA ESGOTO SN.....	92
TABELA 4.11 – CONDIÇÕES DO EXTRUSIÔMETRO	92
TABELA 4.12 – RESULTADOS REOLÓGICOS.....	92

RESUMO

Este trabalho discute a viabilidade da substituição do estabilizante térmico a base de chumbo pelo de cálcio-zinco na produção de tubos de pvc rígido, através de análise em resultados experimentais, obtidos diretamente na indústria. De forma objetiva, foi descrito o processo de fabricação, bem como as matérias primas utilizadas e os ensaios , utilizados durante a fabricação. Foram realizados vários ensaios em doze lotes, de seis tubos de diferentes bitolas, produzidos nas plantas de Penápolis(S.P) e Simões Filho(BA), do grupo Asperbrás, de acordo com normas ditadas pela ABNT. Para cada produto (tubo), foram produzidos dois lotes distintos, um com estabilizante a base de chumbo e o outro com estabilizante a base de cálcio-zinco. A princípio, manteve-se iguais, todas as outras características de processamento, permitindo assim uma melhor análise dos resultados obtidos. Os dados obtidos, depois de analisados, permite-nos concluir,que sob o ponto de vista técnico, essa mudança é inteiramente satisfatória, pois conseguimos uma melhora significativa nas propriedades físicas do produto final, aumento de produtividade em torno de 6%, diminuição do índice de lotes rejeitados e por fim a eliminação definitiva do chumbo nas formulações das blendas, atendendo os apelos dos ecologistas e ambientalistas. Já sob o ponto de vista econômico, ficou claro, que, considerando apenas os custos diretos dos dois produtos, os estabilizantes a base de cálcio-zinco, são mais caros cerca de 25%, quando comparados aos de chumbo. Porém, quando utilizados em formulações de compostos, em quantidades adequadas ao processo, juntamente com os outros componentes, essa diferença pode praticamente se anular, viabilizando economicamente a tal mudança.

Palavras-chave : Tubos de pvc, estabilizantes térmicos, chumbo, cálcio-zinco

ABSTRACT

In this work it was discussed the viability of substituting the thermo stabilizer based on lead by the calcium-zinc in the production of rigid PVC pipes, through analysis of experimental results obtained directly from the industry. Briefly, it was described the process of manufacture, as well as, the materials and assays used during the manufacturer. It were performed several assays in twelve portions of six pipes with different diameters, produced in the factories of Penápolis, São Paulo and Simões Filho, Bahia, Brazil, belonging to the Asperbras group, according to the rules from ABNT (Brazilian Association of Technical Rules). For each product (pipe) it were produced two distinct groups, one with the stabilizing based on lead and the other with the calcium-zinc stabilizing. At first, it was maintained unchanged all the other characteristics of processing, allowing a better analysis of the obtained results. The analyzed data allow the conclusion that according to the technical point of view, this change is totally satisfactory, since we got a good improvement in the physical properties of the final product, as well as, an increase in the yield around 6%, in addition to a decrease in the non-acceptable portions. At the end, it was obtained a definitive elimination of lead in the blends formulations, in accordance to the ecologists and environmentalist's appeals. Under the economical point of view it has become clear, that if consider just the direct costs of the two products, the stabilizers based on calcium-zinc are around 25% more expensive when compared to the lead based products. However, when utilize the calcium-zinc stabilizers in appropriated formulations of compounds and in quantities appropriated to the process, with the other components, this difference is not significant, turning viable this new formulation.

Key words: PVC tubes, thermo stabilizers, lead, calcium-zinc.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Devido à crescente demanda na utilização de produtos derivados de PVC (Policloreto de Vinila), surgem constantemente, inúmeras inovações tecnológicas para atender o mercado de transformadores, tanto em equipamentos, como em matérias primas usadas na formulação dos compostos destinados aos mais variados fins, tais como perfis, embalagens, filmes, espalmados, fios e cabos, calçados, tubos e conexões, entre outros. Esta versatilidade do pvc, que o torna o segundo termoplástico mais consumido no mundo, é conseqüente da necessidade da resina ser formulada mediante a incorporação de aditivos, tornando suas características alteradas dentro de uma grande variedade de propriedades em função do produto final, indo do rígido ao flexível, e também, à sua adequação aos mais variados processos de transformação, podendo ser injetado, calandrado, extrudado, entre vários processos de moldagem.

Com isso, o mercado de aditivos sofreu profundas mudanças nos últimos anos, impostas tanto pelo avanço tecnológico dos polímeros em geral, requerendo produtos de melhor desempenho, como pela pressão de ecologistas e cientistas, preocupados em erradicar o uso de substâncias potencialmente prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. Graças a essa evolução, já é possível substituir metais pesados, como chumbo, bário e cádmio, encontrados com larga aplicação nos estabilizantes térmicos, indispensáveis em qualquer que seja a formulação usada, pois os mesmos são responsáveis pela estabilidade térmica do pvc, impedindo a sua degradação, quando submetido à ação do calor, durante o processo de transformação.

Este trabalho propõe fazer a **aplicação de estabilizantes térmicos à base de cálcio-zinco**, em substituição aos estabilizantes à base de chumbo, especificamente na fabricação de tubos de pvc rígido, atendendo as especificações das normas brasileiras que regem a produção de tais produtos nas áreas de infra-estrutura e predial, de acordo com a ABNT; avaliar experimentalmente direto na indústria, os resultados obtidos, analisando e concluindo daí a viabilidade desta migração.

Inicialmente, no capítulo 2, será apresentada uma revisão bibliográfica abordando assuntos relativos à necessidade imposta pelo mercado, da migração de estabilizantes à base de metais pesados, por estabilizantes de cálcio-zinco, como também, são descritos de uma maneira resumida, o Processo produtivo de tubos de PVC rígido, abrangendo suas principais matérias primas, equipamentos, controles do processo e de qualidade.

O capítulo 3 descreve os materiais, equipamentos e procedimentos experimentais, adotados na realização dos ensaios. No capítulo 4, são apresentados os resultados e as discussões sobre a substituição do estabilizante de chumbo pelo estabilizante de cálcio-zinco, nos compostos utilizados para fabricação dos lotes experimentais de tubos de pvc rígido e finalmente o capítulo 5 apresenta as conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A substituição dos estabilizantes térmicos usados nas mais diversas blendas de pvc rígido destinadas à fabricação de tubos, produzidos com metais pesados, como o chumbo, por estabilizantes à base de cálcio-zinco, é um assunto já tratado há alguns anos, porém a literatura disponível, trata apenas a importância dessa migração sob o ponto de vista das consequências danosas, causadas ao meio ambiente e à saúde humana, impulsionada por ambientalistas e ecologistas.

Segundo Reto, (2003), em uma matéria publicada na revista Plástico Moderno de setembro de 2003, na Europa o cádmio já foi proibido e existe um compromisso voluntário, sem força de lei, para se substituir o chumbo, até 2010. Hoje, apenas na Austrália o chumbo é proibido. No Brasil, apenas alguns setores proíbem o uso de metais pesados, como o setor médico e o automobilístico, porém os fabricantes de compostos e aditivos, em compromisso perante o Instituto do PVC (*), trabalham fazendo campanha junto aos transformadores, afim de convencê-los a substituir os estabilizantes a base de chumbo no pvc rígido (70% do mercado representado por tubos), bem antes dos europeus, não se esquecendo em momento algum que os cuidados com o uso desses metais pesados e as quantidades deles incorporadas aos tubos produzidos com tal produto seguem normas de segurança e saúde, não incorrendo em quaisquer problemas, como por exemplo possíveis taxas residuais que possam ficar na água, por nós consumida. Em outras publicações, pesquisadas, como de Johannes Kaufhold (2002), fica também evidente que a migração dos estabilizantes de chumbo por cálcio-zinco, é fortemente exigida a curto prazo, à nível mundial, pelos ambientalistas, devido as consequências deletérias ao ser humano, e ao meio ambiente, trazendo a evolução de algumas tendências desta migração, principalmente no mercado europeu.

Um dos fatores que impedem a migração do chumbo para o cálcio-zinco, é com certeza o custo deste produto, que segundo os fabricantes equivale a acrescer nos custos dos produtos finais do transformador o máximo de 3% em relação ao chumbo, que já se torna um valor de expressão, tendo em vista as margens baixíssimas no mercado atual de tubos.

O levantamento bibliográfico realizado mostra que, faltam publicações, que justifiquem ou não, de forma concreta, a viabilidade dessa migração de estabilizantes à base de metais pesados por cálcio-zinco, pelos transformadores de pvc rígido, proposta mundialmente pelos ambientalistas. Busca-se então nesse trabalho, através de testes experimentais realizados em uma empresa fabricante de tubos de pvc, em parceria com um grande fabricante de estabilizantes, fornecer uma contribuição no estudo desta viabilidade, bem como, tentar esclarecer de forma sucinta, possíveis dúvidas sobre o processo de fabricação de tubos de pvc rígido.

(*) Para representar toda a cadeia produtiva do PVC, em setembro de 1997 foi fundado o Instituto do PVC, que hoje é a maior entidade do mundo em número de sócios. É um novo conceito de gestão associativa e representa a união de todos os seus segmentos: fabricantes de matérias-primas e insumos, produtores de resinas, aditivos, fabricantes de equipamentos, transformadores e recicladores.

Essa entidade situa-se em um contexto socioeconômico mundial marcado pela ampliação do poder de influência dos novos valores culturais das sociedades e por rápidas e profundas transformações, em que fatos irreversíveis como globalização, formação de blocos econômicos e abertura de mercado impõem um urgente aumento da competitividade.

Por outro lado, a nova consciência ambiental vem exigindo uma postura mais atuante e participativa de todas as empresas envolvidas, pois somente com uma posição ecologicamente correta e com informações científicas e atualizadas será possível deixar clara a importância da indústria do PVC para a sociedade brasileira. Essa importância se reflete em benefícios como saneamento básico, habitação, economia de energia, conservação de recursos naturais, lazer, saúde e segurança

2.1 MATÉRIAS PRIMAS – (NUNES), 2002

2.1.1 POLICLORETO DE VINILA (PVC)

O PVC é o segundo termoplástico mais consumido em todo o mundo, com uma demanda mundial de resina superior a 27 milhões de toneladas no ano de 2001, sendo a capacidade mundial de produção de resinas de PVC estimada em cerca de 31 milhões de toneladas ao ano.

Dessa demanda total, 22% foram consumidos nos Estados Unidos, 22% nos países da Europa Ocidental e 7% no Japão. O Brasil foi responsável pelo consumo de cerca de 2,5% da demanda mundial de resinas de PVC. Esses dados mostram o potencial de crescimento da demanda de resinas de PVC no Brasil, uma vez que o consumo *per capita*, na faixa de 4,0 kg/hab/ano, ainda é baixo se comparado com o de outros países. A tabela 2.1 apresenta dados de consumo *per capita* de PVC em diversos países em comparação com o do Brasil.

Tabela 2.1 – Dados de consumo per capita de PVC em alguns países selecionados (Nunes, 2002).

País/Região	Consumo per capita (Kg/hab/ano) - 1998
Taiwan	44,6
Canadá	21,0
Estados Unidos	20,1
Europa Ocidental	14,4
Japão	13,4
Europa Oriental	4,9
Oriente Médio	4,3
Argentina	4,0
América do Sul	4,0
Brasil	3,9
Colômbia	3,8
México	3,1
China	2,2
Venezuela	1,3
África	1,1
Índia	0,8
Antiga URSS	0,6
Média Mundial	4,4

O PVC é o mais versátil dentre os plásticos. Devido à necessidade de a resina ser formulada mediante a incorporação de aditivos, o PVC pode ter suas características alteradas dentro de um amplo espectro de propriedades em função da aplicação final, variando desde o rígido ao extremamente flexível, passando por aplicações que vão desde tubos e perfis rígidos para uso na Construção Civil até brinquedos e laminados flexíveis para acondicionamento de sangue e plasma. A grande versatilidade do PVC deve-se, em parte, também à sua adequação aos mais variados processos de moldagem, podendo ser injetado, extrudado, calandrado, espalmado, somente para citar algumas das alternativas de transformação.

Uma vez que a resina de PVC é totalmente atóxica e inerte, a escolha de aditivos com essas mesmas características permite a fabricação de filmes, lacres e laminados para embalagens, brinquedos e acessórios médico-hospitalares, tais como mangueiras para sorologia e cateteres.

Exatamente por esses motivos, o PVC é utilizado nos mais diversos segmentos de mercado.

A figura 2.1 ilustra os principais mercados nos quais o PVC tem participação no Brasil.

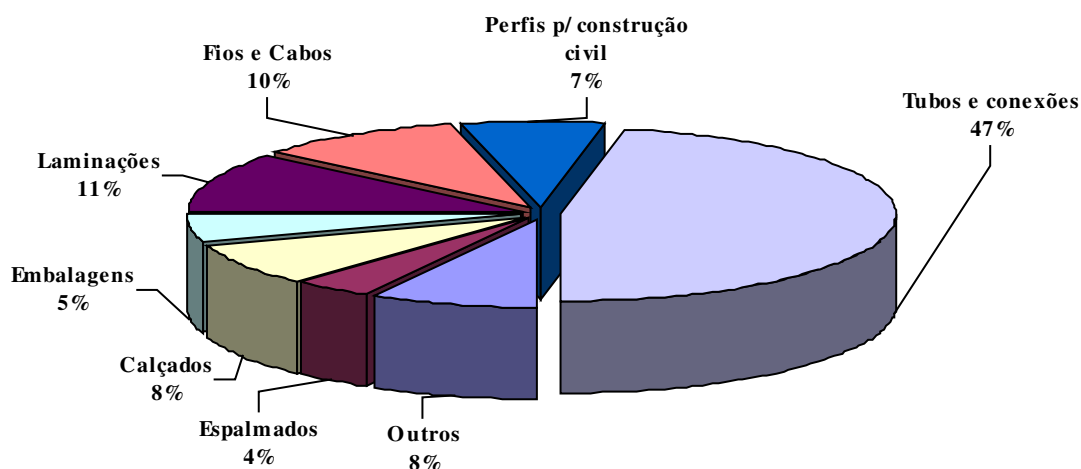


Figura 2.1 – Principais aplicações do PVC no Brasil em 2001, (Nunes, 2002)

As aplicações diretamente ligadas à Construção Civil (tubos e conexões, perfis e fios e cabos) somam aproximadamente 64% da demanda total de PVC no Brasil. Nessas aplicações o PVC mostra excelente relação custo-benefício se confrontado com a de materiais concorrentes como a madeira, metais e cerâmicas, além de apresentar vantagens facilmente perceptíveis em quesitos como comportamento antichama, resistência química e ao intemperismo, isolamento térmico e acústico, facilidade de instalação, baixa necessidade de manutenção e excelente acabamento e estética, dentre outras.

OBTENÇÃO DO PVC

Devido à sua estrutura molecular, o PVC é obtido a partir de 57% de insumos provenientes do sal marinho ou da terra (salgema), e somente 43% de insumos provenientes de fontes não renováveis como o petróleo e o gás natural. Estima-se que somente 0,25% do suprimento mundial de gás e petróleo são consumidos na produção do PVC. Vale ressaltar que existe tecnologia disponível para a substituição dos derivados de petróleo e gás pelos de álcool vegetal (cana de açúcar e outros). A figura 2.2 ilustra o processo de obtenção do pvc.

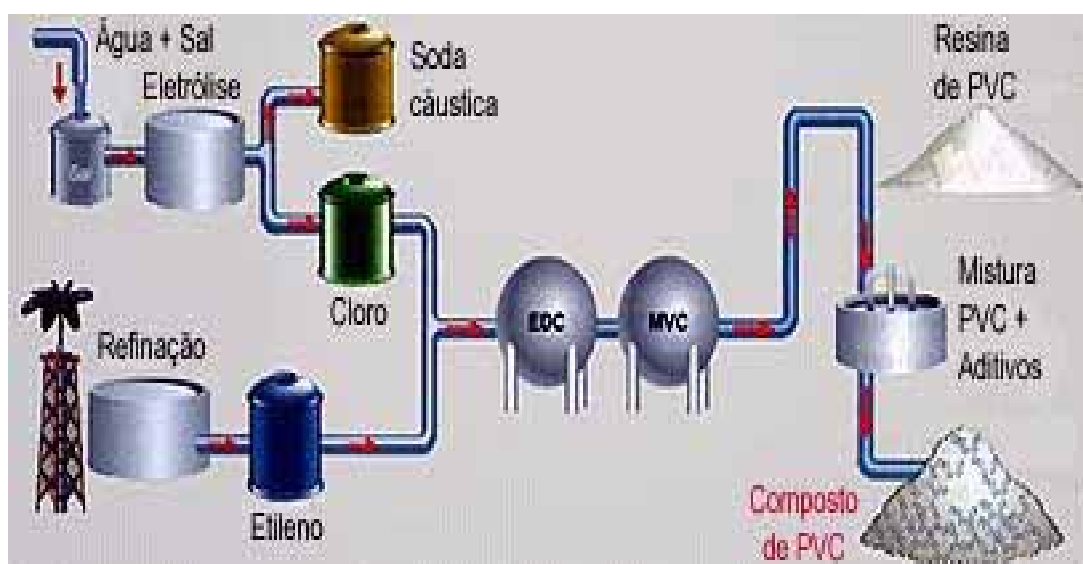


Figura 2.2 – Processo de obtenção do PVC

O cloro presente na estrutura molecular do PVC é proveniente do sal marinho ou salgema ou cloreto de sódio, uma fonte praticamente inesgotável de matéria-prima. Além do uso na produção do PVC, correspondente a cerca de 34% de sua demanda mundial, o cloro é utilizado em aplicações nas indústrias de cosméticos, purificação de água, papel e celulose, desinfetantes para piscinas, agricultura e indústria farmacêutica, dentre outras.

Devido a seu processo de obtenção, baseado na eletrólise de uma mistura de sal e água, o cloro deve ser utilizado em balanço com a soda cáustica. O processo ainda fornece hidrogênio, normalmente utilizado como combustível nas próprias plantas de eletrólise para geração de energia.

A presença do átomo de cloro em sua estrutura molecular torna o PVC um polímero naturalmente resistente à propagação de chamas, contribuindo para aplicações nas quais o retardamento à chama é item desejado, tais como em fios e cabos elétricos, eletrodutos e forros/revestimentos residenciais. Além disso, o grande teor de cloro presente na estrutura molecular do PVC torna sua molécula polar, o que aumenta sua afinidade e permite sua mistura com uma gama de aditivos muito maiores que a de qualquer outro termoplástico, possibilitando a preparação de formulações com propriedades e características perfeitamente adequadas a cada aplicação.

SÍNTESE DO PVC

Aproximadamente 80% do PVC consumido no mundo é produzido por meio da polimerização do monômero cloreto de vinila em suspensão. Pelos processos de polimerização em emulsão e micro-suspensão (10 a 15%) obtêm-se resinas que são empregadas basicamente em compostos líquidos. Polimerização em massa e polimerização em solução são outras técnicas também empregadas na obtenção do PVC, e possuem pouca representatividade no consumo total dessa resina.

PROCESSO DE POLIMERIZAÇÃO EM SUSPENSÃO

No processo de polimerização em suspensão, o MVC é disperso na forma de gotas de diâmetro entre 30 e 150 μ m, em meio a uma fase aquosa contínua, por agitação vigorosa e na presença de um colóide protetor, também chamado dispersante ou agente de suspensão.

Um iniciador solúvel no monômero é utilizado, de modo que a reação de polimerização ocorra dentro das gotas em suspensão, por um mecanismo de reações em cadeia vias radicais livres.

Plantas comerciais de polimerização em suspensão utilizam reatores de batelada cujo tamanho aumentou significativamente ao longo dos anos. As plantas originais da década de 1940 possuíam reatores de aproximadamente 5m³, os quais evoluíram para reatores acima de 50m³, ou cerca de 25 t de resina seca por batelada, alcançando reatores de até 200 m³ atualmente.

A reação de polimerização do cloreto de vinila é extremamente exotérmica, e a capacidade de remoção de calor do meio reacional é geralmente o fator limitante para redução

dos tempos de reação por batelada. Com o aumento do volume dos reatores essa limitação é a gravada, uma vez que a relação superfície/volume diminui significativamente.

Tentativas de aumento da capacidade de troca térmica no processo por meio da utilização de serpentinas geralmente não são viáveis, devido à dificuldade de limpeza e da possibilidade de incrustação, que tem efeitos adversos no produto final. Essa limitação geralmente é superada com o resfriamento do reator com água gelada ou por intermédio de condensadores de refluxo, os quais, por refluxo contínuo do monômero cloreto de vinila, faz uso de seu calor latente de vaporização para propósitos de resfriamento

O carregamento do reator geralmente é iniciado com água desmineralizada, aditivos de polimerização, dispersantes (na forma de solução) e iniciadores. O reator é então selado e é feito alto vácuo para eliminar ao máximo o oxigênio do meio reacional, pois esse tem efeitos adversos no processo de polimerização, aumentando o tempo de reação e afetando as propriedades do produto final.

Após o vácuo no reator, faz-se a carga do monômero cloreto de vinila liquefeito e o aquecimento da camisa do reator com vapor sob pressão, para início da reação. Uma vez que a reação é iniciada, o reator deixa de ser aquecido e passa a ser resfriado, pois a reação é exotérmica. A temperatura de reação, geralmente na faixa entre 50°C e 70°C, é o principal parâmetro para definição do peso molecular da resina, geralmente expresso pelo valor K.

Sendo a conversão da reação atingida, geralmente na faixa dos 75 aos 95%, a reação é encerrada e o monômero remanescente é recuperado. O polímero obtido na forma de lama, passa então, por um processo de *stripping*, no qual o monômero cloreto de vinila remanescente é extraído por meio da aplicação de vácuo e temperatura, tanto em reatores comuns quanto em torres, nas quais a lama é submetida a contracorrente de vapor sob pressão. A lama passa, então, por um processo de concentração via centrifugação, e a torta úmida resultante são secas em secadores de leito fluidizadas. A resina seca é então peneirada para retenção de partículas extremamente grosseiras e armazenada em silos, para posterior acondicionamento nos diferentes sistemas de distribuição aos clientes, tais como sacaria de 25 kg, *big bags* de 1,2t ou mais e mesmo caminhões-silo.

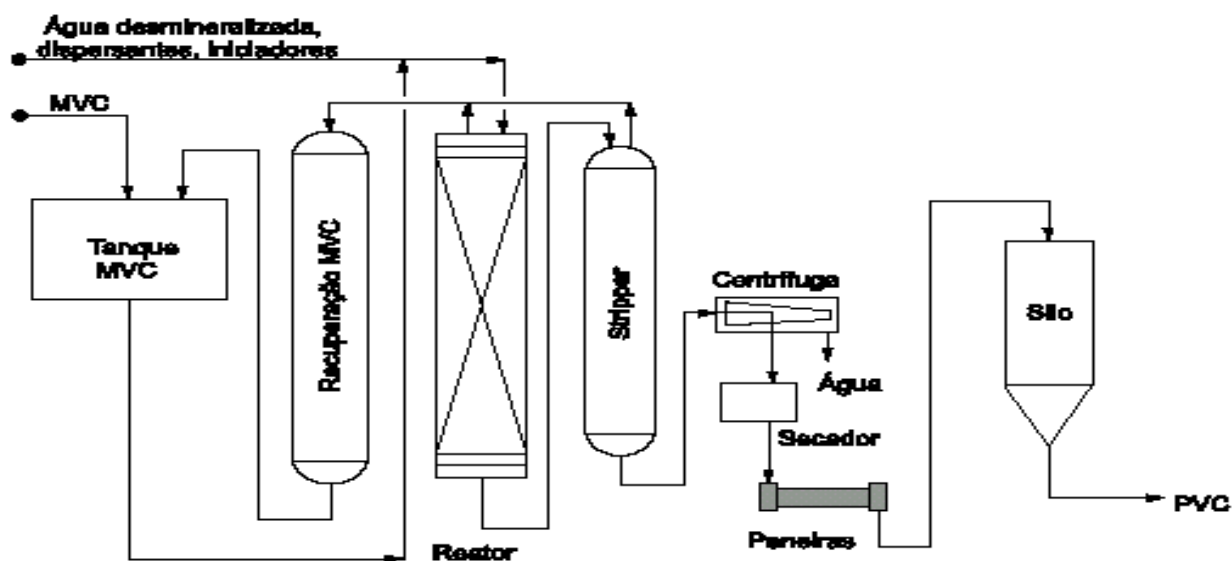


Figura 2.3 – Representação esquemática do processo de polimerização em suspensão, (Nunes , 2002)

ASPECTOS MORFOLÓGICOS DAS RESINAS DE PVC OBTIDAS PELOS PROCESSOS DE POLIMERIZAÇÃO DE SUSPENSÃO

O termo morfologia refere-se ao modo como todas as estruturas físicas das partículas de uma resina de PVC encontram-se organizadas.

Essa morfologia de partícula, definida durante a polimerização, influencia fortemente a processabilidade e as propriedades físicas do produto final.

As resinas de PVC obtidas pelo processo de polimerização em suspensão e massa consistem em partículas com diâmetro normalmente na faixa de 50 a 200 μ m, partículas essas de estrutura interna bastante complexa. Essa faixa de tamanho de partícula é adequada tanto do ponto de vista das dificuldades de manipulação e riscos ocupacionais, no caso de partículas muito pequenas, quanto no sentido de evitar instabilidades na suspensão (a ponto de solidificar a carga no reator), no caso de partículas muito grosseiras. A figura 2.4 mostra uma partícula ou grão de PVC obtido pelo processo de suspensão tal como aparece no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Se essa partícula é cortada de modo a revelar sua estrutura interna, tal como

mostrado na micrografia da figura 2.5, observa-se que seu interior é formado de aglomerados de pequenas partículas com diâmetro na faixa de $1\mu\text{m}$, chamadas de *partículas primárias*.

Observa-se facilmente na figura 2.5 que o volume entre essas partículas primárias é o responsável pela porosidade da resina, característica essa que torna o processo de incorporação dos aditivos ao PVC possível, por meio da ocupação desse volume livre.

A figura 2.6 mostra uma partícula de PVC na qual sua membrana apresenta aberturas pelas quais se pode visualizar sua estrutura interna. Os aglomerados de partículas primárias e os vazios responsáveis pela porosidade da resina são facilmente observados. Espera-se que resinas de partículas com esse aspecto absorvam muito mais facilmente os aditivos durante o processo de preparação do composto, uma vez que o acesso ao interior da partícula é facilitado.

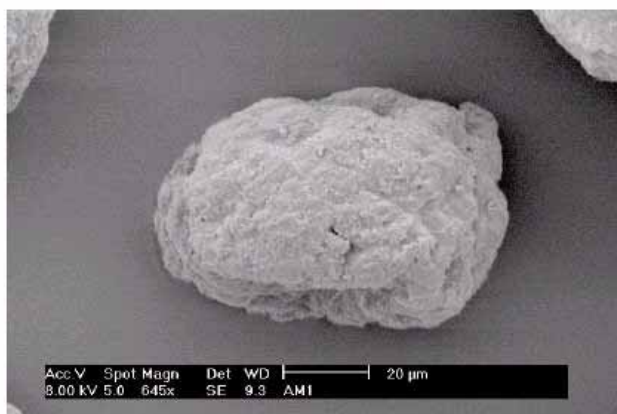


Figura 2.4 - Partícula de pvc obtido pelo processo de polimerização em suspensão visualizada no microscópio eletrônico de varredura (MEV), aumento de 645x, (Nunes, 2002)

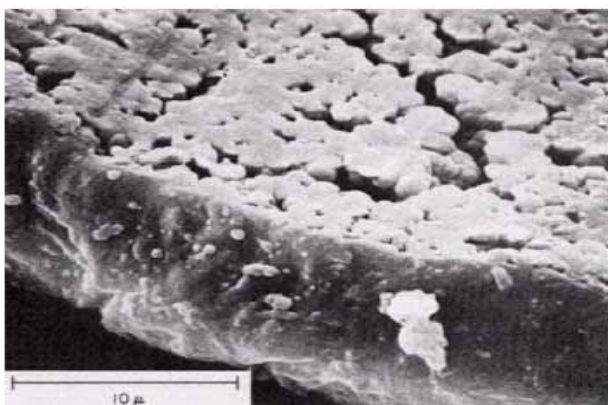


Figura 2.5 - Micrografia de uma partícula de pvc, cortada de modo a exibir sua estrutura interna, bem como a porosidade interna da resina, (Nunes, 2002)

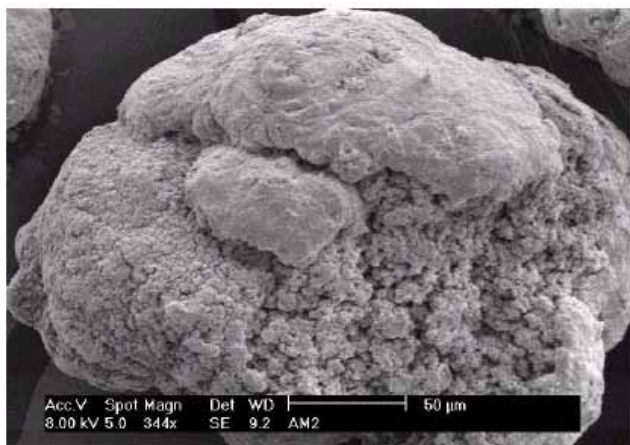


Figura 2.6 - Micrografia de uma partícula de pvc, na qual a membrana apresenta aberturas que permitem acesso à estrutura interna da mesma, (Nunes, 2002)

CARACTERÍSTICAS DO PVC

Tabela 2.2– Principais propriedades do PVC rígido

Propriedade	Valor
massa específica	1,45 g/cm ³
temperatura de amolecimento Vicat	> 70°C
módulo de elasticidade	2250 a 3300 Mpa
Coeficiente linear de dilatação térmica (-30 a 50)°C	60 a 80x10 ⁻⁶ /°C
condutividade térmica	0,15 W/mk
resistência na tração	≥ 700 kj/m ²
resistência à tração	42 Mpa
alongamento na ruptura	≥ 150%

O PVC E O FOGO

Os produtos de PVC rígido caracterizam-se pelo seguinte comportamento em relação ao fogo:

- são auto-extingüíveis, ou seja, se houver a inflamação de um produto de PVC, o fogo se extinguirá sem que haja a necessidade de combate por meio de extintores;
- a inflamação é difícil;
- são de baixa combustibilidade (combustível é qualquer elemento que alimente o fogo). O PVC, além de não ser um bom alimentador do fogo, possui a característica de somente

queimar quando colocado em contato direto com a chama. Não há queima do PVC por efeito do calor ou de faíscas;

- não ocorre propagação superficial da chama, a não ser em presença de uma chama externa: este comportamento, associado ao fato do PVC ser auto-extingüíveis, implica que o fogo combatido diretamente nos materiais combustível propagadores do fogo ao PVC, já que eliminada a chama, o fogo no PVC se apagará;
- o gás resultante da combustão, o qual contém ácido clorídrico (HCl), possui um odor característico que serve de alerta aos ocupantes.

O PVC E O CALOR

A degradação térmica do PVC puro se inicia em temperatura entre 100°C e 120°C. Como na maioria dos processos de transformação (extrusão, injeção, etc.), atingem-se temperaturas superiores a 120°C, o composto de PVC é acrescido de estabilizantes térmicos.

O processo degradativo devido à ação do calor é evidenciado, no início, pelo aparecimento de cor, tornando o plástico amarelado. Em face do exposto, os produtos de PVC devem ser utilizados em aplicações cuja faixa de temperatura esteja entre -10°C e 70°C. Quando necessárias propriedades específicas fora desta faixa, compostos de PVC especialmente aditivados são necessários.

O PVC E O MEIO AMBIENTE

Ao se discutir meio ambiente inevitavelmente se estará falando de problemas: super população, redução de reservas naturais, chuva ácida e efeito de estufa.

Algumas pessoas falam que os plásticos são um dos problemas. Mas há outro ponto de vista: plásticos não são parte do problema, mas sim da solução. Eles substituem ou suplementam a escassez de materiais naturais, podem ser feitos para encontrar requisitos específicos e são ecologicamente positivos. Entre esses plásticos, o PVC ocupa posição de destaque.

Sua versatilidade e durabilidade tem tornado o PVC um dos materiais sintéticos de maior sucesso atualmente em todo mundo.

O PVC começa resolvendo problemas desde sua criação, fazendo eficiente uso de suas matérias primas, porque utiliza menos de 50% de derivados de petróleo e mais da metade da sua composição é cloro, obtido do sal comum.

Durante a obtenção do PVC, o cloro se converte num componente quimicamente insípido, resultante da sua combinação com o carbono e o hidrogênio na formação de um material sólido totalmente inerte e inócuo: PVC.

O PVC É RECICLÁVEL

Os produtos de PVC pós-consumo são recicláveis e atualmente no Brasil existem muitas empresas que se dedicam a sua reciclagem.

Como exemplo de produtos elaborados com PVC reciclado temos solados de calçados e laminados flexíveis para revestimento de pastas.

O PVC não é um produto biodegradável, o que é fundamental para as suas utilizações onde o PVC é descartável, ele é inerte no solo e os aditivos utilizados na composição do composto são insolúveis, não poluindo, portanto, os lençóis freáticos ou o solo.

CONSUMO ENERGÉTICO

O consumo energético na produção e transformação do PVC é um dos mais baixos, se comparado com o de outros materiais utilizados na construção civil. O consumo bruto para a fabricação do PVC representa, em média, menos de 0,25% da quantidade de petróleo bruto extraído no mundo.

DURABILIDADE DO PVC

Em linhas gerais, a vida útil dos materiais de PVC utilizados na construção civil é da mesma ordem da vida útil das edificações – mais de 50 anos, conforme alguns produtos da Alemanha, manufaturados no pós-guerra, têm demonstrado. Evidentemente, para a obtenção de uma durabilidade adequada, a formulação do PVC deve ser considerada levando-se em conta a degradação a que o produto final estará exposto. Por exemplo, aplicações externas como janelas, “sidings” e venezianas, sofrem a ação do intemperismo – sol, chuva, agentes poluidores do ar, atmosfera ácida ou marinha, entre outros.

Nesses casos, o composto deve conter aditivos que melhorem seu desempenho em relação a esses agentes agressivos, como por exemplo, os absorvedores de radiação ultravioleta.

Considera-se como degradação qualquer alteração sofrida pelo polímero durante a sua vida útil, tanto na aparência como nas propriedades químicas ou mecânicas. Os processos degradativos são classificados em função do agente agressivo.

FOTODEGRADAÇÃO

Juntamente com a ação do calor, a radiação ultravioleta também é um agente importantíssimo no caso do PVC. Analogamente ao que acontece no caso da degradação térmica, a radiação ultravioleta também provoca a coloração indesejada do polímero. Para se evitar esse tipo de degradação, são adicionados absorvedores de radiação ultravioleta ao PVC.

ÁGUA E VAPOR DE ÁGUA

A água e o vapor de água, bem como as atmosferas marítimas não são agentes agressivos ao PVC. É importante notar que a resistência do PVC à água implica, em muitos casos, em uma maior durabilidade dos sistemas em PVC em comparação com os produtos fabricados com outros materiais.

AGENTES QUÍMICOS

O PVC caracteriza-se por uma notável resistência química, o que o aponta como um dos melhores materiais para aplicação em ambientes sujeitos à poluição atmosférica e gases industriais. Sob esse aspecto, os únicos agentes químicos que merecem atenção em relação ao PVC são:

- solventes clorados, aromáticos, cetônicos e tetrahidrofurânicos (THF), os quais podem ser eventualmente encontrados em algumas tintas e vernizes, em certos produtos de tratamento de madeira, colas e mastiques;
- Alguns poluentes atmosféricos, tais como o sulfeto de hidrogênio (H_2S) que, em presença de certos aditivos, podem provocar alteração de cor.

É importante destacar que o PVC não é “atacado” pelos materiais de construção, tais como o cimento e a cal.

2.1.2 ADITIVOS UTILIZADOS NA FORMULAÇÃO PARA EXTRUSÃO DE TUBOS

A utilização prática das resinas de PVC salva em aplicações extremamente específicas, demanda sua mistura com substâncias, compostos ou produtos químicos variados, conhecidos como aditivos.

Definidas as características da resina de PVC adequadas ao processo de transformação e desempenho do produto final, incorporam-se os aditivos nas proporções suficientes para promover características específicas, tais como rigidez ou flexibilidade, transparência ou opacidade, ou, ainda, apresentar resistência à exposição ao intemperismo. Dentre os aditivos mais utilizados nos compostos de PVC rígido, devemos citar:

- ◆ Estabilizantes Térmicos
- ◆ Cargas (Carbonato de Cálcio)
- ◆ Lubrificantes
- ◆ Dióxido de Titânio
- ◆ Pigmentos

ESTABILIZANTES TÉRMICOS

A exposição do polímero PVC sem a adição de estabilizantes ao calor, pode, dependendo da intensidade e tempo de exposição, causar a liberação de moléculas de cloreto de hidrogênio (HCL), formando na estrutura do polímero duplas ligações, conjugadas ou alternadas ($-C = C-$), que fragilizam a cadeia polimérica, resultando em um rápido processo de degradação, revelado normalmente pela mudança de coloração para amarelo, até o marrom escuro. Esse processo é também conhecido como desidrocloração e a figura 2.7 mostra suas etapas.

O processo de degradação térmica do PVC, como visto, ocorre por meio de uma série de reações químicas em cadeia, catalisadas pelo HCL formado durante o próprio processo. Os estabilizantes térmicos atuam no composto de PVC capturando e estabilizando os íons cloreto formados, impedindo a propagação da reação e a conseqüente autocatálise do processo de degradação. Desse modo, o estabilizante térmico não atua no sentido de impedir a degradação do PVC, mas sim controla a formação de HCL, evitando que o processo de degradação atinja um estágio que comprometa o desempenho do produto final.

Os requisitos básicos para que uma substância química possua propriedades de estabilização térmica do PVC são:

- (a) capacidade de rápida captura e coordenação dos radicais cloretos instáveis, estabilizando-os por meio de ligantes de difícil cisão por calor e cisalhamento;
- (b) alta mobilidade em meio à massa polimérica;
- (c) inércia química diante do cisalhamento imposto nos processos de mistura e de processamento;
- (d) não diminuição de seu poder de atuação por outros compostos ou pelo contato com compostos inevitáveis em muitas aplicações, tais como a água;
- (e) custo, odor e toxicidade compatíveis com as aplicações a que se destina.

Os estabilizantes térmicos mais usados na produção de tubos rígidos são os compostos à base de chumbo e compostos à base de cálcio e zinco.

COMPOSTOS À BASE DE CHUMBO

Sistemas de estabilizantes baseados em chumbo são os mais antigos e os mais utilizados, proporcionando ao composto vinílico estabilidade de longo prazo satisfatória, boa relação custo-benefício e boas propriedades dielétricas, especialmente interessantes em compostos para isolamento de fios e cabos elétricos. Possuem desvantagens que limitam o seu uso em certas aplicações, entre as quais a impossibilidade de conseguir produtos transparentes, tendência de causar manchas quando em contato com ácido sulfúrico ou outros compostos contendo enxofre, além da presença do metal pesado.

Para contornar as dificuldades de formulação e mistura de compostos de PVC estabilizados com sais de chumbo, bem como os problemas de saúde ocupacional vinculado à exposição a esses produtos na forma de pó, foram desenvolvidos sistemas de estabilizantes baseados em complexos ou co-precipitados de chumbo.

Esses estabilizantes constituem-se da mistura de sais de chumbo e outros aditivos como lubrificantes e antioxidantes, na forma de microesferas ou pequenas escamas. Esses lubrificantes são dosados conforme o processo de transformação final do composto, oferecendo excelente perfil de plastificação, além de eliminar os pós de sais de chumbo, tornando o processo de mistura mais limpo e ocupacionalmente mais seguro.

Os compostos de chumbo não são aprovados para contato com alimentos e fármacos. Para tubos e conexões de PVC os compostos de chumbo são aprovados, sendo que se limita o teor de extraíveis em água de acordo com a NBR 8219 (Tubos e conexões de PVC – Verificação do efeito sobre a água):

- (a) na água da primeira extração, a quantidade máxima de chumbo é limitada a 1 ppm;
- (b) na água da terceira extração, a quantidade máxima de chumbo é limitada a 0,3 ppm.

Os principais estabilizantes térmicos baseados em chumbo são:

- carbonato básico de chumbo;
- sulfato tribásico de chumbo;
- sulfato tetrabásico de chumbo;
- fosfito dibásico de chumbo;
- estearato de chumbo;

São ainda utilizados alguns compostos baseados em chumbo, bário e cádmio, em aplicações em que se deseja maior estabilização à radiação UV, como em alguns perfis rígidos para exposição ao intemperismo.

A contribuição de tais estabilizantes, inibindo a ação do HCL, proveniente da degradação térmica do pvc pode ser entendida facilmente, pela representação abaixo:



R - radical orgânico ou inorgânico

PbCl₂ - sal solúvel inerte, de cor branca

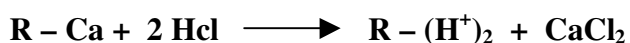
COMPOSTOS À BASE DE CÁLCIO E ZINCO

Diversos compostos baseados em sais de cálcio e zinco são utilizados como estabilizantes do PVC. Usualmente os metais são utilizados em conjunto, para que se tenha a mesma eficiência de estabilização ,apresentada pelo chumbo: o zinco possui forte efeito de captura do íon cloreto livre, porém o cloreto de zinco formado possui forte efeito catalisador da reação de desidrocloração do PVC. O cálcio, por sua vez, é bastante efetivo na estabilização desse cloro livre, a partir de uma reação de dupla troca que regenera o composto ativo de zinco e estabiliza o cloro na forma de cloreto de cálcio.,

Possuem aprovação para utilização em contato com alimentos e fármacos. Atualmente é crescente a utilização de estabilizantes baseados em cálcio e zinco em aplicações anteriormente exclusivas de compostos de chumbo, tais como compostos para fios e cabos elétricos, tubos, conexões e perfis rígidos, incluindo aqueles que requerem elevada resistência ao intemperismo, tais como perfis para esquadrias.

Em brinquedos, vedantes de embalagens, embalagens sopradas de água mineral e laminados flexíveis para bolsas de soro, sangue e seus derivados emprega-se, de longa data, compostos de cálcio e zinco como estabilizantes térmicos.

A contribuição de tais estabilizantes, inibindo a ação do HCL, proveniente da degradação térmica do pvc pode ser entendida facilmente, pela representação abaixo:



R - radical orgânico ou inorgânico

CaCl₂ - sal solúvel inerte, de cor branca

ZnCl₂ - sal solúvel inerte, de cor branca

CARBONATO DE CÁLCIO

O mineral carbonato de cálcio (CaCO_3) pode ser obtido a partir da exploração de diversas jazidas, dentre as quais se destacam as de calcita, calcáreo e mármore. O *carbonato de cálcio natural* é obtido a partir da moagem desses minerais e da classificação em peneiras específicas. Dependendo do grau de moagem e da classificação nas peneiras, é possível obter cargas com diferentes tamanhos de partícula, sendo que tamanhos de partícula inferiores são desejáveis em função das melhores propriedades mecânicas e acabamento superficial conferidos ao produto transformado.

Os carbonatos de cálcio de origem natural diferem entre si em função da estrutura cristalina, que influencia a morfologia das partículas. Carbonatos de cálcio naturais obtidos do calcáreo, especialmente aqueles de origem fóssil (cretáceo), possuem partículas de fácil dispersão excelente acabamento superficial do produto final, porém coloração extremamente variável. Já os carbonatos de cálcio obtidos da moagem de calcitas possuem partículas de morfologia menos favorável à dispersão e ao acabamento superficial em relação aos cretáceos.

Os carbonatos de cálcio obtidos a partir da moagem de mármore destacam-se pela excelente brancura. Deve-se lembrar que, independentemente da origem, os carbonatos de cálcio naturais sofrem variação de coloração dependendo da fonte ou do ponto da jazida.

Os *carbonatos de cálcio precipitados* são obtidos quimicamente por meio da dissolução dos tipos naturais, seguidas de precipitação controlada. Durante o processo de dissolução, as impurezas contidas no material de partida são separadas do carbonato de cálcio, que ao final do processo é bastante puro, branco e de coloração bem controlada. O processo de precipitação permite o controle preciso das características finais do carbonato de cálcio, o que significa cargas de tamanho de partícula normalmente menor e de distribuição de tamanho mais estreita que as dos carbonatos de cálcio naturais.

Tanto os carbonatos de cálcio naturais quanto os precipitados podem ter suas partículas revestidas com substâncias que conferem características hidrofóbicas à superfície das mesmas. Normalmente utiliza-se o ácido esteárico no revestimento das partículas, mas alguns estearatos metálicos (normalmente estearato de cálcio) e organotitanatos podem ser utilizados para esse fim.

Os carbonatos de cálcio revestido com ácido esteárico apresentam melhores características de fluxo do pó, dispersão mais fácil na massa polimérica, melhores características de fluxo do fundido e menor absorção superficial de óleo ou plastificante, além de conferir ao produto final melhor acabamento superficial e melhores propriedades mecânicas, em especial resistências à tração e ao impacto.

As principais características que devem ser observadas em carbonatos de cálcio, tanto no caso dos naturais quanto nos precipitados são:

- **tamanho médio de partícula:** quanto menor o tamanho de partícula do carbonato de cálcio, melhor é o acabamento superficial do produto final e melhores são as propriedades mecânicas. Por outro lado, a redução do tamanho de partícula prejudica as propriedades de fluxo, tanto no caso dos compostos de PVC (maiores viscosidades do fundido) quanto no caso das pastas (maior viscosidade das mesmas);
- **distribuição de tamanho de partícula:** a distribuição de tamanho de partículas é importante para o empacotamento do carbonato de cálcio no composto de PVC. Quanto maior o empacotamento, maior é a possibilidade de incorporação da carga sem prejuízo excessivo das propriedades de fluxo, tanto em compostos quanto em pastas;
- **tamanho máximo de partícula (*top cut*):** importante para as propriedades físicas e acabamento superficial do composto. A presença de partículas de tamanho excessivo em relação às demais pode prejudicar as propriedades mecânicas do composto, como a resistência ao impacto, ou ainda apresentar-se como defeitos superficiais indesejados;
- **grau de pureza:** normalmente avaliado por meio do teor de insolúveis em ácido clorídrico. Enquanto o carbonato de cálcio reage prontamente com o ácido clorídrico, solubilizando-se, a sílica não faz o mesmo, podendo ser facilmente quantificada. Quanto maior o teor de sílica em um carbonato de cálcio, maior é a sua dureza, o que pode levar ao desgaste prematuro dos equipamentos de processamento como roscas, cilindros e matrizes, além do próprio desgaste das hélices do misturador quando da preparação do composto;
- **cor:** quanto maior o índice de brancura do carbonato de cálcio, melhor a cor do composto final, uma vez que menor será o efeito negativo da carga. É importante também que o carbonato de cálcio, principalmente no caso dos naturais, apresente cor constante;

- **absorção de óleo:** o nível de absorção de óleo ou de plastificante de um carbonato de cálcio é importante, uma vez que é uma medida indireta de sua área superficial. Quanto menor o tamanho de partícula, maior a área superficial de um material particulado qualquer, ou seja, maior a necessidade de óleo ou plastificante para “molhar” completamente a superfície de todas as partículas. Essa característica é importante na seleção de carbonatos de cálcio para utilização em compostos flexíveis e pastas, aplicações essas que devem preferencialmente utilizar carbonatos de cálcio com menor absorção de óleo. A absorção de óleo pode ser reduzida mediante o revestimento das partículas.

LUBRIFICANTES

Lubrificantes são aditivos que, quando adicionados em pequenas quantidades aos compostos de PVC, reduzem a barreira ao movimento relativo entre as moléculas do polímero e/ou entre a massa polimérica fundida e sua vizinhança, com mínima alteração de suas demais propriedades. Os efeitos dos lubrificantes na formulação de compostos de PVC deve ser sentido somente durante o processamento, sob efeito da temperatura e do cisalhamento.

Os lubrificantes para PVC podem ser diferenciados em três categorias principais:

- **lubrificantes internos:** são aqueles cuja função é reduzir o atrito entre as cadeias poliméricas do PVC, facilitando o fluxo do polímero fundido. Para que uma substância química seja um lubrificante interno para o PVC, deve apresentar alta compatibilidade e miscibilidade com o mesmo, uma vez que deve interagir intimamente com as cadeias do polímero. Nessa categoria destacam-se os ésteres de ácidos graxos de álcoois polivalentes, os álcoois graxos e os ésteres de álcoois graxos, em que predominam grupos polares bastante compatíveis com o PVC.

São empregados quase que exclusivamente em compostos rígidos, uma vez que nos flexíveis o próprio plastificante atua como lubrificante interno.

- **lubrificantes externos:** são aqueles cuja função é facilitar o movimento relativo entre a massa polimérica e as superfícies metálicas dos equipamentos de processamento, tais como roscas, cilindros e matrizes. Para que uma substância química possa ter efeito de lubrificação externa do PVC, deve possuir características de baixa compatibilidade com o polímero: uma vez que a interação com as cadeias do PVC é menor, a tendência do lubrificante externo é migrar para as superfícies da massa polimérica, reduzindo o atrito desta com as superfícies com as quais mantém contato. Os lubrificantes externos são basicamente substâncias apolares ou de baixa polaridade, tais como os ácidos graxos (dentre os quais se destaca particularmente o ácido esteárico ou estearina), alguns sabões metálicos (estearatos metálicos como os de cálcio, zinco, chumbo, dentre outros), algumas amidas graxas e os hidrocarbonetos de alto peso molecular, como as parafinas e ceras de polietileno.

Os lubrificantes internos, pela redução do atrito entre as moléculas do PVC, contribuem para um menor grau de degradação térmica durante o processamento. A presença desses lubrificantes nas formulações de PVC rígido reduz ainda a temperatura do material fundido, uma vez que o calor gerado pelo atrito interno entre as moléculas é também reduzido. Devido à maior compatibilidade com as moléculas do PVC, atuam como *pseudoplastificantes*, reduzindo discretamente as forças de atração entre as cadeias poliméricas. Esse efeito de pseudoplastificação facilita o processo de gelificação e fusão do composto no equipamento de transformação, e o excesso de lubrificação interna pode ainda reduzir sensivelmente a temperatura de amolecimento Vicat do composto.

Os lubrificantes externos, uma vez que atuam reduzindo o cisalhamento entre as partículas do PVC e as superfícies metálicas dos equipamentos de processamento, reduzem o trabalho mecânico e conseqüentemente retardam a gelificação e a fusão do composto. Possuem também efeito no acabamento superficial dos produtos moldados.

Uma vez que os efeitos dos lubrificantes internos e externos sobre o processo de gelificação e fusão do composto são inversos, um balanço adequado de suas quantidades na formulação do composto é necessário, de modo que se consiga um perfil adequado de plastificação do mesmo na transformação, sem excessiva exposição do polímero ao calor e cisalhamento e sem efeito negativo no acabamento do produto final.

A tabela 2.3 mostra as principais diferenças entre os lubrificantes internos e externos utilizados em formulações de PVC.

Tabela 2.3 - Principais diferenças entre lubrificantes internos e externos utilizados em formulações de PVC. (Nunes, 2002).

Efeito em	Interno	Externo
Redução da adesão PVC/metálico	Baixo	Alto
Fricção interna	Alto	Baixo
Plastificação	Acelera	Retarda
Potência necessária no processamento	Reduz	Reduz
Transparência	Sem influência	Influi negativamente
Brilho superficial	Melhora	Não favorável em excesso

PIGMENTOS

Muitas das aplicações do PVC requerem o uso de pigmentos por razões estéticas e/ou para melhorar sua estabilidade à radiação UV, melhorando assim sua resistência ao intemperismo.

Pigmentos e corantes são distinguidos primariamente pela solubilidade no meio de aplicação. Pigmentos são insolúveis no polímero, enquanto os corantes são completamente solubilizados quando misturados ao polímero fundido.

Como no caso de qualquer outro aditivo utilizado na formulação do PVC, a seleção dos pigmentos deve levar em conta a compatibilidade com os demais aditivos utilizados no composto e a aplicação final do produto.

Os pigmentos podem ser utilizados em diferentes formas, sendo a forma mais comum o pó fino e seco, muitas vezes com superfície tratada. Também podem ser incorporados à formulação na forma de mistura seca, pasta, líquido ou *masterbatch*, sendo que em todas essas formas os pigmentos encontram-se pré-dispersos, ou seja, suas partículas já passaram por um processo prévio de desagregação com conseqüente desenvolvimento da cor.

Todas essas formas de apresentação trazem como vantagens, em relação à utilização direta dos pigmentos em pó, a maior precisão de dosagem, bem como maior facilidade e limpeza na incorporação à formulação.

Masterbatch é a denominação comum dada a dispersões de pigmentos ou corantes em resina de PVC/aditivos, fornecidas na forma granulada, para incorporação direta em compostos de PVC também granulados. Uma vez que os grânulos do *masterbatch* são de tamanho compatível com o do composto granulado, permitem fácil incorporação, normalmente por meio de misturadores simples do tipo tambor, ou por dosadores montados diretamente no funil de alimentação do equipamento de processamento. A dosagem de *masterbatches* normalmente empregada em compostos de PVC situa-se ao redor de 2%, uma vez que a partir desse valor de concentração consegue-se boa distribuição dos grânulos do mesmo em meio aos grânulos do composto.

Alternativamente os *masterbatches* podem ser fornecidos na forma de microesferas, nas quais os pigmentos e/ou corantes encontram-se dispersos em misturas de ceras. Esses *masterbatches* são indicados para incorporação em compostos na forma de pó, diretamente nos equipamentos de processamento, por meio de dosadores montados no funil de alimentação.

Podem também ser utilizados como alternativa à incorporação de pigmentos e/ou corantes na forma de pó, no processo de formulação e mistura de compostos de PVC.

A dosagem desses *masterbatches* é bastante variável, em função dos pigmentos e/ou corantes utilizados na formulação da cor, variando entre 0,2 e 1% normalmente. Especial atenção deve ser dada à formulação do composto a ser colorido com esse tipo de *masterbatch*, especialmente no balanço de lubrificantes internos e externos, visto que ocorre uma dosagem adicional de lubrificantes em virtude da mistura de ceras utilizadas como veículo dos pigmentos/corantes.

Alguns fatores devem ser levados em conta na escolha de um pigmento para utilização em formulações de PVC:

- cor desejada, ou seja, cor principal e sub-tom;
- limitações nas condições de processamento requeridas, como por exemplo temperatura máxima de exposição, resistência ao meio ácido, dentre outras;
- afinidade com os demais aditivos utilizados na formulação do composto, particularmente estabilizantes térmicos (para evitar manchamento) e plastificantes (para evitar migração e “sangramento”);
- aplicação final: resistência ao UV, estabilidade quando exposto ao intemperismo, resistência química, dentre outras;
- custo do sistema de coloração.

Quanto à natureza, os pigmentos podem ser orgânicos ou inorgânicos.

Tabela 2.4 - Principais diferenças entre pigmentos orgânicos e inorgânicos, (Nunes, 2002)

Característica	Orgânicos	Inorgânicos
Poder tintorial	Alto	Baixo
Brilho	Alto	Médio a baixo
Transparência	Maior transparência	Maior opacidade
Peso específico	Menor	Maior
Resistência térmica	Baixa	Alta
Resistência química	Baixa	Alta
Resistência à luz	Em geral é menor	Em geral é maior
Custo	Maior	Menor

Orgânicos: diazo derivados da benzidina, diazo condensados, monoazo insolubilizados, compostos policíclicos como indantrona, dioxazina, tioíndigo, perileno, perinona e quinacridona, isoindolinonas, ftalocianinas, negros de fumo.

Inorgânicos: selenetos e sulfetos de cádmio, cromatos e molibdatos de chumbo, azul ultramar, óxidos de ferro e cromo, dióxido de titânio. Com relação ao dióxido de titânio é importante lembrar que existem duas formas cristalinas: anatase e rutilo, sendo este último preferencial para pigmentação do PVC e outros plásticos em função da maior estabilidade à radiação UV.

DIÓXIDO DE TITÂNIO

Dióxido de titânio (TiO_2) é, hoje, o pigmento branco mais importante utilizado na indústria do plástico. É amplamente utilizado porque possui alto poder de espalhamento da luz visível, conferindo brancura, brilho e cobertura ao material plástico ao qual é incorporado.

Quimicamente é insolúvel e estável à temperatura, mesmo em condições severas de processamento.

Ao contrário dos pigmentos coloridos, que conferem cor ao substrato por meio de fenômenos de absorção de parte do espectro de luz visível, o dióxido de titânio e outros pigmentos brancos conferem cor por meio dos fenômenos de refração e difração da luz. Esses fenômenos fazem com que praticamente toda a luz incidente sobre o produto, exceto uma pequena parte que é absorvida pelo substrato ou pelo próprio pigmento, sofra desvio de sua trajetória. Quanto maior o teor de pigmento branco, ou maior o seu *índice de refração*, maior será o grau de desvio da trajetória da luz, chegando a ponto de retornar para a superfície do produto, fazendo-o parecer branco e opaco.

Uma das características mais importantes do dióxido de titânio enquanto pigmento é sua resistência ao intemperismo, e sua durabilidade é uma propriedade de desempenho que depende da interação das partículas do dióxido de titânio com a radiação ultravioleta incidente sobre o polímero. Quando utilizado em teores adequados e desde que tratado superficialmente, o dióxido de titânio pode absorver por completo a radiação ultravioleta incidente sobre o polímero, convertendo-a em energia térmica e protegendo o mesmo da ocorrência de reações de degradação fotoquímica.

2.1.3 PREPARAÇÃO DE MISTURAS DE RESINAS DE PVC RÍGIDO COM ADITIVOS

A mistura da resina de PVC com os aditivos é normalmente realizada em misturadores intensivos do tipo bate-deira, também denominados turbo misturadores ou misturadores de alta velocidade.

Esses misturadores consistem basicamente em uma câmara cilíndrica em cujo fundo são instaladas pás de mistura, para as quais cada fabricante define uma geometria particular. As pás de mistura são movimentadas por motores elétricos potentes, capazes de fazê-las girar em altas velocidades, necessárias para efetiva agitação do sistema e mistura dos componentes. A câmara cilíndrica (Panela) tem em seu topo uma tampa dotada de aberturas pelas quais os aditivos podem ser inseridos conforme a sequência de mistura desejada.

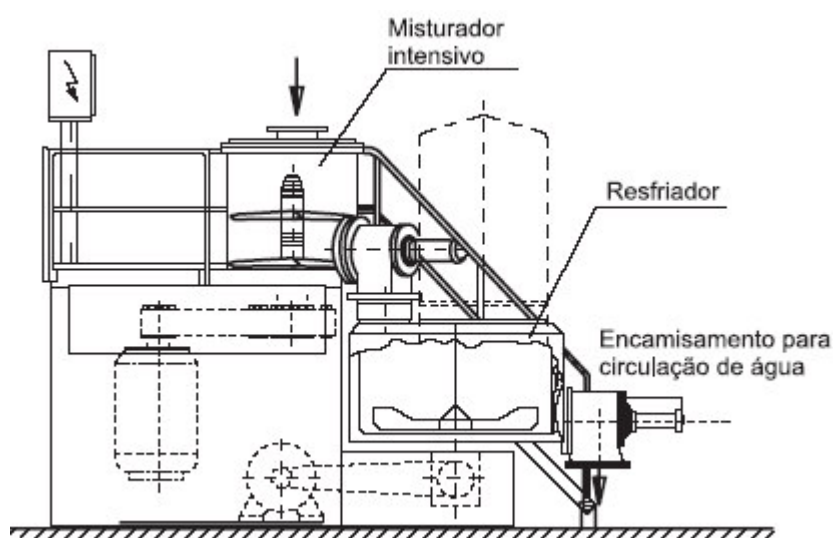


Figura 2.8- Conjunto misturador intensivo/resfriador utilizado na preparação de compostos de pvc. (Nunes, 2002).

As paredes da câmara do misturador, bem como as pás de mistura e demais componentes metálicos que entram em contato com a resina devem ser de aço inox, para reduzir ao mínimo a tendência de adesão de ingredientes da formulação durante o processo de mistura.

As conseqüências da utilização dos misturadores intensivos para a preparação de compostos de PVC são:

- (a) excelente qualidade e homogeneidade da mistura;
- (b) os ciclos de mistura são normalmente curtos, com altas taxas de produção;
- (c) obtenção de misturas de excelente fluidez;
- (d) possibilidade de transporte pneumático da mistura sem segregação de componentes;
- (e) aumento da densidade aparente da mistura em relação aos componentes isolados, com possibilidade de aumento da produtividade dos equipamentos de processamento;
- (f) possibilidade de eliminação completa da umidade do composto.

O ciclo de mistura de compostos rígidos consiste em adicionar todos os componentes da formulação, depois de previamente pesados, automática ou manualmente e enviá-los através de algum sistema de transporte (pneumático, a vácuo ou manual), até o misturador, iniciando-se assim a mistura em alta velocidade, até que a temperatura da massa atinja por atrito entre 120 e 130°C, condição essa necessária para que todos os componentes lubrificantes da formulação (estabilizantes térmicos e lubrificantes sólidos) sofram fusão, revestindo por completo as partículas de resina. Em seguida, após atingida a temperatura acima, acusada por um termopar, instalado na parede da “panela” do misturador ; a mistura é então descarregada ,automática ou manualmente, em um outro reservatório de aço inox (resfriador), com dupla parede com circulação de água à temperatura ambiente, com pás em seu interior,que giram agora em baixa velocidade, fazendo o resfriamento do composto, até que se atinja uma temperatura em torno de 40 a 50°C.

Este composto na forma de pó, obtido após mistura da resina com os aditivos, muito conhecido como ***dry blend*** irá daí diretamente para alimentação dos equipamentos de transformação.

Os aditivos incorporados às formulações de PVC são tradicionalmente quantificados em partes por cem partes de resina (**pcr**), o que representa a quantidade em massa do aditivo em relação a 100 unidades de massa da resina. A conversão da proporção em pcr para porcentagem é simples e pode ser realizada como no exemplo da tabela abaixo:

Tabela 2.5 – Notações de Formulações em PCR e % (Nunes, 2002).

Formulação	pcr	% em massa
Resina de PVC	100	$^{100}/_{152,2} \times 100 = 65,7\%$
Aditivo 1	50	$^{50}/_{152,2} \times 100 = 32,9\%$
Aditivo 2	2	$^2/_{152,2} \times 100 = 1,3\%$
Aditivo 3	0,2	$^{0,2}/_{152,2} \times 100 = 0,1\%$
Total	152,2	$^{152,2}/_{152,2} \times 100 = 100,0\%$

A apresentação das formulações em pcr é mais prática e mais comum para os formuladores, uma vez que as quantidades de resina de PVC e de cada aditivo são facilmente calculadas para composição da mistura; a apresentação em porcentagem é pouco comum no dia-a-dia do formulador, mas é útil no cálculo de custos da composição.

2.2 EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA DE EXTRUSÃO DE TUBOS RÍGIDOS DE PVC

2.2.1 EXTRUSORAS

O processo de extrusão consiste basicamente em forçar a passagem do material por dentro de um cilindro aquecido de maneira controlada, por meio da ação bombeadora de uma ou duas roscas sem fim, que promovem o cisalhamento e homogeneização do material, bem como sua plastificação. Na saída do cilindro o material é comprimido contra uma matriz de perfil desejado, a qual dá formato ao produto, podendo o mesmo em seguida ser calibrado, resfriado, cortado ou enrolado.

Os principais componentes de uma extrusora são: motor elétrico(responsável pelo acionamento da rosca), conjunto de engrenagens redutoras (responsável pela capacidade de transferência de energia por meio de torque do motor para a rosca), cilindro, rosca, matriz, carcaça, painel de comando, resistências de aquecimento, ventiladores de resfriamento e bomba de vácuo. A fig 2.6 mostra uma representação de uma extrusora.

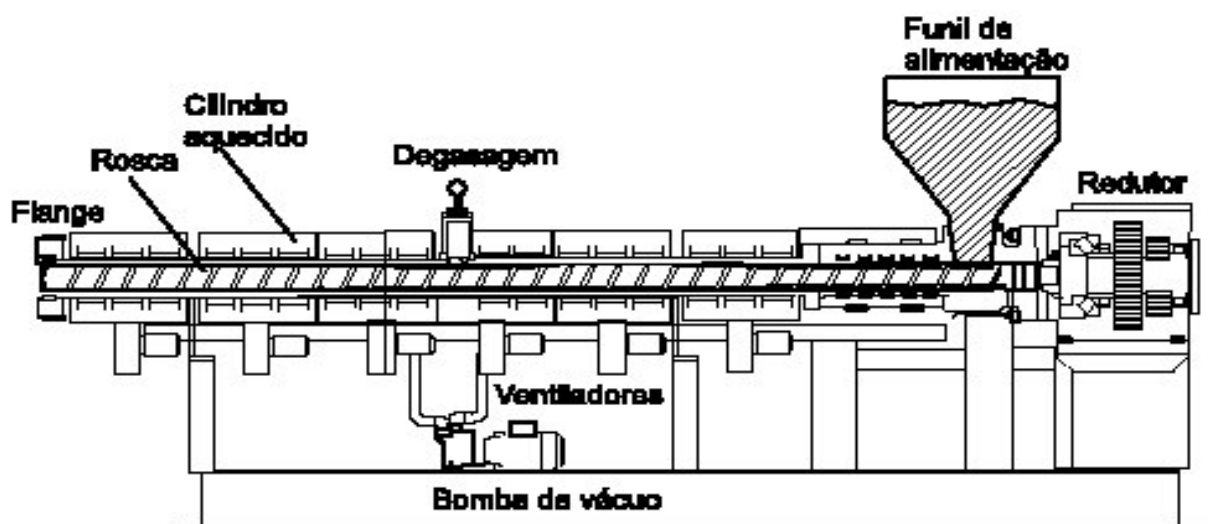


Figura 2.6 - Representação esquemática de uma extrusora (Nunes, 2002)

EXTRUSORAS DE ROSCA SIMPLES OU MONORROSCA

Extrusoras monorrosca são mais simples que extrusoras de rosca dupla, tanto do ponto de vista construtivo quanto em relação à sua operação. Em termos de geometria, as roscas podem ser divididas **em roscas de um estágio e roscas de dois estágios**. A rosca de um estágio pode ser considerada clássica e é geralmente dividida em três zonas:

- **zona de alimentação**, na qual o material é transportado do funil de alimentação para dentro do cilindro da extrusora. Essa zona corresponde a aproximadamente 20 a 25% do comprimento total da rosca e é caracterizada pela pouca compressão do material, ou seja, a região entre a rosca e o cilindro apresenta altura suficiente para permitir a alimentação constante do material. Ao longo da região de alimentação o composto é progressivamente aquecido, mas não é desejável o início de sua plastificação, uma vez que isso dificultaria a continuidade da alimentação da extrusora;
- **zona de compressão**, correspondente a aproximadamente 40 a 50% do comprimento total da rosca, sendo caracterizada pela progressiva redução da profundidade do canal (região entre a rosca e o cilindro). Nessa região da rosca o composto sofre todo o processo de plastificação e homogeneização;
- **zona de dosagem**, na qual o composto completamente fundido e homogeneizado é preparado para alimentar a matriz. A zona de dosagem é caracterizada pela altura constante da região entre a rosca e o cilindro, agindo como um dispositivo de bombeamento do composto fundido para a matriz.

As zonas da rosca são inter-relacionadas, ou seja, um projeto deficiente de qualquer das zonas muito provavelmente irá influenciar a eficiência da rosca inteira.

Uma rosca típica de um estágio é mostrada na figura 2.7.

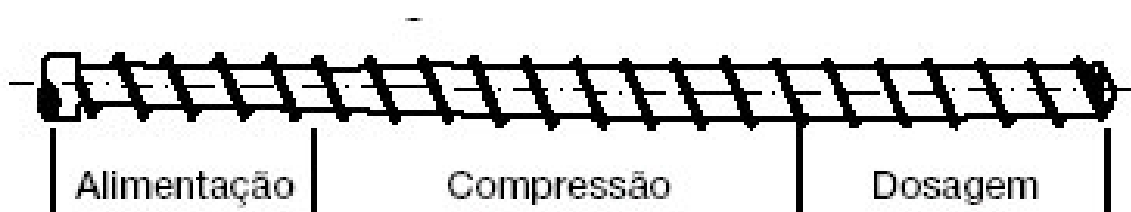


Figura 2.7 - Rosca de um estágio, (Nunes, 2002)

No caso de compostos cuja extrusão faz necessária a eliminação de voláteis, utilizam-se roscas de dois estágios. A rosca de dois estágios apresenta, normalmente em uma posição entre 50 e 70% de seu comprimento, uma seção de grande redução de compressão do material, conseguida por meio de aumento da profundidade do canal. Essa redução na compressão do material provoca a eliminação dos gases dissolvidos em meio à massa fundida. Na posição correspondente, o cilindro apresenta abertura (porta de degasagem) para saída dos gases, por meio de vácuo ou simplesmente à pressão atmosférica.

Como seu próprio nome indica, o perfil da rosca é dividido em dois estágios, sendo um anterior à seção de degasagem (alimentação e compressão) e um posterior à mesma (nova compressão e dosagem).



Figura 2.8 - Rosca de dois estágios, (Nunes, 2002).

Telas-filtro são utilizadas na extrusora monorrosca, ao final do cilindro e antes da matriz, com três funções básicas:

- (a) oferecer resistência ao fluxo de material, o qual é responsável pelo cisalhamento, plastificação e homogeneização do composto no interior do cilindro. Plastificação e homogeneização adequadas do composto somente são conseguidos mediante resistência ao fluxo do mesmo ao longo do cilindro, fazendo com que a rosca transfira energia mecânica ao material;
- (b) filtrar partículas contaminantes e mal plastificadas de material, as quais geram defeitos no produto extrudado;
- (c) mudar o perfil de fluxo espiral do composto fundido que, em função da memória elástica do material, pode provocar defeitos de acabamento no produto extrudado bem como provocar empenamento no mesmo.

EXTRUSORAS DE ROSCA DUPLA

Extrusoras de rosca dupla podem ser divididas em paralelas, nas quais as roscas apresentam o mesmo diâmetro ao longo de todo o seu comprimento, e cônicas, nas quais as roscas possuem diâmetro progressivamente reduzido ao longo de seu comprimento.

Com relação ao acionamento das roscas, as extrusoras paralelas podem ter roscas de acionamento contra-rotacional, ou seja, roscas de movimento de giro oposto, ou roscas de acionamento corotacional, nas quais o movimento de giro das roscas se dá no mesmo sentido. Extrusoras cônicas apresentam roscas de movimento contra-rotacional. A figura 2.9 mostra, esquematicamente, os dois tipos de extrusoras de rosca dupla.

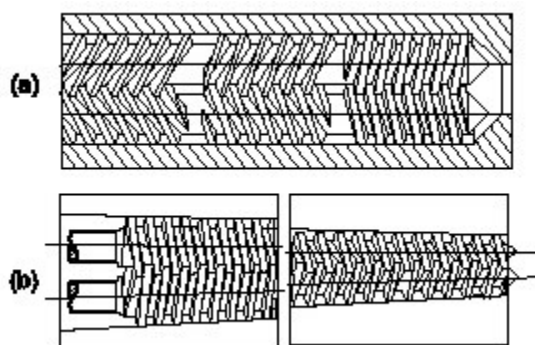


Figura 2.9 - Tipos de extrusoras de rosca dupla: (a) paralela; (b) cônica, (Nunes, 2002)

As extrusoras de rosca dupla, apesar do maior custo, apresentam uma série de vantagens em relação às extrusoras de rosca simples, as quais podem ser assim listadas:

- (a) maior eficiência na gelificação, plastificação e homogeneização do composto, em função da geometria de rosca mais elaborada, que permite a inclusão de uma série de elementos de mistura e cisalhamento ao longo de seu comprimento. Na prática, menores temperaturas de processamento podem ser utilizadas, ou seja, formulações mais econômicas podem ser elaboradas pela redução da necessidade de estabilizantes térmicos e lubrificantes no composto;
- (b) maior eficiência no transporte de massa, ou seja, menor variação da vazão de composto na matriz, com efeitos benéficos na precisão dimensional do produto final;

- (c) maior produtividade em função da possibilidade de operação em condições de processamento mais severas que as permitidas com as extrusoras de rosca simples;
- (d) menor consumo de energia em função da maior eficiência de transferência de energia mecânica.

2.2.2 MATRIZ OU CABEÇOTE

Com relação à matriz vale comentar que a mesma deve ser projetada para suportar altas pressões, principalmente nas máquinas de maior produtividade. O projeto deve ainda levar em conta a ausência de “pontos mortos” ou pontos de estagnação, ou seja, pontos de pouca ou nenhuma velocidade de fluxo do composto no interior da matriz.

Devido à sensibilidade inerente do PVC à temperatura, o mesmo pode sofrer degradação nesses pontos de retenção, causando problemas de marcas nos tubos e fazendo com que o processo tenha de ser interrompido com maior frequência para abertura e limpeza do ferramental, com impacto direto nos custos de produção devido à perda de horas produtivas e descarte de material devido à necessidade de novos ajustes na partida do equipamento.



Figura 2.10 – Cabeçote de extrusão

A figura 2.11 mostra esquematicamente uma matriz típica para extrusão de tubos de PVC. Observam-se os principais componentes da matriz: flange de acoplamento à extrusora, torpedo, aranha (ou cruzeta), macho e matriz, responsáveis pela conformação do composto fundido no formato do tubo.

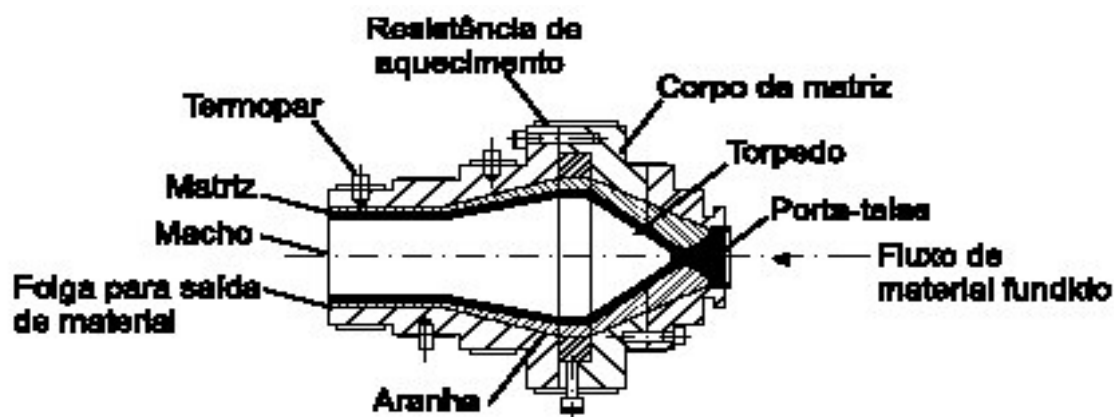


Figura 2.11 – Representação esquemática de uma matriz típica para extrusão de tubos de PVC (Nunes, 2002).

2.2.3 TANQUE DE CALIBRAÇÃO E RESFRIAMENTO

Após a massa extrudada, ter passado sob pressão na matriz, ela adquire o formato do tubo, já se pré determinando assim algumas dimensões do produto, como espessura de parede e diâmetro externo, que realmente é estabelecido, após o mesmo passar por um Calibrador de diâmetro externo, fig 2.12, que nada mais é do que um tubo mecânico com o diâmetro interno na dimensão do diâmetro externo do tubo a ser fabricado com ranhuras fresadas radialmente intercaladas em todo seu comprimento. Instalado em um tanque, chamado geralmente de tanque de calibração ou “banheira”, o calibrador, sofre uma pressão negativa gerada por uma bomba de vácuo e resfriamento simultâneo por água geralmente gelada, em torno de 10°C, fazendo com que o tubo enfim adquira o seu formato final, já no seu diâmetro pré estabelecido pelo calibrador na bitola desejada. A figura 2.13 mostra-nos um exemplo de tanque de calibração.

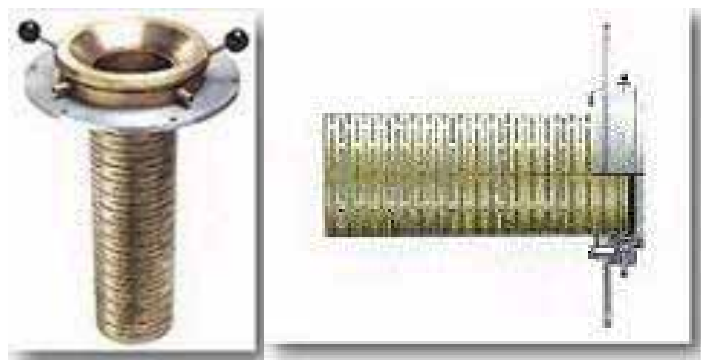


Figura 2.12 – Calibradores de diâmetro externo.



Figura 2.13 –Tanque de Calibração.

2.2.4 GRAVADORAS

São equipamentos que fazem a identificação do produto, através de uma gravação indelével, podendo ser mecânica através de roletes de gravação em baixo relevo, ou eletrônica, através de um gerador de caracteres por jato de tinta (*ink jet*). Esta gravação além de conter dados específicos do produto, tais como nome do fabricante, diâmetro externo, classe de pressão, norma que o rege, ainda nos permite colocar informações importantes, como data e hora de fabricação e número de lote, indispensáveis para o controle de processo e rastreabilidade do produto.



FIGURA 2.14 – GRAVADORA.

2.2.5 PUXADORES

Estes equipamentos têm como função principal tracionar o tubo durante seu processo contínuo de fabricação a uma velocidade constante, de uma forma sincronizada manual ou automaticamente com a velocidade de produção da extrusora em mt/h, garantindo assim ao processo uma regularidade, quanto à qualidade do produto final, mantendo sempre constante a espessura da parede e o peso do tubo produzido. São equipamentos robustos, equipados com esteiras tipo “caterpillar”, com motores acoplados a redutores de velocidade e acionados por inversores de frequência, que lhes garante um controle preciso de velocidade. A fig 2.15 ilustra um puxador e alguns de seus detalhes construtivos.



Figura 2.15 – Puxador com detalhes.

2.2.6 CORTADORES

O Cortador ou Serra ,está ligado em sincronia com o puxador ,que através de um sinal elétrico, emitido pelo *in colder*, instalado na linha , ou por um sensor foto-elétrico , instalado na calha de recebimento de barras cortadas, corta os tubos no comprimento padrão estabelecido por norma , geralmente de seis metros.

Os equipamentos mais sofisticados possuem também o mecanismo chanfrador para acabamento da extremidade cortada , acoplados com a serra. A figura 2.16 mostra um cortador com o chanfrador acoplado.



FIGURA 2.16– CORTADOR COM CHANFRADOR.

2.2.7 EMBOLSADEIRAS

As embolsadeiras são máquinas manuais ou automáticas posicionadas no final da linha de produção, com a finalidade de se fazer o “acabamento” na extremidade do tubo. Uma vez cortadas, as barras passam por um dispositivo de formação da bolsa: por meio de aquecimento de uma de suas pontas, o tubo recebe um macho que ajusta o diâmetro interno do tubo para perfeito acoplamento entre as barras. Outros tipos de tubos podem sofrer processos de incorporação de roscas machos e fêmeas, como no caso de tubos para irrigação, ou ainda incorporação de juntas de borracha para garantir estanqueidade na junção ponta/bolsa. A fig 2.18 nos mostra alguns exemplos de embolsadeiras.

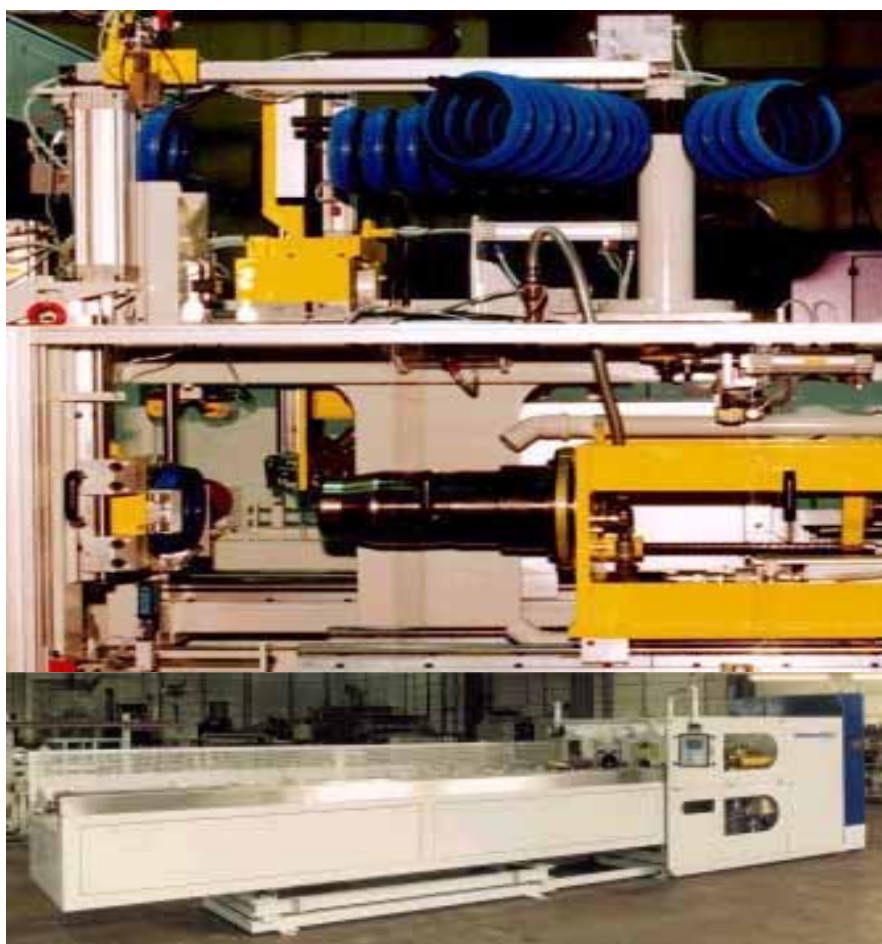


Figura 2.18– Embolsadeira automática e seus detalhes

2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

2.3.1 EXTRUSÃO DE TUBOS DE PVC RÍGIDO

A produção de tubos rígidos de PVC normalmente é feita por meio da utilização de extrusoras de rosca dupla, a partir do composto na forma de *dry blend*. No passado utilizavam-se extrusoras de rosca simples, principalmente em tubos de menores diâmetros, porém essa tecnologia hoje apresenta pouca competitividade em relação à extrusão com rosca dupla, que pode atingir produtividade da ordem de 1.000 kg/h.

O processo de produção de tubos rígidos de PVC inicia-se na extrusora, responsável pela gelificação, plastificação e homogeneização do composto originalmente na forma de pó. Uma vez fundido, o composto alimenta a matriz, responsável pela conformação do material na forma do produto final. À saída da matriz encontra-se um calibrador a vácuo, o qual resfria o material fundido e dá dimensões ao produto final. Para linhas de maior produtividade ou em tubos de maiores espessuras é comum a utilização de água gelada no resfriamento do calibrador, de modo a conseguir maiores taxas de remoção de calor.

Na seqüência do calibrador propriamente dito, dentro da própria câmara de vácuo, o tubo passa por uma série de jatos de água para resfriamento adicional. Nas linhas de alta produtividade ou na produção de tubos de maiores espessuras podem ainda ser incorporadas banheiras adicionais de resfriamento. À frente da linha encontram-se a gravadora que identifica o produto, o puxador e o dispositivo de corte e recepção das barras cortadas.

Uma vez cortadas, as barras passam por um dispositivo de formação da bolsa: por meio de aquecimento de uma de suas pontas, o tubo recebe um macho que ajusta o diâmetro interno do tubo para perfeito acoplamento entre as barras. Outros tipos de tubos podem sofrer processos de incorporação de roscas machos e fêmeas, como no caso de tubos para irrigação, ou ainda incorporação de juntas de borracha para garantir estanqueidade na junção ponta/bolsa.

A figura 2.19 mostra esquematicamente o processo de extrusão de tubos de PVC.

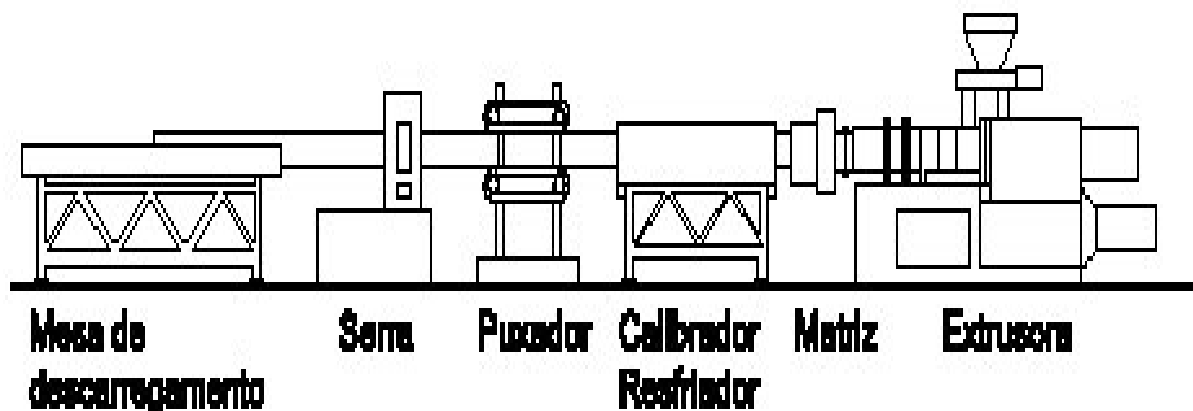


Figura 2.19 - Processo de extrusão de tubos de pvc, (Nunes, 2002)

2.3.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Cabe aqui, frisar, que os comentários sobre o item em questão, são específicos de uma empresa em estudo, no caso, a Asperbrás, desenvolvido por seus profissionais para atender as suas necessidades de gerenciamento, não devendo assim ser considerados como um modelo padrão de processo, baseado apenas em alguma informação literária.

Sabido isso, podemos dizer que a empresa então, planeja sua produção, baseada em tendências de mercado, pedidos em carteira, estoque regulador e relatórios gerenciais de vendas em determinados períodos, sendo então gerada daí uma programação, que será atualizada diariamente, pelo gerente de produção e encaminhada para fabricação, mediante abertura de ordens de fabricação (O.F.), constando basicamente o tipo de tubo à ser fabricado, quantidade, a linha onde será fabricado, quantidade de material necessário e a previsão do tempo de fabricação. Tendo isso em mãos o encarregado de produção, inicia o set-up das referidas linhas, os preparadores de matéria prima, também chamados de operadores de mistura, preparam os compostos de PVC de acordo com os tubos à serem fabricados, mediante formulações já pré especificadas, iniciando-se daí a produção.

2.3.4 CONTROLE DA QUALIDADE

Iniciada então a produção, cabe agora aos inspetores de qualidade, fazerem então a liberação da linha de fabricação, seguindo os seguintes procedimentos:

- Fazer inspeção visual, verificando a existência de riscos, sinais de queima de material, trincas, acabamento interno e externo e acabamento das bolsas e chanfros nas extremidades.
- Verificar dimensional do produto, checando o diâmetro externo, espessura de parede e sua centralização, peso, e comprimento da barra.
- Verificar se a inscrição do tubo está correta.
- Retirar corpos de prova, para envio ao laboratório, onde serão executados ensaios específicos à cada produto, tais como: estabilidade dimensional, pressão hidrostática (PHI), estanqueidade de juntas, classe de rigidez, pressão negativa (vácuo), resistência ao impacto, plastificação, etc..

Feito então, tais procedimentos, e o produto estando em conformidade, é finalmente liberada a linha, e conseqüentemente seus produtos serão então liberados e lançados no estoque, estando disponíveis para comercialização. Durante todo o processo de fabricação, ou seja, até o término da ordem de fabricação, os procedimentos acima serão repetidos em intervalos de tempo pré-estabelecidos pela norma específica do produto de acordo com a ABNT e registrados por meio eletrônico em suas respectivas planilhas. Os tubos tidos como Não Conforme durante a fabricação, são segregados em áreas específicas, e analisados caso a caso, dando-se daí a disposição devida, ou seja, reprovados (moinho), retrabalho com posterior avaliação ou aprovados e liberados. Vale aqui lembrar, que os tubos de saneamento e infra-estrutura, quando vendidos à Órgãos Públicos, geralmente os lotes são submetidos à ensaios de recebimento segundo normas específicas ditadas pela ABNT, e tais inspeções são realizadas por empresas competentes credenciadas pelo INMETRO e indicadas pelos tais órgãos.

Ainda relacionada à qualidade, a empresa além de ser certificada NBR ISO 9001:2000, ela se encontra em processo de qualificação junto à ASFAMAS, Órgão Governamental em âmbito Federal, que certifica as empresas produtoras de tubos de PVC ,quanto à qualidade de seus produtos, sendo as mesmas auditadas mensalmente pela empresa de auditoria TESIS.

Essa auditoria é realizada por um período de seis meses na qualificação, se estendendo, depois indeterminadamente, podendo então a empresa auditada ser desqualificada à qualquer momento, desde que produza tubos não conforme.

Cabe também aos inspetores da qualidade, além dos lançamentos referentes à qualidade, fazer periodicamente todos os lançamentos da produção relativos à uma determinada O.F., tais como :

- Quantidade de barras produzidas.
- Total em kg produzidos.
- Total em kg não conforme (moinho).
- Total em kg de sucata.
- Total em kg de tubos destinados para fabricação de peças(irrigação);
- Rendimento da máquina em kg/h.
- Parâmetros de extrusão.

Um exemplo da planilha que absorve todos estes lançamentos pode ser visto abaixo:

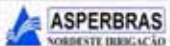
 ASPERBRAS NORDESTE IRRIGAÇÃO		CONTROLE DE PRODUÇÃO											
		O.F. Nº		PRODUTO		Linha		ESPESURA (mm)		DIÂMETRO (mm)		DATA	
GRAVAÇÃO		FABRICAÇÃO		FABRICAÇÃO		FABRICAÇÃO		FABRICAÇÃO		FABRICAÇÃO		FABRICAÇÃO	
TURMAS		Turma		Turma		Turma		Turma		Turma		TOTAL	
HORA		HORA		HORA		HORA		HORA		HORA		HORA	
I R A S F E	QUANTIDADE	Barras											
		Peças (kg)											
		Peças (kg)											
		Moinho (kg)											
		Sucata (kg)											
		Cilindros (kg)											
I R A S F E	ESPESURA	Máximo											
		Mínimo											
		Diâmetro (Folha de Soma)											
		Peças (kg)											
		Comprimento de Tubos											
		Visual											
I R A S F E	FABRICAÇÃO	Agendamento / Representação											
		Defeito (A / B)											
		Resposta do Turma											
		RENDIMENTO											
		Tempo de Fáb. Tubos											
		Velocidade de Produção											
I R A S F E	CÁLCULO	Tempo de Fáb. Tubos											
		Velocidade de Produção											
		Agendamento (A)											
		Defeito (A / B)											
		Defeito (A / B)											
		Defeito (A / B)											
EVENTOS				VISUAL				OBSERVAÇÕES					
01 - Falha de Máquina Pressa 02 - Falha de Energia Elétrica 03 - Problemas na Caldeira (vapor) 04 - Problemas na Torna (vapor) 05 - Limpador de Caldeira 06 - Manutenção na Caldeira 07 - Documentação da O.F. 08 - Limpador de Forno de Vácuo 09 - Limpador de Energia 10 - Composto Não Conforme				11 - Problemas Mecânicos (vapor) 12 - Problemas Elétricos (vapor) 13 - Falha de Vácuo (vapor) 14 - Falha de Produção 15 - Outros (vapor) (vapor)				R01 - Espessura Menor R02 - Espessura Menor R03 - Diâmetro Menor R04 - Diâmetro Menor R05 - Comprimento Menor R06 - Comprimento Menor R07 - Qualidade R08 - Qualidade R09 - Qualidade R10 - Qualidade R11 - Qualidade R12 - Qualidade R13 - Qualidade R14 - Qualidade					

Figura 2.20 – Planilha do controle de produção

A figura 2.21 ilustra de maneira objetiva o processo de produção da empresa através de seu fluxograma.

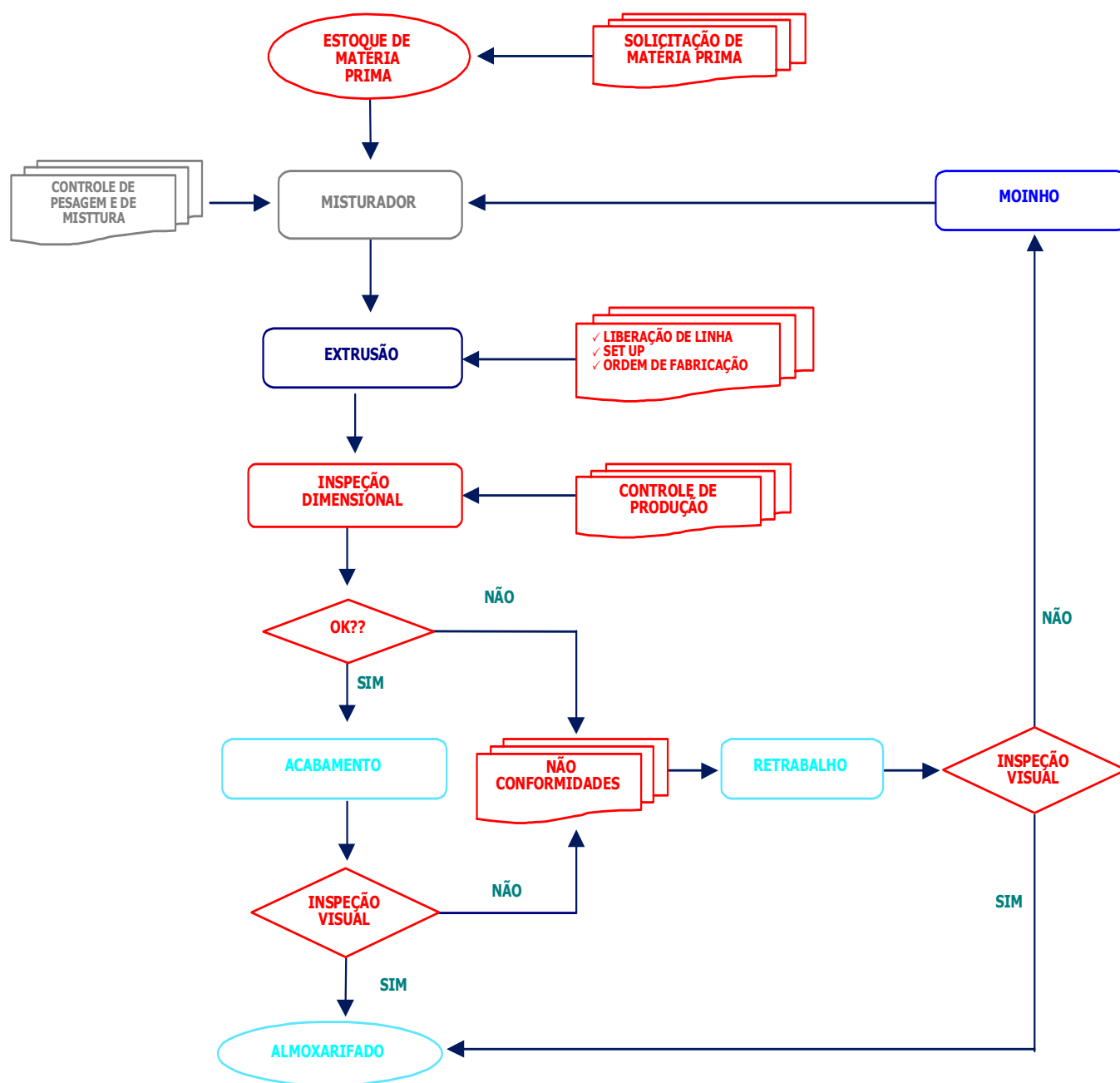


Figura 2.21- Fluxograma de Produção

2.3.5 CUSTOS DOS TUBOS DE PVC NA FABRICAÇÃO

Vários são os itens que influenciam direta e indiretamente no custo do produto, tais como; custos fixos, impostos, fretes, comissões de vendas, matérias primas, etc. Porém, somente faremos alguns comentários sobre os custos referentes à produção dos tubos, ou mais especificamente, como a produção pode agir diretamente para baixar o custo final do produto.

Basicamente são dois, os itens envolvidos diretamente com a produção, que refletem diretamente no custo final do tubo:

- Custo operacional.
- Custo dos compostos de PVC formulados.

CUSTOS OPERACIONAIS

Dentre as medidas para diminuir os custos operacionais, podemos citar:

- Definir capacidade de cada linha de produção.
- Minimizar o número de set-up's por linha, através de programações bem elaboradas, evitando-se o máximo a troca de bitolas desnecessárias.
- Baixar o máximo as horas improdutivas, diminuindo-se e otimizando-se os set-up's, tendo um bom plano de manutenção, aumentando-se assim a eficácia da fábrica.
- Trabalhar com os equipamentos, com sua máxima eficiência, ou seja produzir a maior quantidade de kg/h possível.
- Procurar automatizar ao máximo, as máquinas de acabamento, que são geralmente os grandes “gargalos” na produção.
- Em extrusoras de grande produção em kg/h, utilizar-se de linhas duplas, principalmente em tubos de pequena bitola, aumentando assim a sua eficiência.
- Procurar trabalhar sempre com conjuntos de canhão e roscas em bom estado (pouco desgastados), aumentando assim a produtividade do equipamento.
- Trabalhar com níveis mínimos de rejeitos (não conformidade e sucata), consequência direta da correta aplicação dos itens citados acima, principalmente com produções mais estendidas.
- Procurar a melhoria contínua, através dos devidos tratamentos às não conformidade.

CUSTOS DOS COMPOSTOS DE PVC FORMULADOS

Como já visto anteriormente, na fabricação de tubos de PVC rígido, necessita-se de preparar os compostos, ou seja, através de equipamentos específicos (misturadores), nós adicionamos ao PVC, lubrificantes, cargas (carbonato de cálcio), pigmentos e estabilizante, resultando aí a matéria prima propriamente dita. É sabido que a perfeita preparação da mistura (blenda) influi diretamente na eficiência do processo e na qualidade final do produto, sendo assim alguns cuidados a serem observados, são citados abaixo:

- Controle rigoroso na pesagem dos componentes.
- Homogeneidade no processo, ou seja, além do controle de pesagem, observar sempre as temperaturas de aquecimento e resfriamento da mistura, em torno de 110°C e 40°C, respectivamente, para que se obtenha uma perfeita incorporação dos aditivos pelas moléculas de PVC.
- Manutenção freqüente no misturador.
- Usar somente água natural (temperatura ambiente) no resfriador. Com o uso de água gelada, poderá ocorrer condensação nas paredes do equipamento, umedecendo aí o material.

Com relação aos custos diretos de aquisição das matérias primas, hoje à nível nacional, torna-se um tanto quanto difícil, conseguir grandes melhorias no custo da resina de PVC, que representa cerca de 90% do custo final do composto, pois existem apenas dois fabricantes expressivos no mercado, o que impossibilita bons níveis de negociação.

Resta-nos então, procurar alternativas de conseguir, com os outros aditivos, formular blends que tornem o processo mais produtivo, com altos níveis de eficiência e baixos níveis de refugo.

2.3.6 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS DE FORMULAÇÕES DE PVC

Consideremos nas tabelas abaixo alguns exemplos ilustrativos de algumas formulações de blends de PVC rígido para extrusão de tubos, lembrando aqui que os valores dos produtos expressos em reais, não estão atualizados, porém possuem uma relação percentual de grandezas entre os mesmos, bem próximos à realidade.

Tabela 2.6 – Variação da quantidade de carbonato de cálcio.

Matéria Prima	Unit.	Tubo 1/Condição 1			Tubo 1/Condição 2			Tubo 1/Condição 3		
	R\$	pcr	%	R\$	pcr	%	R\$	pcr	%	R\$
Resina	2,680	100,00	84,94	268,00	100,00	78,29	268,00	100,00	70,06	268,00
Carbonato	0,310	15,00	12,74	4,65	25,00	19,57	7,75	40,00	28,02	12,40
Estabilizante	4,385	2,40	2,04	10,52	2,40	1,88	10,52	2,40	1,68	10,52
Titânio	6,800	0,20	0,17	1,36	0,20	0,16	1,36	0,20	0,14	1,36
Estearina	1,500	0,10	0,08	0,15	0,10	0,08	0,15	0,10	0,07	0,15
Pig. Azul	37,500	0,03	0,03	1,13	0,03	0,02	1,13	0,03	0,02	1,13
Pig. Ocre Pig. Marrom	6,500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL		117,73	100,00	285,81	127,73	100,00	288,91	142,73	100,00	293,56
Custo do composto		2,43			2,26			2,06		
% variação custo		0,00%			6,83%			9,07%		

Tabela 2.7– Variação da quantidade de estabilizante.

Matéria Prima	Unit.	Tubo 1/Condição 1			Tubo 1/Condição 2			Tubo 1/Condição 3		
	R\$	pcr	%	R\$	pcr	%	R\$	pcr	%	R\$
Resina	2,680	100,00	88,71	268,00	100,00	89,02	268,00	100,00	89,50	268,00
Carbonato	0,310	10,00	8,87	3,10	10,00	8,90	3,10	10,00	8,95	3,10
Estabilizante	4,385	2,40	2,13	10,52	2,00	1,78	8,77	1,40	1,25	6,14
Titânio	6,800	0,20	0,18	1,36	0,20	0,18	1,36	0,20	0,18	1,36
Estearina	1,500	0,10	0,09	0,15	0,10	0,09	0,15	0,10	0,09	0,15
Pig. Azul	37,500	0,03	0,03	1,13	0,03	0,03	1,13	0,03	0,03	1,13
Pig. Ocre Pig. Marrom	6,500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL		112,73	100,00	284,26	112,33	100,00	282,51	111,73	100,00	279,87
Custo do composto		2,52			2,51			2,50		
% variação custo		0,00%			0,26%			0,40%		

Analisando, simplesmente a tabela acima, sob uma ótica quantitativa, sem uma análise qualitativa, parece fácil equacionar o problema do custo das formulações, diminuindo-se o percentual de resina, com um custo mais alto, e aumentando-se o percentual de carbonato de cálcio com custo bem inferior.

Porém, sabe-se que quantidades elevadas de carga em tubos de PVC, compromete diretamente as propriedades mecânicas do mesmo, tornando-os quebradiços, rompendo facilmente com baixas cargas de pressão, comprometendo assim o seu desempenho em suas diversas aplicações, tanto que para se evitar tais problemas, de acordo com a ABNT, são exigidos pelos órgãos compradores, ensaios específicos de impacto (físico) e determinação do teor de cinzas (químico), que possibilitam avaliar a idoneidade do fabricante. Considerando-se que os custos são formatados em kg/h, não podemos esquecer, que os tubos são comercializados em barras, e com o aumento excessivo da carga de carbonato, aumentamos também a densidade do composto, tornando assim os tubos mais pesados, inviabilizando o seu custo com determinados índices elevados de carga.

O gráfico abaixo mostra-nos a variação do custo de um determinado tubo, em função da quantidade de carbonato.

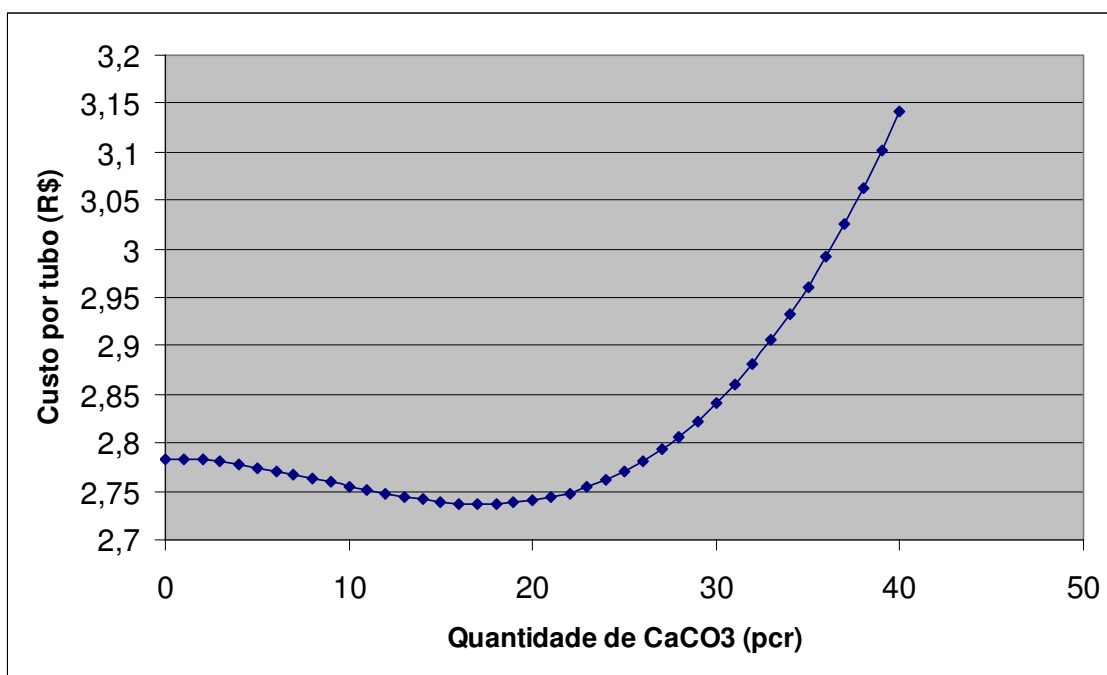


Figura 2.22 – Gráfico do custo do tubo por carbonato.

CAPÍTULO 3

3 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Este capítulo tem como objetivo descrever a metodologia, as referências normativas, os materiais e equipamentos utilizados para obtenção de resultados de testes experimentais, realizados diretamente na linha de produção da empresa ASPERBRAS, nas suas plantas de Penápolis (SP) e de Simões Filho (BA), e nos laboratórios da empresa CHEMSON Ltda com sede na cidade de Rio Claro (SP).

3.1 METODOLOGIA

Com base no objetivo do trabalho, com já visto no capítulo 1, que é estudar a viabilidade da migração de um estabilizante térmico à base de chumbo para um de cálcio-zinco no processo de fabricação de tubos de pvc rígido, adotou-se o seguinte critério para execução dos testes:

- Na Asperbras foram produzidos 12 lotes de tubos de 06 diferentes bitolas utilizados nas áreas de água e esgoto e infra-estrutura, pois são produtos que obedecem a normas de fabricação, ditadas pela ABNT, que determinam os padrões de qualidade, e as diversas maneiras de verificação destes, através de ensaios destrutivos e não destrutivos.
- Para cada produto (tubo), foram produzidos dois lotes distintos, um com estabilizante a base de chumbo e o outro com estabilizante a base de cálcio-zinco, a princípio mantendo-se iguais, todas as outras características de processamento tais como, mesma extrusora, mesmos parâmetros de extrusão (regulagem de máquina) e mesmas formulações de compostos de pvc (exceto claro, os estabilizantes térmicos) , permitindo assim uma melhor conclusão dos resultados obtidos.

- Entre todos os ensaios feitos em laboratório exigidos por norma, durante a fabricação, que serão citados adiante, adotou-se o critério de avaliar o produto final, através de apenas três deles, independente do tipo de tubo, devido ao fato de serem os mais críticos e também ao tempo de disponibilidade do laboratório da empresa, já que os ensaios foram feitos com a indústria em plena produção e demandam muito tempo na execução. Foram efetuados para todos os lotes produzidos os ensaios de Estabilidade Dimensional, Impacto e Pressão Hidrostática Interna de Curta Duração (PHI), porém com amostragens maiores, em períodos menores, adotando-se para isso o plano de amostragem de ensaios não destrutivos, conforme ilustrado na tabela 3.8 . Os ensaios visual e dimensional foram efetuados na linha de produção, com todos os resultados aprovados, porém não registrados neste trabalho.
- Todos os parâmetros, informações e resultados obtidos na Asperbrás foram registrados em planilhas conforme tabela 3.1, para melhor ilustração.
- Na empresa Chemson Ltda, com sede em Rio Claro(S.P), foram feitos ensaios em compostos formulados para produção de tubos de Esgoto Branco SN, e tubos da linha Água Fria, fabricados segundo NBR-5688 e NBR-5648, respectivamente, em dezembro de 2004. Os ensaios foram realizados em um extrusômetro, conforme ilustrado no subcapítulo 3.4.4, com 04 amostras distintas de formulações, sendo 02 referentes a linha de tubos de esgoto, formuladas com estabilizante a base de chumbo e cálcio-zinco respectivamente e outras 02 amostras, também preparadas com os mesmos critérios, referentes a linha predial , permitindo-nos através dos resultados, fazermos uma avaliação reológica.*, das referidas blendas.

* Reologia: Ciência que estuda as deformações dos materiais. Particularmente importante para o estudo dos polímeros, abrange principalmente o estudo da elasticidade, da plasticidade, da viscosidade e do escoamento dos materiais em geral.

Tabela 3.1 – Resultado de ensaios

1 – PARÂMETROS DE EXTRUSÃO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090	AMOSTRA DXC-1098
Z1-Alimentação °C		
Z2-Gelificação °C		
Z3-Plastificação °C		
Z4-Plastificação Pta. Rosca °C		
Z5-Junção °C		
Z6-Cabeçote Início °C		
Z7-Cabeçote Torpedo °C		
Z8-Cabeçote Paralelo °C		
Z9-Massa °C		
Z10-Massa °C		
Contra Pressão (Ton)		
Veloc. Extrusora (rpm)		
Veloc. Alimentador (rpm)		
Amperagem Motor (%)		
Temp. Óleo Refrigeração °C		

- Temperatura da tabela: Programado / Real

2 – FORMULAÇÃO DO COMPOSTO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090	AMOSTRA DXC-1098
RESINA SP-767		
Microfluid 2620G		
Estabilizante		
Lubrificantes		
Dióxido Titânio		
Pigmento		

3 – RELATÓRIO DE LABORATÓRIO

MÉTODO	DESCRIÇÃO	ESPECIFICADO	AMOSTRA	RESULTADO ENCONTRADO									
NBR 5687	ESTABILIDADE DIMENSIONAL	VARIAÇÃO LONGITUDINAL ≤ 5		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC 9090										
			DXC1098										
	TEMPERATURA 140°C TEMPO 15 Min			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC 9090										
			DXC1098										
NBR 14262	IMPACTO	SEM OCORRÊNCIA DE TRINCAS RASGOS OU QUEBRAS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	PESO : ALTURA : 2 Mt Nº IMPACTOS :		XC 9090										
			DXC1098										
				11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC 9090										
			DXC1098										
NBR 5683	PHI	SEM OCORRÊNCIA DE TRINCAS RASGOS OU QUEBRAS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	TEMPERATURA: TEMPO : PRESSÃO:		XC 9090										
			DXC1098										
				11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC 9090										
			DXC1098										

* **A** – Aprovado **R** – Reprovado

3.2. REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Com o objetivo de auxiliar nos procedimentos experimentais, são apresentadas aqui de forma resumida, as principais especificações descritas em caráter normativo, de acordo com a ABNT, tanto dos tubos produzidos, como também dos ensaios realizados.

3.2.1 ESPECIFICAÇÃO DE PRODUTO

As tabelas abaixo trazem as especificações dos tubos produzidos para a realização dos testes experimentais do estudo, bem como a relação dos ensaios respectivos exigidos durante a fabricação, descrevendo o tamanho da amostragem, e a periodicidade do ensaio. De forma bem objetiva, a tabela apresenta o dimensional de cada produto, sua cor, o acabamento em uma de suas extremidades, sendo PBL (junta soldável), JE (junta elástica) e JEI (junta elástica integrada) e os dizeres da gravação; todos requisitos exigidos pelas suas respectivas NBR. Vale aqui ressaltar que o critério e escolha dos produtos para a fase experimental, deu-se ao fato dos mesmos possuírem algumas características críticas de aprovação nos ensaios, principalmente quanto ao teste de impacto, tornando-se assim um fator decisivo para a análise comparativa dos resultados quando produzidos com o estabilizante de Ca – Zn. Porém é importante dizer que a ASPERBRÁS, hoje fabrica e comercializa a linha completa de tubos de pvc rígido nos seguimentos de infra-estrutura, água e esgoto e irrigação.

TABELAS DE ESPECIFICAÇÃO DE PRODUTO

Tabela 3.2 – Tubo esgoto predial NBR 5688

Gravação:		(EMPRESA) PVC DN ... ESGOTO SN NBR 5688 {FAB. (DATA/HORA)}				
Diâmetro Nominal	Diâmetro Externo (mm)		Espessura (mm)		Comprimento Barra (Mts)	Acabamento
	Mínimo	Máximo	Mínima	Máxima		
40	40,0	40,2	1,20	1,50	6,000	PBL
50	50,7	51,0	1,60	1,90	6,000	JE
75	75,5	75,9	1,70	2,10	6,000	JE
100	101,6	102,0	1,80	2,20	6,000	JE
150	150,0	150,4	2,50	2,90	6,000	JE
ENSAIOS REALIZADOS DURANTE A FABRICAÇÃO						
NORMA	ENSAIO			TAM. AMOSTRA	PERIODICIDADE	
-	Visual			-	Contínua	
NM 85:1996	Dimensional			6	A cada 2h	
NBR 5687:1999	Estabilidade Dimensional			3	A cada 8h	
NBR 14262:1999	Resistência ao Impacto			3	A cada 8h	

Tabela 3.3 – Tubo adutora PN 0,60 Mpa NBR 5647 - 1

Gravação:	(EMPRESA) PVC 6,3 PN 0,60 MPa DN ... ÁGUA NBR 5647 - 1 {FAB. (DATA/HORA)}					
Diâmetro Nominal	Diâmetro Externo (mm)		Espessura (mm)		Comprimento Barra (Mts)	Acabamento
	Mínimo	Máximo	Mínima	Máxima		
50	60,0	60,2	2,70	3,10	6,000	JE
						JEI
75	85,0	85,3	3,90	4,40	6,000	JE
						JEI
100	110,0	110,3	5,00	5,60	6,000	JE
						JEI
ENSAIOS REALIZADOS DURANTE A FABRICAÇÃO						
NORMA	ENSAIO			TAM. AMOSTRA	PERIODICIDADE	
-	Visual			-	Contínua	
NM 85:1996	Dimensional			6	A cada 2 h	
NBR 5687:1999	Estabilidade Dimensional			3	A cada 8 h	
NBR 14262:1999	Resistência ao Impacto			3	A cada 8 h	
NBR 5683:1999	Pressão Hidrostática Interna de curta duração			3	Uma vez ao dia para cada DE	

Tabela 3.4 – Tubo adutora PN 0,75 Mpa NBR 5647 - 1

Gravação:	(EMPRESA) PVC 6,3 PN 0,75 MPa DN ... ÁGUA NBR 5647 – 1 {FAB. (DATA/HORA)}					
Diâmetro Nominal	Diâmetro Externo (mm)		Espessura (mm)		Comprimento Barra (Mts)	Acabamento
	Mínimo	Máximo	Mínima	Máxima		
50	60,0	60,2	3,30	3,80	6,000	JE
						JEI
75	85,0	85,3	4,70	5,30	6,000	JE
						JEI
100	110,0	110,3	6,10	6,90	6,000	JE
						JEI
ENSAIOS REALIZADOS DURANTE A FABRICAÇÃO						
NORMA		ENSAIO		TAM. AMOSTRA		PERIODICIDADE
-		Visual		-		Contínua
NM 85:1996		Dimensional		6		A cada 2 h
NBR 5687:1999		Estabilidade Dimensional		3		A cada 8 h
NBR 14262:1999		Resistência ao Impacto		3		A cada 8 h
NBR 5683:1999		Pressão Hidrostática Interna de curta duração		3		Uma vez ao dia para cada DE

Tabela 3.5 – Tubo adutora PN 1,00 Mpa NBR 5647 - 1

Gravação:	(EMPRESA) PVC 6,3 PN 1,00 MPa DN ... ÁGUA NBR 5647 – 1 {FAB. (DATA/HORA)}					
Diâmetro Nominal	Diâmetro Externo (mm)		Espessura (mm)		Comprimento Barra (Mts)	Acabamento
	Mínimo	Máximo	Mínima	Máxima		
50	60,0	60,2	4,30	4,90	6,000	JE
						JEI
75	85,0	85,3	6,10	6,90	6,000	JE
						JEI
100	110,0	110,3	7,80	8,70	6,000	JE
						JEI
ENSAIOS REALIZADOS DURANTE A FABRICAÇÃO						
NORMA		ENSAIO		TAM. AMOSTRA		PERIODICIDADE
-		Visual		-		Contínua
NM 85:1996		Dimensional		6		A cada 2 h
NBR 5687:1999		Estabilidade Dimensional		3		A cada 8 h
NBR 14262:1999		Resistência ao Impacto		3		A cada 8 h
NBR 5683:1999		Pressão Hidrostática Interna de curta duração		3		Uma vez ao dia para cada DE

Tabela 3.6 – Tubo pvc 12 defofo NBR 7665

Gravação:	(EMPRESA) PVC 12 PN 1MPa DN ... ÁGUA DEFOFO NBR 7665 {FAB. (DATA/HORA)}					
Diâmetro Nominal	Diâmetro Externo (mm)		Espessura (mm)		Comprimento Barra (Mts)	Acabamento
	Mínimo	Máximo	Mínima	Máxima		
100	118,0	118,4	4,80	5,50	6,000	JE
						JEI
150	170,0	170,4	6,80	7,70	6,000	JE
						JEI
200	222,0	222,5	8,90	10,00	6,000	JE
						JEI
250	274,0	274,6	11,00	12,30	6,000	JE
						JEI
300	326,0	326,7	13,10	14,60	6,000	JE
						JEI
350	378,0	378,8	15,20	16,90	6,000	JE
						JEI
400	429,0	429,9	17,20	19,10	6,000	JE
						JEI
ENSAIOS REALIZADOS DURANTE A FABRICAÇÃO						
NORMA		ENSAIO		TAM. AMOSTRA		PERIODICIDADE
-		Visual		-		Contínua
NM 85:1996		Dimensional		6		A cada 2 h
NBR 5687:1999		Estabilidade Dimensional		3		A cada 8 h
NBR 14262:1999		Resistência ao Impacto		3		A cada 8 h

NBR 14272:1999	Compressão Diametral	3	A cada 8 h
NBR 5683:1999	Pressão Hidrostática Interna de curta duração	3	Uma vez ao dia para cada DE

Tabela 3.7 – Tubo predial PN 750 Kpa NBR 5648

Gravação:		(EMPRESA) PVC 6,3 PN 750 KPa DE ... mm ÁGUA FRIA NBR 5648 {FAB. (DATA/HORA)}				
Diâmetro Nominal	Diâmetro Externo (mm)		Espessura (mm)		Comprimento Barra (Mts)	Acabamento
	Mínimo	Máximo	Mínima	Máxima		
15	20,0	20,2	1,50	1,80	6,000	PBL
20	25,0	25,2	1,70	2,00	6,000	PBL
25	32,0	32,2	2,10	2,50	6,000	PBL
32	40,0	40,2	2,40	2,80	6,000	PBL
40	50,0	50,2	3,00	3,40	6,000	PBL
50	60,0	60,2	3,30	3,80	6,000	PBL
65	75,0	75,3	4,20	4,80	6,000	PBL
75	85,0	85,3	4,70	5,30	6,000	PBL
100	110,0	110,3	6,10	6,90	6,000	PBL
ENSAIOS REALIZADOS DURANTE A FABRICAÇÃO						
NORMA		ENSAIO		TAM. AMOSTRA	PERIODICIDADE	
-		Visual		-	Contínua	
NM 85:1996		Dimensional		6	A cada 2 h	
NBR 5687:1999		Estabilidade Dimensional		3	A cada 8 h	
NBR 14262:1999		Resistência ao Impacto		3	A cada 8 h	
NBR 5683:1999		Pressão Hidrostática Interna de curta duração		3	Uma vez ao dia para cada DE	

NOTA: Como foi dito no sub-capítulo 3.1, os lotes de amostragem foram considerados maiores, com periodicidades menores, portanto para se ter um padrão de referência, foi utilizado o plano de amostragem para ensaios não destrutivos para todos os lotes produzidos, de acordo com a tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Amostragem

TABELA DE AMOSTRAGEM	
Tamanho do Lote	Amostragem
00001 a 00090	008
00091 a 00150	013
00151 a 00280	020
00281 a 00500	032
00501 a 01200	050
01201 a 03200	080
03201 a 10000	125

3.2.2. VALORES NORMATIVOS DE ENSAIOS LABORATORIAIS

As tabelas abaixo trazem os valores de ensaios dos tubos produzidos para a realização dos testes experimentais de acordo com as normas que os regem. De uma forma objetiva, a tabela apresenta os valores para os testes de estabilidade dimensional, impacto e phi, com a citação das referidas NBR, de cada situação.

Tabela 3.9 – Valores de ensaio para tubo esgoto predial SN (NBR 5688)

DN	DE (mm)	Estabilidade Dimensional NBR - 5687	Impacto NBR - 14262		PHI NBR - 5683
			Percursor (kg)	Nº de impactos	6 minutos (Kgf / cm ²)
40	40,0+0,2	≤ 5% (140±4)°C 15 minutos	1,5	01	20,7
50	50,7+0,3		1,5	03	21,8
75	75,5+0,4		2,0	04	15,4
100	101,6+0,4		3,0	06	12,1
150	150,0+0,4		4,0	08	11,3

Tabela 3.10 – Valores de ensaio para tubo adutora (NBR 5647-1)

DN	DE (mm)	Estabilidade Dimensional NBR - 5687	Impacto NBR - 14262		PHI - kgf / cm ² NBR - 5648					
			Percursor (kg)	Nº de impactos	0,60 MPa		0,75 MPa		1,00 MPa	
					6 min	1 h	6 min	1 h	6 min	1 h
50	60,0 + 0,2	≤ 5% (140±4)°C 15 minutos	2,0	03	35,2	31,5	43,5	38,9	57,7	51,6
75	85,0 + 0,3		2,0	04	36,0	32,1	43,8	39,1	57,8	51,6
100	110,0 + 0,3		3,0	06	35,6	31,8	43,9	39,2	57,1	51,0

Tabela 3.11 – Valores de ensaio para tubo defofo (NBR 7665)

DN	DE (mm)	Estabilidade Dimensional NBR - 5687	Impacto NBR - 14262		PHI - kgf / cm ² NBR - 5648
			Percursor (kg)	Nº de impactos	1 hora
100	118,0 + 0,4	≤ 5% (140±4)°C 15 minutos	3,0	06	35,6
150	170,0 + 0,4		4,0	08	35,0
200	222,0 + 0,5		5,0	12	35,1
250	274,0 + 0,6		6,0	12	35,1
300	326,0 + 0,7		6,0	12	35,2
350	378,0 + 0,8		6,0	12	35,2
400	429,0 + 0,9		6,0	12	35,1
500	532,0 + 1,0		6,0	12	35,0

Tabela 3.12 – Valores de ensaio para tubo predial (NBR 5648)

DN	DE (mm)	Estabilidade Dimensional NBR - 5687	Impacto NBR - 14262		PHI - kgf / cm ² NBR - 5648	
			Percursor (kg)	Nº de impactos	6 minutos	1 hora
15	20,0 + 0,2	≤ 5% (140±4)°C 15 minutos	1,0	01	60,6	54,2
20	25,0 + 0,2		1,0	01	54,6	48,7
25	32,0 + 0,2		1,5	01	52,5	46,9
32	40,0 + 0,2		1,5	01	47,7	42,6
40	50,0 + 0,2		1,5	03	47,7	42,6
50	60,0 + 0,2		2,0	03	43,5	38,9
65	75,0 + 0,3		2,0	04	44,4	39,6
75	85,0 + 0,3		2,0	04	43,8	39,1
100	110,0 + 0,3		3,0	06	43,9	39,2

3.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO

3.3.1 MATERIAIS USADOS NA FABRICAÇÃO

Para a fabricação dos lotes de tubos para o estudo foram utilizadas as seguintes matérias primas, descritas e especificadas nas tabelas abaixo, segundo os respectivos fabricantes:

Tabela 3.13 – Resina de pvc

PRODUTO	RESINA DE PVC (POLICLORETO DE VINILA)			
NOME COMERCIAL	NORVIC SP 767 P			
FORNECEDOR	TRIKEN			
CARACTERÍSTICAS				
Poli (cloreto de vinila) homopolímero, obtido pelo processo de polimerização em suspensão.				
PROPRIEDADES	UNIDADE	LIMITES		MÉTODO DE REFERÊNCIA
		MÍN	MÁX	
Valor K	-	66	68	DIM 5 3726
Materiais Voláteis	%	0	0,3	JIS K 6721
Granulometria # 250 µm	%	0	3,0	ASTM D 1921 – A
Granulometria # 63 µm	%	0	2,0	ASTM D 1921 – A
Densidade Volumétrica	g/ml	0,56	0,60	ASTM D 1895 – A

Tabela 3.14 – Carbonato de cálcio

PRODUTO	CARBONATO DE CALCIO			
NOME COMERCIAL	CARBOMIL MICROFLUID 2620 G			
FORNECEDOR	CARBOMIL			
CARACTERÍSTICAS				
Carbonato de Cálcio de origem cretácea				
PROPRIEDADES	UNIDADE	LIMITES		MÉTODO DE REFERÊNCIA
		MÍN	MÁX	
Perda ao Fogo	%	42,5	45,0	-
CaCO ₃	%	96,0	98,5	-
MgCO ₃	%	-	2,1	-
Resíduo Insolúvel em HCl	%	-	1,0	-
SiO ₂	%	-	0,3	-
R ₂ O ₃	%	-	0,5	-
Retenção em # 400	%	-	0,02	-
Absorção em Óleo	%	19,0	21,0	-
Umidade	%	-	0,30	-
Densidade Aparente	g/cm ³	0,90	1,0	-
PH	-	-	9,0	-
Cão	%	53,8	-	-
MgO	%	-	1,0	-
Ca++	%	38,4	-	-
Mg++	%	-	0,6	-
Área Superficial	m ² /g	3,9	-	-
Alvura	-	62	67	-

Tabela 3.15 – Estabilizante térmico naftobase

PRODUTO	ESTABILIZANTE TÉRMICO			
NOME COMERCIAL	NAFTOBASE CZ - 3098			
FORNECEDOR	CHEMSON			
CARACTERÍSTICAS				
Complexo de estabilizante a base de Cálcio-Zinco				
PROPRIEDADES	UNIDADE	LIMITES		MÉTODO DE REFERÊNCIA
		MÍN	MÁX	
Ca	%	7,8	8,3	-
Dropping Point	°c	100	107	-

Tabela 3.16 – Estabilizante térmico naftomix

PRODUTO	ESTABILIZANTE TÉRMICO			
NOME COMERCIAL	NAFTOMIX XC-9090			
FORNECEDOR	CHEMSON			
CARACTERÍSTICAS				
Complexo de estabilizante a base de Chumbo e Lubrificantes				
PROPRIEDADES	UNIDADE	LIMITES		MÉTODO DE REFERÊNCIA
		MÍN	MÁX	
Pb	%	20,5	23	-
Dropping Point	°c	100	106	-

Tabela 3.17 – Lubrificante plastabil

PRODUTO	LUBRIFICANTE			
NOME COMERCIAL	PLASTABIL L-12			
FORNECEDOR	CHEMSON			
CARACTERÍSTICAS				
Ácido Esteárico Animal				
PROPRIEDADES	UNIDADE	LIMITES		MÉTODO DE REFERÊNCIA
		MÍN	MÁX	
Índice de acidez	mg KOH/g	198	210	-
Índice de iodo	GI ₂ /100g	0	3,5	-

Tabela 3.18 – Pigmento titânio

PRODUTO	PIGMENTO			
NOME COMERCIAL	DIÓXIDO DE TITÂNIO R - 02			
FORNECEDOR	SERRANA			
CARACTERÍSTICAS				
Ácido Esteárico Animal				
PROPRIEDADES	UNIDADE	LIMITES		MÉTODO DE REFERÊNCIA
		MÍN	MÁX	
Dióxido de Titânio	%	93	-	-
Rutilo	%	95	-	-
Voláteis	%	-	0,50	-
Solúveis em Água	%	-	0,30	-
PH em água em Suspensão	-	6,6	8,0	-
Bleaching Power	Unid	1600	-	-
Poder de Cobertura	g/m²	-	40	-
Capacidade de Dispersão MKM	-	-	15	-
Brancura	Unid	92	-	-
Retenção # 0045 mesh	%	-	0,03	-

Tabela 3.19 – Pigmento marrom

PRODUTO	PIGMENTO			
NOME COMERCIAL	MARROM 5380 VCF			
FORNECEDOR	ORBITAL			
CARACTERÍSTICAS				
Não Aplicável				
PROPRIEDADES	UNIDADE	LIMITES		MÉTODO DE REFERÊNCIA
		MÍN	MÁX	
DL*	-	-1,0	+1,0	-
Da*	-	-1,0	+1,0	-
Db*	-	-1,0	+1,0	-
DC*	-	-1,0	+1,0	-
DH*	-	-1,0	+1,0	-
DE*	-	-1,0	+1,0	-

Tabela 3.20 – Pigmento Azul

PRODUTO	PIGMENTO AZUL			
NOME COMERCIAL	ORB. AZUL HBR			
FORNECEDOR	ORBITAL			
CARACTERÍSTICAS				
Não Aplicável				
PROPRIEDADES	UNIDADE	LIMITES		MÉTODO DE REFERÊNCIA
		MÍN	MÁX	
Retenção # 325	%	-	0,01	MA 0060
Sais solúveis	%	-	0,5	MA 0050
PH	-	4,0	8,0	MA 0052
Absorção em óleo	g/100g	17	27	MA 0001
Densidade aparente	g/cm³	0,3	0,7	MA 0023
Densidade	g/cm³	3,8	4,2	MA 0024
Teor de óxido de ferro	%	85	89	MA 0069
Umidade 110°C	%	-	0,5	MA 0081

3.3.2 EQUIPAMENTOS USADOS NA FABRICAÇÃO

Para a produção dos tubos destinados à fase experimental do estudo foram utilizados os equipamentos listados abaixo, respectivamente à cada planta da ASPERBRAS, como dito no capítulo 3. Para melhor entendimento, ilustrações similares aos equipamentos citados podem ser vistas no capítulo 2.

PLANTA DE PENÁPOLIS (SP)

- Misturador intensivo, marca Mecanoplast, com capacidade de 400 litros
- Extrusora dupla rosca cônica, marca American Maplan, modelo DSK-62
- Extrusora dupla rosca paralela, marca Imacon, modelo DR-67, L/D: 22
- Linhas de frente (cabeçote, banheira, puxador, cortador e embolsadeiras), compatíveis com cada extrusora

PLANTA DE SIMÕES FILHO (BA)

- Misturador intensivo, marca Mecanoplast, com capacidade de 400 litros
- Extrusora dupla rosca cônica, marca American Maplan, modelo DSK-62
- Extrusora dupla rosca paralela, marca Battenfeld, modelo DR-90, L/D: 28
- Linhas de frente (cabeçote, banheira, puxador, cortador e embolsadeiras), compatíveis com cada extrusora

O processo de fabricação utilizado ,de extrusão de tubos de pvc rígido, procedeu-se dentro de padrões normais , como no exposto no capítulo 2

3.4. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS

3.4.1. VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL (NBR-5687)

OBJETIVO

Verificar a estabilidade dimensional do tubo

APARELHAGEM

1. Serra manual ou policorte;
2. Trena;
3. Paquímetro com resolução de 0,05 mm;
4. Termômetro com resolução de 1°C;
5. Banho de glicerina, termoequilizado, dotado de agitador, capaz de manter a temperatura de ensaio no meio líquido durante toda sua duração (fig.3.2);
6. Varão;
7. Riscador.

PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Cortar o tubo com 200 mm de comprimento e fazer dois (2) furos distantes entre si 180° em uma das extremidades, conforme figura 3.1

PROCEDIMENTO:

1. Ligar banho de glicerina e esperar estabilizar a temperatura em $140^{\circ} \text{C} \pm 4$;
2. Condicionar os corpos-de-prova durante 2 h a $20(+3/-2)^{\circ} \text{C}$;

3. Com o paquímetro e o riscador, traçar duas marcas circulares, separadas entre si de 100 mm, deixando as extremidades livres de no mínimo 10 mm. Medir a distância entre as marcas circulares em quatro geratrizes equidistantes entre si a 90° e calcular a média das (4) medições de cada corpo-de-prova (X_0), conforme figura 6.2;

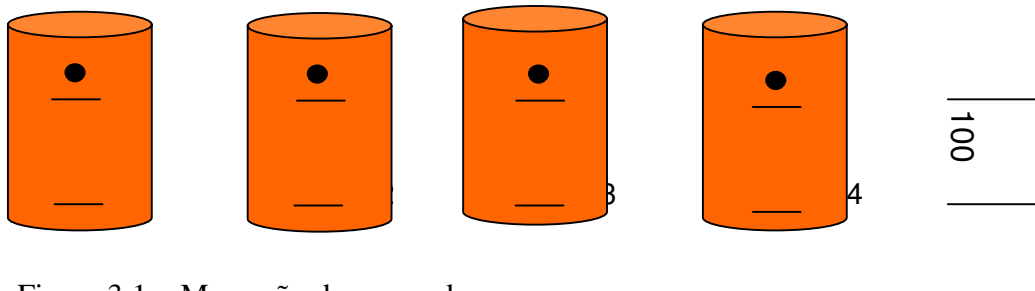


Figura 3.1 – Marcação do corpo de prova

4. Introduzir o varão nos furos do tubo, e colocar o conjunto (varão + tubo) dentro do banho de glicerina, apoiando as extremidades do varão nos suportes laterais existentes dentro do banho;
5. Deixar no banho de glicerina conforme parâmetros abaixo:

Espessura (mm)	Tempo (minutos)
$e \leq 8$	15
$e > 8$	30

Onde e é a espessura nominal do tubo.

6. Retirar do banho e deixar esfriar suspenso pelo varão até atingir a temperatura ambiente;
7. Medir com paquímetro nos quatro (4) pontos a medida final, e calcular a média para cada corpo-de-prova (X_1);
8. Calcular a variação longitudinal conforme fórmula abaixo:

$$\% \text{ variação} = \frac{X_0 - X_1}{X_0}$$

CRITÉRIO DE APROVAÇÃO

- $\% \text{ variação} \leq 5\%$, para qualquer tipo de tubo;
- A - Aprovado R - Reprovado



Figura 3.2 – Tanque de glicerina termoequilibrado

3.4.2 VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À PRESSÃO HIDROSTÁTICA INTERNA (NBR – 5688)

OBJETIVO

Verificar a resistência à pressão hidrostática interna de curta duração do tubo.

APARELHAGEM

1. Serra manual ou policorte;
2. Tampões ou caps de fechamento para montagem e acoplamento dos corpos-de-prova ao equipamento de pressurização, assegurando uma perfeita estanqueidade do conjunto, (fig 3.3);
3. Mangueiras de engate rápido;
4. Cronômetro;
5. Manômetro com exatidão de $\pm 2\%$;
6. Equipamento de pressurização (cilindro de nitrogênio), e respectivo regulador de pressão, capaz de elevar, gradativamente e sem golpe, em um tempo máximo de 30 s, a pressão requerida e de mantê-la durante todo o ensaio com tolerância de 2%, com reservatório de água pressurizada capaz de suprir os corpos-de-prova durante sua dilatação (“pulmão”), (fig 3.4);
7. Suportes para fixação dos corpos-de-prova, (fig 3.5).

PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Cortar o tubo com comprimento livre entre os tampões, igual a três (3) vezes o diâmetro externo nominal do tubo, ou no mínimo de 250 mm, de acordo com o seu respectivo diâmetro externo .

PROCEDIMENTOS

1. Passar pasta lubrificante nas extremidades do tubo (corpo-de-prova) e nos anéis de vedação dos tampões;
2. Colocar a extremidade do tubo no tampão (sem engate rápido) e forçar para que o mesmo entre até o fim do tampão;
3. Encher com água o tubo;
4. Colocar a extremidade do tubo no tampão (com engate rápido) e forçar para que o mesmo entre até o fim do tampão;

5. Conectar a mangueira de engate rápido do equipamento de água pressurizada no tampão (com engate rápido);
6. Abrir a válvula do cilindro de nitrogênio, girando no sentido horário, até pressão desejada; esta pressão é verificada no manômetro do cilindro de nitrogênio;
7. Abrir a válvula controladora de pressão do cilindro de nitrogênio, girando no sentido horário;
8. Verificar a pressão desejada no manômetro do equipamento de água pressurizada, aguardando um tempo para estabilização;
9. Fechar a válvula controladora de pressão do cilindro de nitrogênio, girando no sentido anti-horário;
10. Acionar cronômetro e aguardar tempo de ensaio;
11. Abrir válvula de alívio de pressão do equipamento de água pressurizada;
12. Desconectar a mangueira de engate rápido do equipamento de água pressurizada do tampão (com engate rápido);
13. Retirar os tampões do tubo;
14. Avaliar a amostra quanto aos critérios de aprovação.

CRITÉRIO DE APROVAÇÃO

- Resistir à pressão hidrostática especificada na Tabela de Valores de Ensaio do sub-capítulo 3.2.2;
- A - Aprovado R – Reprovado.



Figura 3.3 – Caps de fechamento



Figura 3.4 – Aparelho de pressurização



Figura 3.5 – Suporte de fixação de corpo de prova

3.4.3 VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO (NBR – 14262)

OBJETIVO

Determinar a resistência ao impacto do tubo

APARELHAGEM

1. Trena;
2. Equipamento de impacto, contendo um tubo-guia de metal ou plástico, que permita centrar o percussor metálico durante a queda com o mínimo de atrito; que contenha em sua base, um apoio em “v”, com ângulo de 120° e comprimento mínimo de 230mm; com um sistema de ajuste de altura do corpo-de-prova em relação ao tubo-guia, figura 3.6;
3. Percussor – figura 3.7;
4. Termômetro com resolução de 1°C;
5. Tanque de água para imersão termoestabilizado;
6. Serra manual ou policorte.

PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Cortar os corpo de prova, no mínimo, com 250 mm de comprimento.

ATIVIDADES:

1. Deixar imerso em água a 23 ± 2 °C, durante 1 hora;
2. Colocar o percussor;
3. Levantar o percussor a uma altura de 2 metros;
4. Soltar sem que o mesmo bata duas ou mais vezes no corpo de prova;
5. Posicionar o tubo novamente na calha de modo que o impacto não ocorra no mesmo ponto do impacto anterior;
6. Repetir esta operação até atingir o número de impactos especificado ou a ruptura do tubo;
7. Verificar trinca, ou quebra;
8. Avaliar as amostras conforme critério de aprovação.

CRITÉRIO DE APROVAÇÃO

- Resistir ao impacto da queda de 2 metros de um percussor com pesos conforme tabelas do sub-capítulo 3.2.2;
- A - Aprovado R – Reprovado.



Figura 3.6 – Aparelho de impacto



Figura3.7 – Percussores de impacto

3.4.4 EXTRUSIÔMETRO (CHEMSON)

OBJETIVO

Avaliar comportamento reológico, através de análise pressão da massa de determinado composto de pvc.

APARELHAGEM

1. Extrusômetro MR-20 – figura 3.8.
2. Misturador intensivo

PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Preparar composto(*dry-blend*), em um misturador intensivo, conforme ilustrado no sub-capítulo 2.1.3

ATIVIDADES:

- Ligar o aparelho e esperar que se atinja a temperatura programada,
- Alimentar o aparelho com composto de pvc, de maneira contínua, como no processo de extrusão,
- Esperar que o processo se estabilize e colher resultados,
- Fazer relatório com os resultados obtidos

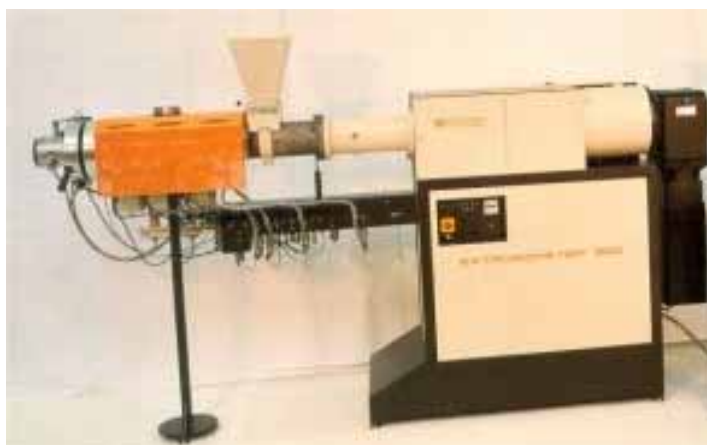


Figura 3.8 – Extrusômetro MR-20 – Göttfert-Feinwerk-Technik

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo descreve todos os resultados obtidos experimentalmente, de acordo com a metodologia descrita no capítulo 3, como já foi dito anteriormente, visando avaliar a viabilidade da migração de um estabilizante térmico à base de chumbo para um de cálcio-zinco no processo de fabricação de tubos de PVC rígido, sendo produzidos 12 lotes de tubos de 6 diferentes bitolas nas plantas de Penápolis e Simões filho, do grupo Asperbras. Para cada produto (tubo), foram produzidos dois lotes distintos, um com estabilizante a base de chumbo e o outro com estabilizante a base de cálcio-zinco, a princípio mantendo-se iguais, todas as outras características de processamento tais como, mesma extrusora, mesmos parâmetros de extrusão (regulagem de máquina) e mesmas formulações de compostos de pvc (exceto claro, os estabilizantes térmicos), permitindo assim uma melhor conclusão dos resultados obtidos, que serão apresentados adiante no subcapítulo 4.1. Na empresa Chemson Ltda, foram realizados ensaios em seus laboratórios, com formulações de compostos utilizados na fabricação de tubos nas linhas de esgoto e predial, à base de chumbo e cálcio-zinco, comparando-se resultados reológicos, obtidos através de um Reômetro de torque e de um Extrusômetro. Os comentários e discussões serão apresentados no subcapítulo 4.2.

Seguem abaixo os resultados , com os respectivos comentários:

4.1 RESULTADOS EXPERIMENTAIS (ASPERBRAS)

4.1.1 EXPERIMENTO 1 – TUBO ADUTORA DE 60MM CL 15

O primeiro experimento foi realizado em junho de 2003, na planta de Penápolis(S.P), produzindo-se um Tubo Adutora de DE 60 mm Classe 15, de acordo com a NBR-5647-1, em uma extrusora American Maplan DSK-62 dupla rosca cônica, com capacidade nominal de produção de 300 kg/h. Foram produzidos um total de 400 tubos, sendo 200 com o estabilizante de chumbo(XC-9090) e os 200 restantes com formulações a base de estabilizantes de cálcio-zinco(CZ-3098), consumindo-se cerca de 2500 kg de matéria prima formulada, considerando-se também a quantidade utilizada para regulagem de máquina e estabilização do processo. O tempo total despendido para a realização do experimento, considerando-se a fabricação e os ensaios em laboratório, somaram cerca de 14 horas, com devido acompanhamento. De acordo com o tamanho das amostragens(200 tubos), foram colhidas 60 amostras de cada lote produzido, ao longo da produção, e submetidos aos ensaios de estabilidade dimensional, impacto e pressão hidrostática de curta duração(PHI), 20 amostras para cada ensaio respectivamente. No ensaio de estabilidade dimensional realizado conforme ilustrado no subcapítulo 3.4.1, todas as amostras de ambos os lotes foram aprovadas, ou seja, tiveram uma variação longitudinal $< 5\%$, fato esse observado também nos resultados do teste de PHI, realizado conforme descrito no subcapítulo 3.4.2, onde todos os corpos de prova suportaram a pressão de $35,2 \text{ kgf/cm}^2$ durante 6 minutos. Já no teste de impacto, onde deferimos 3 impactos com um percussor de 2 kg a uma altura de 2 metros, conforme procedimento citado no subcapítulo 3.4.3, tivemos aprovação em todas as amostras produzidas com cálcio-zinco e 5 reprovações com o lote produzido com estabilizante a base de chumbo. Parâmetros de extrusão, regulagens de máquina, formulações de compostos e resultados dos ensaios são mostrados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Parâmetros e resultados do ensaio 1

1 – PARÂMETROS DE EXTRUSÃO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090(200 tubos)	AMOSTRA CZ-3098(200 tubos)
Z1-Alimentação °C	180 / 160	180 / 160
Z2-Gelificação °C	171 / 171	171 / 171
Z3-Plastificação °C	165 / 164	165 / 165
Z4-Plastificação Pta. Rosca °C	160 / 160	160 / 160
Z5-Junção °C	170 / 170	170 / 170
Z6-Cabeçote Início °C	180 / 180	180 / 180
Z7-Cabeçote Torpedo °C	180 / 180	180 / 180
Z8-Cabeçote Paralelo °C	215 / 211	215 / 216
Z9-Massa °C	185 / 185	185 / 187
Z10-Massa °C	185 / 185	185 / 188
Contra Pressão (Ton)	16	16,50
Veloc. Extrusora (rpm)	20	22
Veloc. Alimentador (rpm)	11	12,5
Amperagem Motor (%)	65	70
Temp. Óleo Refrigeração °C	102 / 102	102 / 102
Produção Kg/hora	232,00	248,00

- Temperatura da tabela: Programado / Real
- Amostra XC-9090: Formulação feita com estabilizante de chumbo
- Amostra CZ-3098: Formulação feita com estabilizante de cálcio-zinco

2 – FORMULAÇÃO DO COMPOSTO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090	AMOSTRA CZ-3098
Resina SP-767	100,00 Kg	100,00 Kg
Carbonato	14,00 Kg	14,00 Kg
Estabilizante	2,00 Kg	2,30 Kg
Lubrificantes	-	-
Dióxido Titânio	0,20 Kg	0,20 Kg
Pigmento Marrom	0,15 Kg	0,15 Kg

3 – RELATÓRIO DE LABORATÓRIO

MÉTODO	DESCRIÇÃO	ESPECIF.	AMOSTRA	RESULTADO ENCONTRADO									
NBR 5687	ESTABILIDADE DIMENSIONAL	VARIAÇÃO LONGITUDINAL ≤ 5		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 140°C TEMPO 15 Min			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 14262	IMPACTO	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	A	A	R	R	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	PESO 2 Kg ALTURA 2 Mt Nº IMPACTO 3			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	R	A	A	A	R	A	A	A	R	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 5683	PHI	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			Cz-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 22°C TEMPO 6 Min PRESSÃO 35,2Kgf/cm²			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			Cz-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

* A – Aprovado R – Reprovado

4.1.2 EXPERIMENTO 2 – TUBO PREDIAL ÁGUA FRIA DE 25MM PN 750KPA

No segundo experimento, realizado em junho de 2003, na planta de Penápolis(S.P), foi produzido um Tubo Predial Água Fria de DE 25 mm PN 750 Kpa, de acordo com a NBR-5648, em uma extrusora Imacom DR-67,L/D:22 dupla rosca paralela, com capacidade nominal de produção de 100 kg/h. Foram produzidos um total de 520 tubos, sendo 260 com o estabilizante de chumbo(XC-9090) e os 260 restantes com formulações a base de estabilizantes de cálcio-zinco(CZ-3098), consumindo-se cerca de 750 kg de composto, considerando-se também a quantidade utilizada para start-up da máquina e estabilização do processo. O tempo total despendido para a realização do experimento, considerando-se a fabricação e os ensaios em laboratório, somaram cerca de 10 horas, com devido monitoramento. De acordo com o tamanho das amostragens (260 tubos), foram colhidas 60 amostras de cada lote produzido, ao longo da produção, e submetidos aos ensaios de estabilidade dimensional, impacto

e pressão hidrostática de curta duração (PHI), 20 amostras para cada ensaio respectivamente. No ensaio de estabilidade dimensional realizado conforme ilustrado no subcapítulo 3.4.1, todas as amostras de ambos os lotes foram aprovadas, ou seja, tiveram uma variação longitudinal $< 5\%$, fato esse observado também nos resultados do teste de PHI, realizado conforme descrito no subcapítulo 3.4.2, onde todos os corpos de prova suportaram a pressão de $54,6 \text{ kgf/cm}^2$ durante 6 minutos. Já no teste de impacto, onde deferimos 01 impacto com um cursor de $1,0 \text{ kg}$ a uma altura de $2,0 \text{ metros}$, conforme procedimento citado no subcapítulo 3.4.3, tivemos apenas 02 reprovações nas amostras produzidas com cálcio-zinco e reprovação de todo o lote produzido com estabilizante a base de chumbo. Parâmetros de extrusão, regulagens de máquina, formulação de compostos e resultados dos ensaios são mostrados na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Parâmetros e resultados do ensaio 2

1 – PARÂMETROS DE EXTRUSÃO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090(260 tubos)	AMOSTRA CZ-3098(260tubos)
Z1-Alimentação °C	165 / 165	165 / 166
Z2-Compressão °C	160 / 158	160 / 161
Z3- Compressão °C	160 / 160	160 / 157
Z4-Degasagem°C	160 / 158	160 / 159
Z5- Plastificação °C	160 / 158	160 / 159
Z6- Plastificação °C	155 / 155	155 / 179
Z7-Junção °C	160 / 160	160 / 161
Z8-Junção °C	160 / 162	160 / 162
Z9-Cabeçote °C	174 / 173	174 / 174
Z10- Cabeçote °C	175 / 174	175 / 175
Z11- Cabeçote °C	200 / 200	200 / 201
Veloc. Extrusora (rpm)	34,6	36
Veloc. Alimentador (rpm)	21,6	22,3
Amperagem Motor (%)	41,5	43
Produção Kg/hora	76,50	88,20

- Temperatura da tabela: Programado / Real

2 – FORMULAÇÃO DO COMPOSTO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090	AMOSTRA CZ-3098
Resina SP-767	100,00 Kg	100,00 Kg
Carbonato	12,00 Kg	12,00 Kg
Estabilizante	2,00 Kg	2,30 Kg
Lubrificantes	-	-
Dióxido Titânio	0,20 Kg	0,20 Kg
Pigmento Marrom	0,15 Kg	0,15 Kg

3 – RELATÓRIO DE LABORATÓRIO

MÉTODO	DESCRIÇÃO	ESPECIF.	AMOSTRA	RESULTADO ENCONTRADO									
NBR 5687	ESTABILIDADE DIMENSIONAL	VARIAÇÃO LONGITUDINAL ≤ 5		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 140°C TEMPO 15 Min			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 14262	IMPACTO	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	PESO 1Kg ALTURA 2 Mt Nº IMPATO 1		XC-9090	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
			CZ-3098	R	R	A	A	A	A	A	A	A	A
				11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 5683	PHI	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	TEMPER. 22°C TEMPO 6 Min PRESSÃO 54,6 Kgf/cm².		XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
				11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

* A – Aprovado R – Reprovado

4.1.3 EXPERIMENTO 3 – TUBO ADUTORA DE 85MM CL 15

O terceiro experimento foi realizado em julho de 2003, na planta de Simões Filho (BA), produzindo-se um Tubo Adutora de DE 85 mm Classe 15, de acordo com a NBR-5647-1, em uma extrusora American Maplan DSK-62 dupla rosca cônica, com capacidade nominal de produção de 300 kg/h. Foram produzidos um total de 500 tubos, sendo 250 com o estabilizante de chumbo(XC-9090) e os 250 restantes com formulações a base de estabilizantes de cálcio-zinco(CZ-3098), consumindo-se cerca de 7.000 kg de matéria prima formulada, considerando-se também a quantidade utilizada para regulagem de máquina e estabilização do processo. O tempo total despendido para a realização do experimento, considerando-se a fabricação e os ensaios em laboratório, somaram cerca de 48 horas, com devido acompanhamento. De acordo com o tamanho das amostragens (250tubos), foram colhidas 60 amostras de cada lote produzido, ao longo da produção, e submetidos aos ensaios de estabilidade dimensional, impacto e pressão hidrostática de curta duração(PHI), 20 amostras para cada ensaio respectivamente. No ensaio de estabilidade dimensional realizado conforme ilustrado no

subcapítulo 3.4.1, todas as amostras de ambos os lotes foram aprovadas, ou seja, tiveram uma variação longitudinal $< 5\%$, fato esse observado também nos resultados do teste de PHI, realizado conforme descrito no subcapítulo 3.4.2, onde todos os corpos de prova suportaram a pressão de $54,6 \text{ kgf/cm}^2$ durante 6 minutos. Já no teste de impacto, onde deferimos 4 impactos com um percussor de 3,0 kg a uma altura de 2,0 metros, conforme procedimento citado no subcapítulo 3.4.3, tivemos aprovação em todas as amostras produzidas com cálcio-zinco e 3 reprovações com o lote produzido com estabilizante a base de chumbo. Parâmetros de extrusão, regulagens de máquina, e resultados dos ensaios são mostrados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Parâmetros e resultados do ensaio 3

1 – PARÂMETROS DE EXTRUSÃO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090(250 tubos)	AMOSTRA CZ-3098(250 tubos)
Z1-Alimentação °C	171 / 124	171 / 130
Z2-Gelificação °C	175 / 175	175 / 175
Z3-Plastificação °C	172 / 172	172 / 172
Z4-Plastificação Pta. Rosca °C	158 / 168	158 / 173
Z5-Junção °C	171 / 171	171 / 171
Z6-Cabeçote Início °C	167 / 167	167 / 167
Z7-Cabeçote Torpedo °C	170 / 170	170 / 170
Z8-Cabeçote Paralelo °C	192 / 190	192 / 190
Contra Pressão (Ton)	9,9 – 11,4	10,3 – 12,0
Veloc. Extrusora (rpm)	23	26
Veloc. Alimentador (rpm)	11,5	12,5
Amperagem Motor (%)	55-60	60-65
Produção Kg/hora	265,00	290,00

* Temperatura da tabela: Programado / Real

2 – FORMULAÇÃO DO COMPOSTO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090	AMOSTRA CZ-3098
Resina SP-767	100,00 Kg	100,00 Kg
Carbonato	12,00 Kg	12,00 Kg
Estabilizante	2,00 Kg	2,30 Kg
Lubrificantes	-	-
Dióxido Titânio	0,20 Kg	0,20 Kg
Pigmento Marrom	0,15 Kg	0,15 Kg

3 – RELATÓRIO DE LABORATÓRIO

MÉTODO	DESCRIÇÃO	ESPECIF.	AMOSTRA	RESULTADO ENCONTRADO									
NBR 5687	ESTABILIDADE DIMENSIONAL	VARIAÇÃO LONGITUDINAL ≤ 5		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 140°C TEMPO 15 Min			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 14262	IMPACTO	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	R	A	R	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	PESO 3Kg ALTURA 2 Mt Nº IMPACTO 4			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 5683	PHI	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 22°C TEMPO 6 Min PRESSÃO 54,6 Kgf/cm².			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

* A – Aprovado R – Reprovado

4.1.4 EXPERIMENTO 4 – TUBO DEFOFO DN 200 PN 1MPA

O primeiro experimento foi realizado em julho de 2003, na planta de Simões Filho(BA), produzindo-se um Tubo Defofo DN 200 PN 1 Mpa de acordo com a NBR-7665 em uma extrusora Battenfeld DR-90,L/D:28, dupla rosca paralela, com capacidade nominal de produção de 500 kg/h. Foram produzidos um total de 460 tubos, sendo 230 com o estabilizante de chumbo(XC-9090) e os 230 restantes com formulações a base de estabilizantes de cálcio-zinco(CZ-3098), consumindo-se cerca de 30.000 kg de matéria prima formulada, considerando-se também a quantidade utilizada para regulagem de máquina e estabilização do processo. O tempo total despendido para a realização do experimento, considerando-se a fabricação e os ensaios em laboratório, somaram cerca de 45 horas, com devido acompanhamento. De acordo com o tamanho das amostragens(230 tubos), foram colhidas 60 amostras de cada lote produzido, ao longo da produção, e submetidos aos ensaios de estabilidade dimensional, impacto e pressão hidrostática de curta duração(PHI), 20 amostras para cada ensaio respectivamente. No ensaio de estabilidade dimensional realizado conforme ilustrado no subcapítulo 3.4.1, todas as amostras de ambos os lotes foram aprovadas, ou seja, tiveram uma

variação longitudinal < 5%, fato esse observado também nos resultados do teste de PHI, realizado conforme descrito no subcapítulo 3.4.2, onde todos os corpos de prova suportaram a pressão de 35,2 kgf/cm² durante 6 minutos. Já no teste de impacto, onde deferimos 12 impactos com um percussor de 5,0 kg a uma altura de 2 metros, conforme procedimento citado no subcapítulo 3.4.3, tivemos aprovação em todas as amostras produzidas com cálcio-zinco e 3 reprovações com o lote produzido com estabilizante a base de chumbo. Parâmetros de extrusão, regulagens de máquina, e resultados dos ensaios são mostrados na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Parâmetros e resultados do ensaio 4

1 – PARÂMETROS DE EXTRUSÃO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090(230 tubos)	AMOSTRA CZ-3098(230 tubos)
Z1-Alimentação °C	190 / 190	190 / 190
Z2-Gelificação °C	190 / 190	190 / 190
Z3-Plastificação °C	180 / 180	180 / 180
Z4-Plastificação Pta. Rosca °C	170 / 170	170 / 170
Z5-Junção °C	165 / 165	165 / 165
Z6-Cabeçote °C	155 / 155	155 / 155
Z7-Cabeçote °C	165 / 165	165 / 165
Z8-Cabeçote °C	165 / 165	165 / 165
Z9-Cabeçote °C	175 / 175	175 / 175
Z10-Cabeçote °C	175 / 175	175 / 175
Z11-Cabeçote °C	175 / 175	175 / 175
Z12-Cabeçote °C	185 / 185	185 / 185
Z13-Cabeçote °C	185 / 185	185 / 185
Pressão Massa (bar)	161	162
Veloc. Extrusora (rpm)	16,2	18,1
Veloc. Alimentador (rpm)	31,4	35,2
Amperagem Motor (%)	62	64
Produção Kg/hora	395,20	440,60

* Temperatura da tabela: Programado / Real

2 – FORMULAÇÃO DO COMPOSTO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090	AMOSTRA CZ-3098
Resina SP-767	100,00 Kg	100,00 Kg
Carbonato	8,00 Kg	8,00 Kg
Estabilizante	2,20 Kg	2,50 Kg
Lubrificantes	-	-
Dióxido Titânio	0,10 Kg	0,10 Kg
Pigmento Azul	0,036 Kg	0,036 Kg

3 – RELATÓRIO DE LABORATÓRIO

MÉTODO	DESCRIÇÃO	ESPECIF.	AMOSTRA	RESULTADO ENCONTRADO									
NBR 5687	ESTABILIDADE DIMENSIONAL	VARIAÇÃO LONGITUDINAL ≤ 5		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 140°C TEMPO 15 Min			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 14262	IMPACTO	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	R	A	A	A	A	A	R	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	PESO 5 Kg ALTURA 2 Mt NºIMPACTO 12			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 5683	PHI	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 22°C TEMPO 60 Min PRESSÃO 35,1 Kgf/cm².			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

* A – Aprovado R – Reprovado

4.1.5 EXPERIMENTO 5 – TUBO PREDIAL ÁGUA FRIA DE 25MM PN 750KPA

O quinto experimento foi realizado em setembro de 2004, na planta de Penápolis(S.P), produzindo-se um um Tubo Predial Água Fria de DE 25 mm PN 750 Kpa , de acordo com a NBR-5648, em uma extrusora Imacom DR-67,L/D:22 dupla rosca paralela, com capacidade nominal de produção de 100 kg/h. Foram produzidos um total de 400 tubos, sendo 200 com o estabilizante de chumbo(XC-9090) e os 200 restantes com formulações a base de estabilizantes de cálcio-zinco(CZ-3098), consumindo-se cerca de 700 kg de matéria prima formulada, considerando-se também a quantidade utilizada para regulação de máquina e estabilização do processo. O tempo total despendido para a realização do experimento, considerando-se a fabricação e os ensaios em laboratório, somaram cerca de 10 horas, com devido acompanhamento. De acordo com o tamanho das amostragens(200 tubos), foram colhidas 60 amostras de cada lote produzido, ao longo da produção, e submetidos aos ensaios de estabilidade dimensional, impacto e pressão hidrostática de curta duração(PHI), 20 amostras para cada ensaio respectivamente. No ensaio de estabilidade dimensional realizado conforme ilustrado no subcapítulo 3.4.1, todas as amostras de ambos os lotes foram aprovadas, ou seja, tiveram uma

variação longitudinal < 5%, fato esse observado também nos resultados do teste de PHI, realizado conforme descrito no subcapítulo 3.4.2, onde todos os corpos de prova suportaram a pressão de 54,6 kgf/cm² durante 6 minutos. Já no teste de impacto, onde deferimos 1 impacto com um cursor de 1,0 kg a uma altura de 2 metros, conforme procedimento citado no subcapítulo 3.4.3, tivemos aprovação em todas as amostras produzidas com cálcio-zinco e reprovação de todo o lote produzido com estabilizante a base de chumbo. Parâmetros de extrusão, regulagens de máquina, e resultados dos ensaios são mostrados na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Parâmetros e resultados de ensaio 5

1 – PARÂMETROS DE EXTRUSÃO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090(200 tubos)	AMOSTRA CZ-3098(200 tubos)
Z1-Alimentação °C	185 / 186	185 / 185
Z2-Compressão °C	185 / 186	185 / 186
Z3- Compressão °C	180 / 180	180 / 179
Z4-Degasagem °C	180 / 179	180 / 180
Z5- Plastificação °C	160 / 159	160 / 167
Z6- Plastificação °C	160 / 172	160 / 175
Z7-Junção °C	160 / 160	160 / 160
Z8-Junção °C	160 / 161	160 / 161
Z9-Cabeçote °C	160 / 158	160 / 159
Z10- Cabeçote °C	165 / 162	165 / 163
Z11- Cabeçote °C	210 / 210	210 / 211
Veloc. Extrusora (rpm)	27,8	32
Veloc. Alimentador (rpm)	25,0	28
Amperagem Motor (%)	42,0	43
Produção Kg/hora	78,00	81,70

* Temperatura da tabela: Programado / Real

2 – FORMULAÇÃO DO COMPOSTO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090	AMOSTRA CZ-3098
Resina SP-767	100,00 Kg	100,00 Kg
Carbonato	15,00 Kg	15,00 Kg
Estabilizante	2,40 Kg	2,70 Kg
Lubrificantes	-	-
Dióxido Titânio	0,20 Kg	0,20 Kg
Pigmento Marrom	0,15 Kg	0,15 Kg

3 – RELATÓRIO DE LABORATÓRIO

MÉTODO	DESCRIÇÃO	ESPECIF.	AMOSTRA	RESULTADO ENCONTRADO										
NBR 5687	ESTABILIDADE DIMENSIONAL	VARIAÇÃO LONGITUDINAL ≤ 5		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 140°C TEMPO 15 Min			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 14262	IMPACTO	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
			XC-9090	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	PESO 1Kg ALTURA 2 Mt Nº IMPACTO 1			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
			XC-9090	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 5683	PHI	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 22°C TEMPO 6 Min PRESSÃO 54,6 Kgf/cm².			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

* A – Aprovado R – Reprovado

4.1.6 EXPERIMENTO 6 – TUBO PREDIAL ÁGUA FRIA DE 40MM PN 750KPA

O sexto experimento foi realizado em setembro de 2004, na planta de Penápolis(S.P), produzindo-se um Tubo Predial Água Fria de DE 40 mm PN 750 Kpa , de acordo com a NBR-5648, em uma extrusora Imacom DR-67,L/D:22 dupla rosca paralela, com capacidade nominal de produção de 100 kg/h. Foram produzidos um total de 510 tubos, sendo 255 com o estabilizante de chumbo(XC-9090) e os 255 restantes com formulações a base de estabilizantes de cálcio-zinco(CZ-3098), consumindo-se cerca de 1800 kg de matéria prima formulada, considerando-se também a quantidade utilizada para regulagem de máquina e estabilização do processo. O tempo total despendido para a realização do experimento, considerando-se a fabricação e os ensaios em laboratório, somaram cerca de 24 horas, com devido acompanhamento. De acordo com o tamanho das amostragens(255 tubos), foram colhidas 60 amostras de cada lote produzido, ao longo da produção, e submetidos aos ensaios de estabilidade dimensional, impacto e pressão hidrostática de curta duração(PHI), 20 amostras para cada ensaio respectivamente. No ensaio de estabilidade dimensional realizado conforme ilustrado

no subcapítulo 3.4.1, todas as amostras de ambos os lotes foram aprovadas, ou seja, tiveram uma variação longitudinal < 5%, fato esse observado também nos resultados do teste de PHI, realizado conforme descrito no subcapítulo 3.4.2, onde todos os corpos de prova suportaram a pressão de 47,7 kgf/cm² durante 6 minutos. Já no teste de impacto, onde deferimos 1 impacto com um percussor de 1,5 kg a uma altura de 2 metros, conforme procedimento citado no subcapítulo 3.4.3, tivemos reprovação em apenas duas amostras produzidas com cálcio-zinco e a reprovação de todo o lote produzido com estabilizante a base de chumbo. Parâmetros de extrusão, regulagens de máquina, e resultados dos ensaios são mostrados na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Parâmetros e resultados de ensaio 6

1 – PARÂMETROS DE EXTRUSÃO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090(255 tubos)	AMOSTRA CZ-3098(255 tubos)
Z1-Alimentação °C	185 / 184	190 / 191
Z2-Compressão °C	185 / 185	192 / 190
Z3- Compressão °C	180 / 179	185 / 186
Z4-Degasagem°C	180 / 183	180 / 183
Z5- Plastificação °C	160 / 168	160 / 168
Z6- Plastificação °C	160 / 174	160 / 174
Z7-Junção °C	160 / 160	160 / 160
Z8-Junção °C	160 / 161	160 / 161
Z9-Cabeçote °C	160 / 161	160 / 159
Z10- Cabeçote °C	165 / 164	165 / 164
Z11- Cabeçote °C	210 / 210	210 / 210
Veloc. Extrusora (rpm)	27,8	33,4
Veloc. Alimentador (rpm)	25,0	31,0
Amperagem Motor (%)	42,0	38,0
Produção Kg/hora	80,60	89,43

* Temperatura da tabela: Programado / Real

2 – FORMULAÇÃO DO COMPOSTO

DESCRIÇÃO	AMOSTRA XC-9090	AMOSTRA CZ-3098
Resina SP-767	100,00 Kg	100,00 Kg
Carbonato	15,00 Kg	15,00 Kg
Estabilizante	2,40 Kg	2,70Kg
Lubrificantes	-	-
Dióxido Titânio	0,20 Kg	0,20 Kg
Pigmento Marrom	0,15 Kg	0,15 Kg

3 – RELATÓRIO DE LABORATÓRIO

MÉTODO	DESCRIÇÃO	ESPECIF.	AMOSTRA	RESULTADO ENCONTRADO									
NBR 5687	ESTABILIDADE DIMENSIONAL	VARIAÇÃO LONGITUDINAL ≤ 5		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 140°C TEMPO 15 Min			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 14262	IMPACTO	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	PESO 1,5Kg ALTURA 2 Mt Nº IMPACTO 1		CZ-3098	A	A	A	R	R	A	A	A	A	A
				11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
NBR 5683	PHI	Sem Ocorrência de Trincas Rasgos ou Quebras		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	TEMPER. 22°C TEMPO 6 Min PRESSÃO 47,7 Kgf/cm².		CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
				11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
			XC-9090	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
			CZ-3098	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

* A – Aprovado R – Reprovado

4.2 RESULTADOS EXPERIMENTAIS (CHEMSON)

Os ensaios foram realizados em um extrusômetro (MR-20 – Göttfert-Feinwerk-Technik), conforme ilustrado no subcapítulo 3.4.4, com 04 amostras distintas de formulações, sendo 02 referentes a linha de tubos de esgoto, formuladas com estabilizante a base de chumbo e cálcio-zinco respectivamente e outras 02 amostras, também preparadas com os mesmos critérios, referentes a linha para água fria.

4.2.1 AVALIAÇÃO REOLÓGICA – FORMULAÇÃO TUBOS PARA ÁGUA FRIA.

Foram preparadas duas amostras de formulação, diferenciadas apenas nos tipos de estabilizante, chumbo e cálcio-zinco, respectivamente, conforme tabela 4.7, em um misturador intensivo, aquecendo-se a mistura até 120°C e resfriando-a a 60°C. Em seguida as mesmas foram submetidas ao ensaio no extrusômetro, cujas regulagens de temperatura, velocidade de rosca e demais condições foram mantidas para os dois testes, conforme ilustrado na tabela 4.8.

Tabela 4.7 – Formulação de composto da linha predial

DESCRIÇÃO	AMOSTRA CZ-3098 (Formulação 1)	AMOSTRA XC-9090(formulação2)
Resina SP-767	100,00 Kg	100,00 Kg
Carbonato	14,00 Kg	14,00 Kg
Estabilizante	2,00 Kg	2,00 Kg
Lubrificantes	-	-
Dióxido Titânio	0,20 Kg	0,20 Kg
Pigmento Marrom	0,15 Kg	0,15 Kg

- Amostra XC-9090: Formulação feita com estabilizante de chumbo
- Amostra CZ-3098: Formulação feita com estabilizante de cálcio-zinco

Tabela 4.8 – Condições do Extrusômetro

PARÂMETROS	VALORES
Temperatura Zona 1 (°C)	175°C
Temperatura Zona 2 (°C)	180°C
Temperatura Zona 3 (°C)	185°C
Velocidade da Rosca (rpm)	30 rpm
Diâmetro de Saída (mm)	2 mm
Taxa de Compressão	1:3

Tabela 4.9 – Resultados Reológicos

DESCRIÇÃO	AMOSTRA CZ-3098 (Formulação 1)	AMOSTRA XC-9090(formulação2)
Torque (Nm)	10,8	8,6
Força de Empuxo (KN)	1,6	1,5
Pressão de Massa 11 D (bar)	30,0	20,0
Pressão de Massa 16 D (bar)	70,0	55,0
Pressão de Massa 20 D (bar)	140,0	130,0
Produção (g/min)	28,1	27,8

Os resultados reológicos obtidos nos ensaios, ilustrados na tabela 4.9, nos mostra que as formulações onde foi usado o estabilizante a base de cálcio-zinco, nas mesmas condições de processamento daquelas ensaiadas com chumbo, apresentou valores superiores de pressão de massa , torque e força de empuxo, e conseqüentemente um aumento da ordem de 2% na produção em kg /h. Este fato pode ser explicado da seguinte forma:

O composto formulado com cálcio-zinco apresenta uma melhor plastificação, ou seja ele acelera a passagem da mistura no estado inicial de pó (dry-blend), para líquido, alterando significativamente a sua viscosidade e fazendo com que a pressão de massa no interior do conjunto extrusor aumente, gerando daí um aumento na contra pressão ou força de empuxo, fazendo também com que o motor que aciona as roscas do conjunto extrusor requisite mais torque para deslocar a massa extrudada. Ainda em consequência da melhoria da plastificação, temos uma massa mais homogênea, proporcionando um melhor fluxo de escoamento, com a rosca mais cheia, resultando daí um aumento na produção. A figura 4.1, nos mostra graficamente, a evidência do aumento da pressão de massa nas formulações que utilizam cálcio-zinco em relação ao chumbo. O comparativo dos resultados de aumento de torque e força de empuxo, assim como a melhoria do desempenho de produção, são facilmente observados nas figuras 4.2 e 4.3, respectivamente.

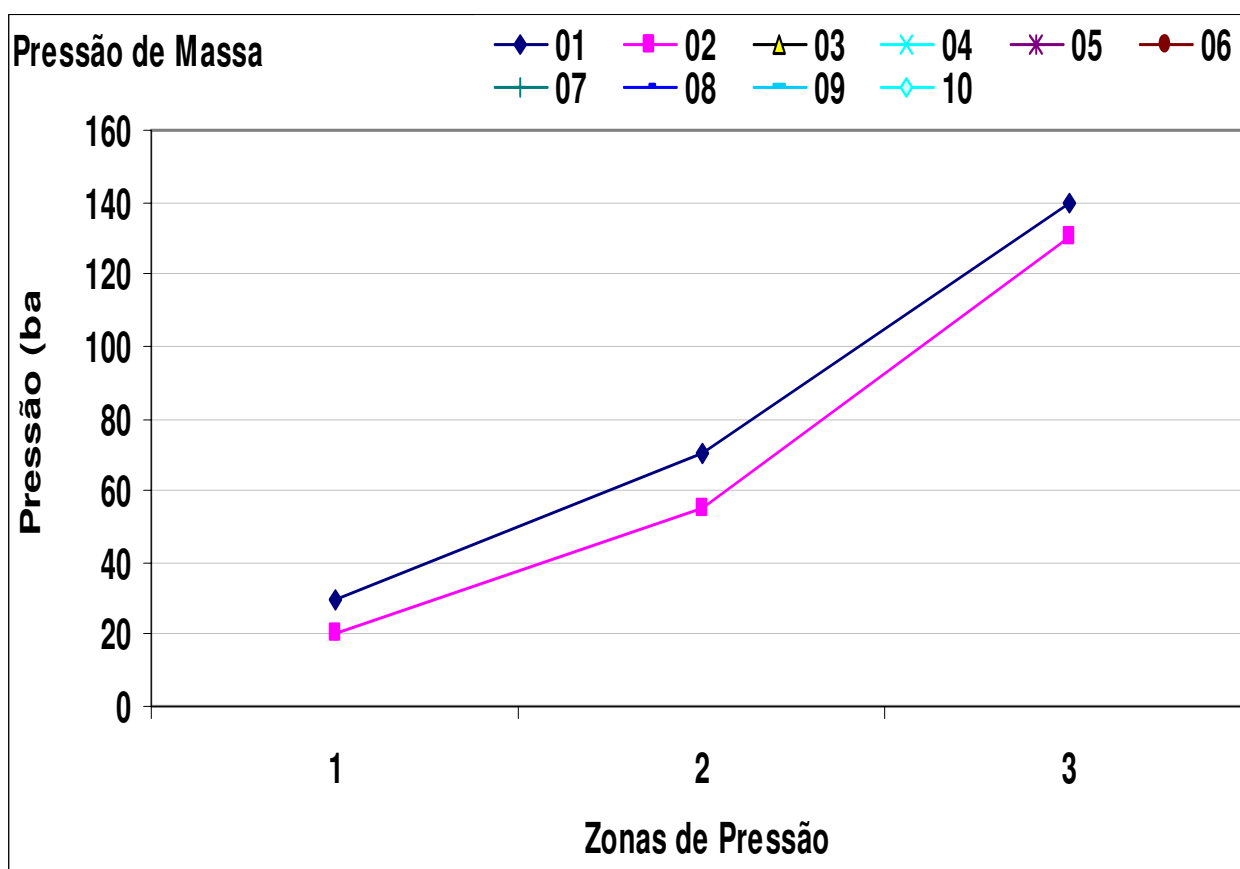


Figura 4.1 – Gráfico comparativo de Pressão de Massa

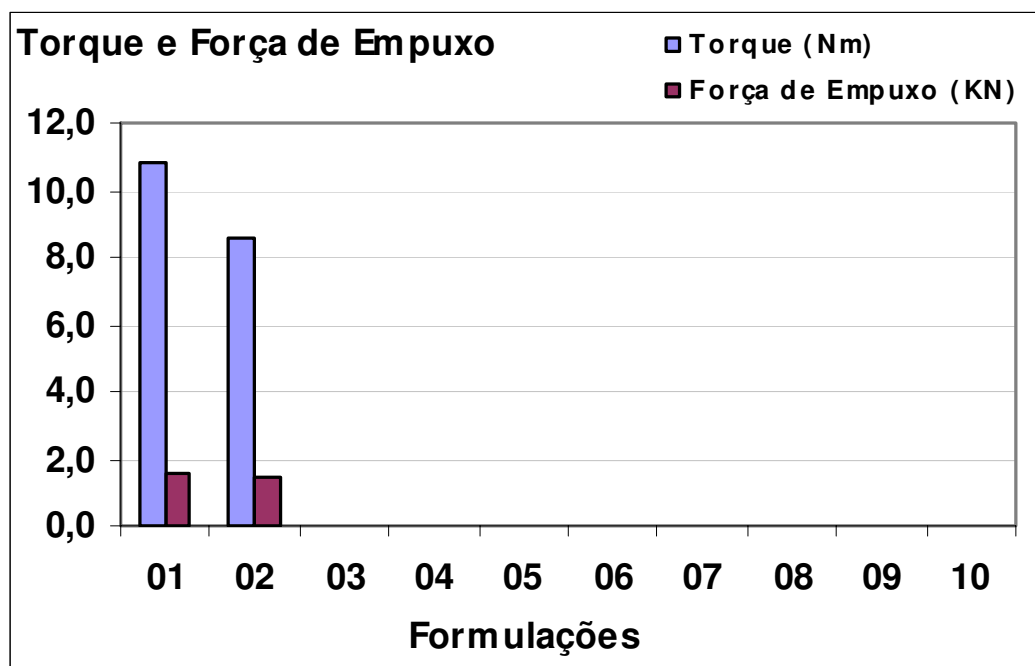


Figura 4.2 – Gráfico comparativo de Torque e Força de Empuxo

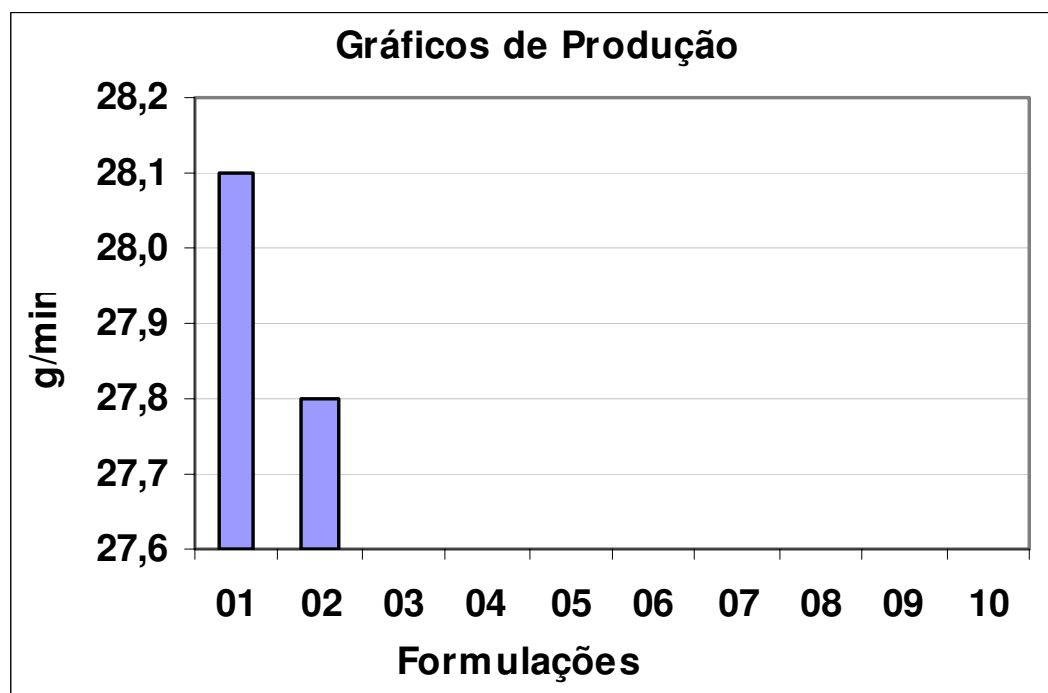


Figura 4.3 – Gráfico comparativo de Produção

4.2.2 AVALIAÇÃO REOLÓGICA – FORMULAÇÃO TUBOS DE ESGOTO SN.

Duas amostras de formulação, diferenciadas apenas nos tipos de estabilizante, chumbo e cálcio-zinco, respectivamente, conforme tabela 4.10, foram preparadas em um misturador intensivo, aquecendo-se a mistura até 120°C e resfriando-a a 60°C e submetidas ao ensaio no extrusômetro, cujas regulagens de temperatura, velocidade de rosca e demais condições foram mantidas para os dois testes, conforme ilustrado na tabela 4.11.

Tabela 4.10 – Formulação de composto da linha Esgoto SN.

DESCRIÇÃO	AMOSTRA CZ-3098 (Formulação 1)	AMOSTRA XC-9090(formulação2)
Resina SP-767	100,00 Kg	100,00 Kg
Carbonato	15,00 Kg	15,00 Kg
Estabilizante	2,20 Kg	2,20 Kg
Lubrificantes	-	-
Dióxido Titânio	0,60 Kg	0,60 Kg

- Amostra XC-9090: Formulação feita com estabilizante de chumbo
- Amostra CZ-3098: Formulação feita com estabilizante de cálcio-zinco

Tabela 4.11 – Condições do Extrusômetro

PARÂMETROS	VALORES
Temperatura Zona 1 (°C)	175°C
Temperatura Zona 2 (°C)	180°C
Temperatura Zona 3 (°C)	185°C
Velocidade da Rosca (rpm)	30 rpm
Diâmetro de Saída (mm)	2 mm
Taxa de Compressão	1:3

Tabela 4.12 – Resultados Reológicos

DESCRIÇÃO	AMOSTRA CZ-3098 (Formulação 1)	AMOSTRA XC-9090(formulação2)
Torque (Nm)	20,0	13,0
Força de Empuxo (KN)	2,8	2,3
Pressão de Massa 11 D (bar)	20,0	20,0
Pressão de Massa 16 D (bar)	110,0	80,0
Pressão de Massa 20 D (bar)	240,0	205,0
Produção (g/min)	26,0	26,7

Os resultados reológicos obtidos, apresentados na tabela 4.1.2, foram bem semelhantes aos do experimento anterior, onde nota-se que as formulações onde foi usado o estabilizante a base de cálcio-zinco, nas mesmas condições de processamento daquelas ensaiadas com chumbo, apresentou valores superiores de pressão de massa, torque e força de empuxo, e conseqüentemente um aumento da ordem de 2,5% na produção em kg /h. A repetibilidade dos resultados nos permite, com muita certeza, explicar tais fatos, utilizando-se dos mesmos argumentos aplicados no subcapítulo 4.2.1.

A figura 4.4, nos mostra graficamente, a evidência do aumento da pressão de massa nas formulações que utilizam cálcio-zinco em relação ao chumbo. O comparativo dos resultados de aumento de torque e força de empuxo, assim como a melhoria do desempenho de produção, são facilmente observados nas figuras 4.5 e 4.6, respectivamente.

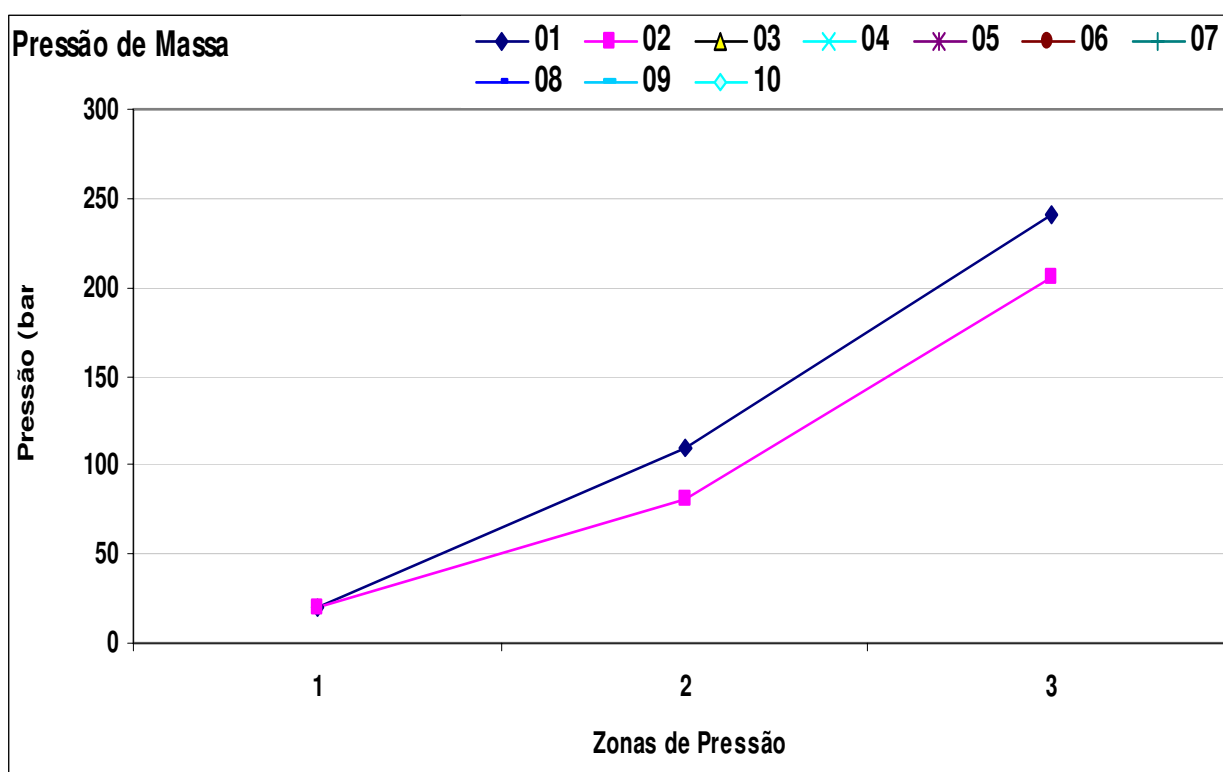


Figura 4.4 – Gráfico comparativo de Pressão de Massa

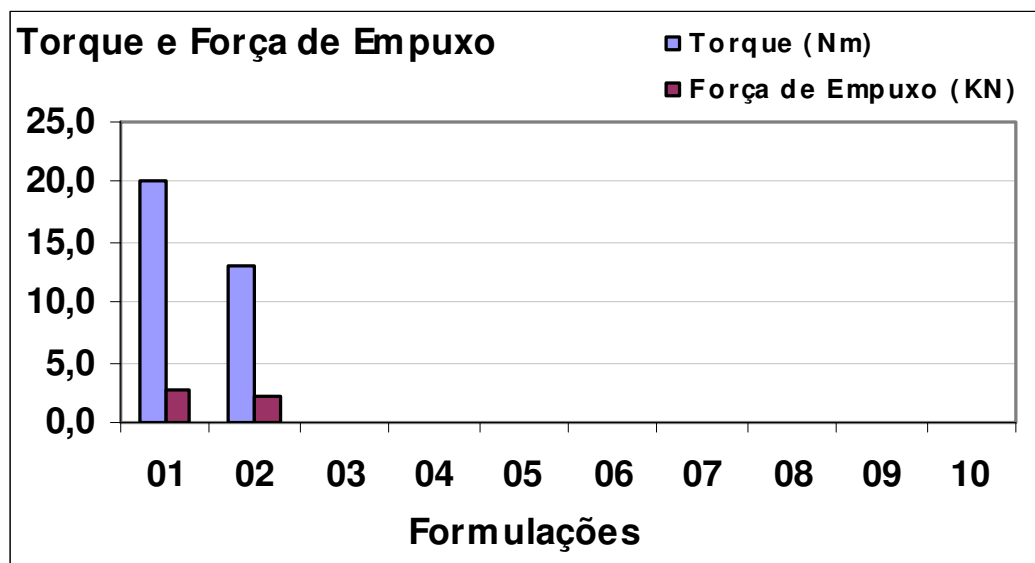


Figura 4.5 – Gráfico comparativo de Torque e Força de Empuxo

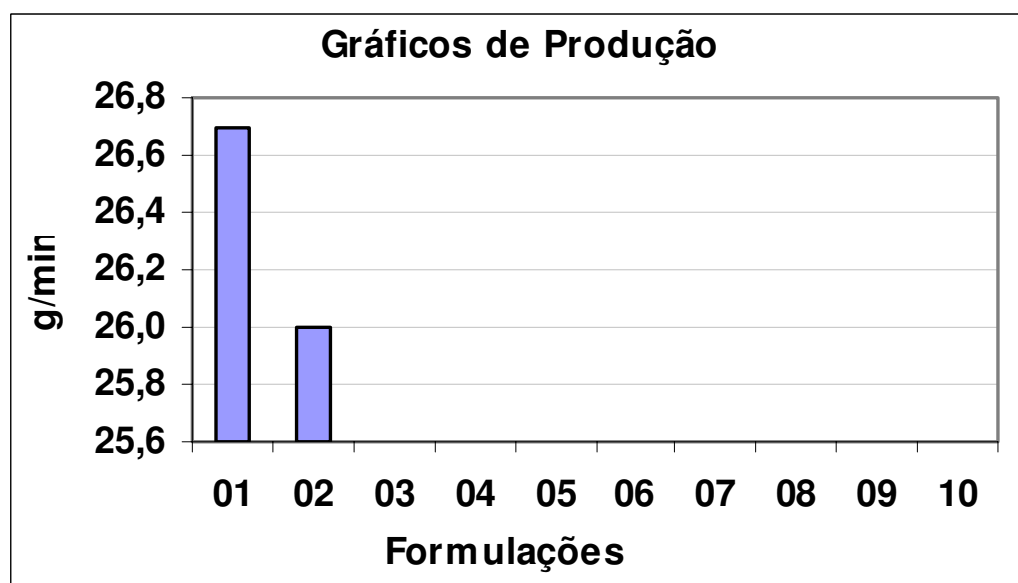


Figura 4.6 – Gráfico comparativo de Produção

4.3 COMENTÁRIOS E DISCUSSÕES

- Baseado nas formulações padrão, já utilizadas na indústria, para fabricação dos produtos citados com estabilizantes a base de chumbo, foram feitos alguns testes preliminares para se chegar a algumas quantidades necessárias do novo estabilizante para garantir ao menos as condições mínimas de processabilidade;
- As características dimensionais dos tubos se mantiveram constantes , dentro dos valores especificados por norma em ambos os casos;
- No acabamento dos tubos(bolsas) feitos com composto utilizando-se o cálcio-zinco notou-se um discreto “branqueamento”, na área aquecida para moldagem das bolsas, não comprometendo, porém, a qualidade final do produto;
- Apesar dos parâmetros de regulagem de máquina serem mantidos iguais para os lotes produzidos com estabilizante a base de chumbo e a base de cálcio-zinco, nota-se algumas variações como temperatura real, velocidades da extrusora e do alimentador de matéria prima ,amperagem do motor e contra pressão dentro do cilindro/roscas, consequência direta do comportamento reológico de cada formulação, o que já era esperado, pois os compostos a base de cálcio-zinco, plastificam-se mais rápido, justificando tais alterações;
- A plastificação mais rápida, nas formulações com cálcio-zinco, melhora muito a estabilização do processo, diminuindo as pulsações, comuns quando as roscas trabalham vazias, evitando assim a necessidade de se utilizar de artifícios, tais como o uso de lubrificantes e até possíveis alterações no projeto dos ferramentais de extrusão;
- A produtividade das extrusoras estiveram de uma maneira geral abaixo do valor nominal, devido ao fato dos respectivos conjuntos extrusores (cilindro/roscas), apresentarem um certo desgaste, porém nota-se claramente um melhor desempenho de produção em kg/h , cerca de 6,5% em média, para os lotes produzidos com cálcio-zinco;
- Foi observado que em máquinas com o cilindro mais curto, L/D menor, o desempenho do novo produto foi consideravelmente melhor. Os compostos a base de cálcio-zinco

plastificam melhor, portanto em roscas mais curtas, o tempo de passagem da massa plastificada se torna menor, conseqüentemente, conseguimos uma melhor produtividade e menos riscos de degradação do material durante o processo, podendo-se utilizar menores quantidades de estabilizante, implicando ai um produto final de melhor qualidade;

- Quanto às propriedades físicas finais dos tubos, avaliadas em laboratório, podemos observar claramente que em relação aos testes de estabilidade dimensional e phi , todos os resultados obtidos foram satisfatórios, sem nenhuma rejeição, ao passo que os lotes produzidos com chumbo apresentaram várias reprovações no teste de impacto contra quase nenhuma daqueles produzidos com cálcio-zinco, salvo exceções observadas no experimento 2 e no experimento 6, cujas reprovações se justificam no 1º caso pelo fato de que , no início da produção do lote com cálcio-zinco, ainda existia no silo de alimentação da máquina, sobras do composto a base de chumbo, que fora feito anteriormente, “contaminando” assim a mistura subsequente; já no 2º caso foi detectada uma resistência da zona de plastificação queimada, que após a sua substituição, fez com que o processo se estabilizasse novamente, sem a necessidade, em ambos os casos, de se repetir os ensaios, já que os problemas devidamente identificados, nos deixaram confortáveis quanto ao desempenho dos mesmos;
- Considerando-se que utilizamos as mesmas quantidades e os mesmos tipos de produtos, para formularmos os dois tipos de compostos dos respectivos lotes, com exceção é claro dos estabilizantes, e utilizando-se do raciocínio aplicado na tabela 2.7 para calcularmos preços de formulações e sabendo-se que hoje o estabilizante a base de cálcio-zinco tem o custo mais elevado que o chumbo e em torno de 25%, podemos dizer que o impacto no custo final da formulação, girou em média na ordem de 2,0% mais caro respectivamente, que é um número considerável diante das margens apertadíssimas de comercialização atuais, e tornaria talvez a migração inviável economicamente;
- Para se evitar no processo produtivo, os altos índices de refugo com compostos a base de chumbo, decorrentes da rejeição elevada apontada nos testes de impacto em todos os ensaios realizados, a empresa Asperbras, no seu dia a dia, se vê então obrigada a trabalhar com formulações mais ricas, com menos cargas minerais (carbonato de cálcio), variando em torno de 4 a 12 pcr, de acordo com o tipo de produto, tornando ai os custos de formulação mais altos com relação às usadas, em torno de 1,5% na média, resultado

facilmente obtido, utilizando-se do raciocínio da tabela 2.7. Nos 12 ensaios realizados utilizamos cargas minerais(carbonato de cálcio) mais altas que as usadas normalmente na empresa, preocupando-nos é claro, em não exceder valores que pudessem comprometer o produto final, quando avaliado, principalmente, quanto ao seu teor de cinzas, cujos valores máximos permissíveis são ditados pela NM 84:96(*), fazendo com isso uma compensação de custos de formulação, viabilizando daí economicamente a substituição dos estabilizantes.

- A repetibilidade dos resultados dos ensaios realizados tanto na Asperbras, quanto na Chemson, nos mantém de certa forma muito confortáveis em concluir de maneira positiva, sobre a viabilidade técnica da substituição do estabilizante de chumbo, pelo de cálcio-zinco.

(*) NM 84:96 – A referida norma tem como objetivo, controlar, através de ensaios químicos, a quantidade de carga mineral usada nos compostos de extrusão para tubos de pvc rígido, onde os valores permitidos são ditados pela mesma, de acordo com o tipo de tubo analisado.

Resumidamente, o ensaio consiste, em colhermos uma pequena amostra do tubo, ou diretamente do composto utilizado para sua fabricação, nocaço do tubo, destroçar o mesmo, reduzindo em minúsculos pedaços, pesar em balança com precisão milisemal, colocar em um cadinho, previamente desumidificado, inserir o mesmo em uma mufla com temperatura controlada em torno de 1050°C, durante intervalo de tempo pré determinado, até que todo produto se queime. As cinzas restantes, provenientes da carga mineral, já que o restante dos componentes da formulação se volatilizam, são pesadas e comparadas com o valor inicial. Dai matematicamente se chega a um resultado(índice), que é comparado ao valor permissível, aprovando-se ou não o produto. Geralmente esse tipo de ensaio não é exigido pelo cliente, no recebimento.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSÕES

Tendo em vista a proposta deste trabalho, que é avaliar a **aplicação de estabilizantes térmicos à base de cálcio-zinco**, em substituição aos estabilizantes à base de chumbo, especificamente na fabricação de tubos de pvc rígido, através de estudos experimentais, para que se justifique ou não essa migração, podemos dizer, após analisar os resultados, que sob o ponto de vista técnico, essa mudança é inteiramente satisfatória, pois como visto, nós conseguimos uma melhora significativa nas propriedades físicas do produto final (resistência ao impacto), aumento de produtividade do processo em torno de 6%, diminuição do índice de lotes rejeitados e conseqüentemente o percentual de refugo do processo e por fim a eliminação definitiva do chumbo nas formulações das blendas, atendendo os apelos dos ecologistas e ambientalistas interessados, evitando-se assim danos ao meio ambiente e aos operadores que manuseiam o produto no preparo das misturas, já que os efeitos do chumbo sobre a água que obviamente circula nos tubos, atinge níveis insignificantes, controlados periodicamente pelas empresas de saneamento, de acordo com NBR 8219:1999.

Já sob o ponto de vista econômico, ficou claro, que se considerarmos, apenas os custos diretos dos dois produtos, os estabilizantes a base de cálcio-zinco, são mais caros cerca de 25%, quando comparados aos de chumbo, porém quando os utilizamos em formulações de compostos, em quantidades adequadas ao processo, juntamente com os outros componentes, essa diferença pode praticamente se anular, como visto, viabilizando economicamente a tal mudança.

Sendo assim, esse trabalho, baseado nos seus respectivos estudos de caso, nos permite concluir que a migração proposta, torna-se perfeitamente viável sob os pontos de vista, técnico e econômico.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se a realização de testes de aplicação dos vários tipos de Carbonato de Cálcio natural, utilizados em blendas na produção de tubos de PVC rígido, avaliando-se principalmente as melhorias nas condições de processamento, os níveis prematuros de desgaste de equipamentos (cilindros, roscas, ferramentais de extrusão e hélices de misturadores), e principalmente a qualidade final do produto, através da melhoria de suas propriedades mecânicas, como por exemplo, a resistência ao impacto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MORAES, Glauco Ricardo, **Reologia Aplicada à Extrusão de Polímeros**, 2001

SALOMÃO, Luís Carlos (Chemson), **Curso de Extrusão**, 2003

TRIKEM, **Sistemas de PVC para Construção Civil**, 2000

SOLVAY, Brasil. **Extrusão de Tubos Plásticos de PVC**, 2002

RETO, Maria A. de S., **Cargas para Termoplásticos**, Revista Plástico Moderno, 347 edição. 2003.

NUNES, Luciano R., Antonio R. J., Wagner O., **Tecnologia do PVC**, 2002

BRASKEM, www.braskem.com.br, acesso em 27/04/2004

SOLVAY, www.solvayindupa.com, acesso em 19/04/2004

BATTENFELD, www.sms-k.com/starframe_engl/BEX_starframe_engl/brochureBEX,
acesso em 27/4/2004

CHEMSON, www.chemson.com, acesso em 02/05/2004

INSTITUTO DO PVC, www.institutodopvc.org, acesso em 10/04/2004

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas - NM 85:1996 Dimensional.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 5687:1999 Ensaio de Estabilidade Dimensional.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 14262:1999 Ensaio de Resistência ao Impacto.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 14272:1999 Ensaio de Compressão Diametral.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 5683:1999 Ensaio Pressão Hidrostática Interna de curta duração.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 5688:1999 Tubo esgoto predial.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 5647-1:1999 Tubo adutora PN 0,60 Mpa, PN 0,75 Mpa e PN 1,00 Mpa.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 7665 Tubo pvc 12 defofo.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 8219:1999 Ensaio de Verificação do Efeito Sobre a Água.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas – NM 84:96 Ensaio de Verificação do Teor de Cinzas.

KAUFHOLD, Johannes Crompton , **Trends in PVC Stabilization**, Lampertheim, Germany, 2002

R. BACALOGLU, M. Fisch, **Polymer Degradation and Stability**, v 45, p.301-313,1994

SCHILLER, Dr. M., Dr. W. Fischer (Chemson Polymer-Additive AG), **Stabilisers for PVC pipe systems**, Plastics Pipes XII, Milan Italy, April 2004

Y. SAEKI, T. Emura , **Technical progresses for PVC production**, Prog. Polym. Sci. 27 2055–2131, 2002

HANSER, Verlag , **PVC Stabilizers** (and references herein), Plastics Additives Handbook, 5th Edition, Carl , p. 456, 2001