

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

RAFAEL IKEMORI

**ESTUDO COMPARATIVO DE TUBOS UTILIZADOS PARA CONDUÇÃO
DE ÁGUA QUENTE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

SÃO PAULO

2007

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

RAFAEL IKEMORI

**ESTUDO COMPARATIVO DE TUBOS UTILIZADOS PARA CONDUÇÃO
DE ÁGUA QUENTE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Formatura

Área de Concentração:
Engenharia de Materiais

Orientador:
Prof. Dr. Angelo Fernando Padilha
Co-Orientador:
Prof. Dr. Ronald Lesley Plaut

SÃO PAULO

2007

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Angelo Fernando Padilha e ao meu co-orientador Prof. Dr. Ronald Lesley Plaut pela orientação, sugestões e apoio dado ao trabalho.

Agradeço minha família pelo apoio e pela paciência que só familiares possuem, estando sempre ao meu lado apesar de todos os contra-tempos.

Agradeço a todos meus amigos e colegas que sempre estiveram do meu lado e que me apoiaram na realização deste trabalho.

RESUMO

De um modo geral os consumidores não se preocupam quando o assunto é tubos para transporte de água potável em sistemas residenciais e prediais, porém a escolha precipitada do material pode causar diversos problemas desde um alto custo de manutenção até uma posterior troca de todo o sistema de distribuição, resultando em elevados prejuízos.

O desenvolvimento de novos produtos e os problemas contínuos apresentados pelos tubos mais vendidos no mercado tornam o tema polêmico entre os especialistas do ramo da construção civil, pois não existe uma resposta definitiva ou uma única solução para os diferentes problemas.

Para o mercado de água fria e de esgoto, o tipo de tubo dominante é o de PVC já que para essa aplicação à temperatura ambiente o polímero, além de ter baixo custo de produção, não apresenta problemas ou alteração de suas propriedades sendo muito eficiente para tal uso. Vale a pena comentar que no Brasil a baixa variação de temperatura ao longo do ano não influencia tanto quanto em países que podem nevar, por exemplo, congelando a água da tubulação podendo romper a mesma.

No caso da água quente o mercado está altamente competitivo pois os polímeros podem apresentar alteração nas suas propriedades em temperaturas elevadas, fato que favorece o tubo de cobre, que apesar de ter um custo mais elevado, é o produto recomendado por muitos especialistas do ramo para tal aplicação.

Os dois tipos de materiais mais vendidos de tubos para condução de água quente são o Policloreto de Vinila Clorado (CPVC) e o Cobre (Cu). Entretanto, outros dois produtos estão crescendo no mercado sendo eles o Polipropileno Randômico (PPR) e o Sistema PEX.

Outros tipos de tubos também servem para essa finalidade como, por exemplo, os tubos de Polietileno de alta densidade (PEAD) e os tubos de alumínio,

mas representam muito pouco nas vendas e muitas vezes não são nem considerados nas discussões do ramo.

As vantagens do tubo de cobre são suas ótimas características, tendo como destaque suas propriedades mecânicas, resistência química e longa vida útil, ou seja, possui uma confiabilidade muito maior do que qualquer outro tubo no mercado. Porém é um produto ainda caro e apresenta a instalação mais complicada entre todos.

O grande ponto da questão é que os tubos de polímero são produtos recentes se comparados com os metais, portanto possuem uma tecnologia ainda em evolução, não apresentando resultados concretos quanto à sua utilização à longos prazos.

É possível notar a tendência no desenvolvimento de novos produtos como os tubos poliméricos ou sistemas que associem ambos os materiais, em busca de uma solução que ofereça baixo custo sem perder a resistência e a confiabilidade.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

1. Objetivos	1
2. Introdução.....	2
3. Metodologia	4
4. Noções Iniciais	5
4.1. Instalações de água fria e quente	5
4.2. Normas	8
4.3. Considerações em operação	9
4.4. Considerações na escolha do material	10
5. Cobre	13
5.1 Introdução.....	13
5.2. Fabricação.....	14
i) Matéria-prima	14
ii) Fundição.....	15
iii) Moldagem	15
iv) Perfuração	17
v) Extrusão.....	17
vi) Deformação	18
vii) Recozimento.....	19
5.3. O cobre e a água potável	19
5.4. Dados técnicos	24
6. PVC.....	25
6.1.Introdução.....	25
6.2. Composição	27
6.3. Fabricação.....	27
6.4. CPVC	31
6.5. Dados técnicos	36
7. Polipropileno (PP).....	38
7.1. Introdução	38
7.2. Dados Técnicos.....	40

8. Outros Tipos de Tubos	46
8.1. Sistema PEX (Tubo de alumínio com revestimento de PEX).....	46
9. Preços.....	49
9.1. Tubo de CPVC (Tigre Aquaterm).....	49
9.2. Tubo de Cobre (ELUMA)	50
9.3. Tubo de PPR (Amanco).....	51
10. Tabela de Comparação	52
11. Análise	53
11.1. Instalação.....	53
11.2. Manutenção	54
11.3. Resistências	55
11.4. Variáveis em Serviço.....	56
12. Conclusão	58
13. Referências Bibliográficas.....	59

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 – Tamanhos de tubos de cobre fabricados pela Termomecânica	24
Tabela 2 – Tamanhos de tubos de cobre fabricados pela Eluma	24
Tabela 3 – Comparativo entre resinas (Braskem)	32
Tabela 4 – Propriedades do CPVC (Braskem)	32
Tabela 5 – Especificações do tubo Aquaterm	36
Tabela 6 – Propriedades do Polipropileno	39
Tabela 7 – Propriedades do tubo de polipropileno	41
Tabela 8 – Condutividade térmica	43
Tabela 9 – Tempo de utilização em função da temperatura de serviço	43
Tabela 10 – Dilatação longitudinal em função da temperatura	44
Tabela 11 – Preço dos tubos de CPVC na loja Telhanorte.....	49
Tabela 12 – Preço dos tubos de CPVC na loja Potenza.....	49
Tabela 13 – Preço dos tubos de CPVC na loja Center Castilho.....	49
Tabela 14 – Preço dos tubos de cobre na loja Telhanorte.....	50
Tabela 15 – Preço dos tubos de cobre na loja Potenza.....	50
Tabela 16 – Preço dos tubos de cobre na loja Center Castilho.....	50
Tabela 17 – Preço dos tubos de PPR na loja Telhanorte.....	51
Tabela 18 – Tabela de comparação com todas variáveis.....	52
Tabela 19 – Variáveis de instalação	53
Tabela 20 – Variáveis de manutenção	54
Tabela 21 – Variáveis de resistência	55
Tabela 22 – Variáveis de serviço	57
Tabela 23 – Somatória das variáveis	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 – Exemplo de tubulação predial (UFSC)	06
Figura 2 – Esquema de tubulação residencial (Amanco)	06
Figura 3 – Matéria-prima	14
Figura 4 – Cobre purificado	14
Figura 5 – Lingotamento contínuo	16
Figura 6 – Etapa de perfuração	17
Figura 7 – Extrusão sobre mandril fixo	18
Figura 8 – Extrusão sobre mandril flutuante	18
Figuras 9 e 10 – Tubos prontos para serem comercializados.....	19
Figura 11 – Tubo de cobre	23
Figura 12 – PVC no Brasil	26
Figura 13 – Monômero do PVC.....	27
Figura 14 – Origem dos polímeros	28
Figura 15 – Processo de fabricação	28
Figura 16 – Esquema de extrusora	29
Figura 17 – Parafuso de três zonas	29
Figura 18 – Ferramenta de torpedo	30
Figura 19 – Transformação do PVC em CPVC (Braskem)	31
Figura 20 – Tubo Aquaterm	36
Figura 21 – Desenho técnico	36
Figura 22 – Pressão em serviço em relação à temperatura	36
Figuras 23 e 24 – Tubos e conexões de CPVC	37
Figura 25 – Transformação de propileno em monômero	38
Figura 26 – Cadeia de Polipropileno	39
Figura 27 – Tubos, conexões e kit de instalação (Amanco)	40
Figura 28 – Especificação do tubo de PPR (Amanco)	41

Figura 29 – Curvas de regressão dos tubos de PPR	45
Figura 30 – Exemplo de uma instalação hidráulica	46
Figura 31 – Estrutura do tudo de alumínio com PEX	47
Figura 32 – Teste de dilatação linear com variação de 50°C (em mm)	48
Figura 33 – Características técnicas	48

1. Objetivos

Quando o cliente irá comprar ou investir em uma residência, eles perguntam qual é o material utilizado nas tubulações de água potável fria e quente? Os consumidores sabem quais são as variáveis importantes na escolha do material?

Muitos ainda não sabem que é preciso pensar sobre o assunto, porém quem já teve experiência com problemas relacionados à tubulação sabe como é importante fazer essas perguntas, portanto se informar antes de realizar um investimento é necessário.

Esse trabalho irá explorar, analisar e comparar benefícios e propriedades dos principais tipos de tubos utilizados nas tubulações de água potável nas residências, focando principalmente na área da condução de água quente. Aplicações, aspectos ambientais, custo, vida útil, limitações e efeitos na saúde serão algumas das variáveis consideradas no quadro de comparações. A pesquisa será baseada em diversos artigos, textos técnicos, dados de indústria, opiniões de profissionais da área e de consumidores.

A partir das análises e comparações será possível ter uma melhor idéia dos conceitos envolvidos no tema, ajudando a construir um método para a escolha do produto considerando os pontos mais importantes e suas observações.

2. Introdução

Ao longo da história humana, muitos materiais já foram utilizados para entregar água potável nas residências e nas indústrias, e até algumas décadas atrás os tubos de aço galvanizado e de ferro fundido eram os mais utilizados. Os principais problemas que surgiram foram o alto custo de instalação e os diversos tipos de corrosão, que depois de um período de 30 e 40 anos tornaram as tubulações inutilizáveis, bloqueando ou contaminando o fluxo de água.

Depois disso, os tubos de cobre e de CPVC se tornaram nos sistemas preferidos para distribuição de água quente nas residências. Nos Estados Unidos, por exemplo, o tubo de cobre representa aproximadamente 85% do mercado nas novas construções. Em suprimentos de água não-ácidos e com a instalação adequada, a tubulação de cobre tem sido aprovada no teste do tempo, sendo o meio mais confiável e seguro para essa finalidade.

Entretanto, uma nova tendência vem mudando o panorama do mercado com a entrada de novos materiais que foram desenvolvidos desafiando o monopólio dos tubos metálicos, sendo eles os tubos poliméricos.

Os tubos de Polibutileno (PB) se tornaram popular devido a seu baixo custo de instalação, mas falhas excessivas em uso causaram muitos processos que resultou na proibição em 1995 desse material para tal finalidade. E foi nesse contexto que surgiu, conquistando seu espaço no mercado, o policloreto de vinila clorado, conhecido também como CPVC.

Comparado com o cobre, o CPVC possui um apelo maior para alguns construtores dado ao seu baixo peso, sendo um material leve e de fácil instalação abaixando os custos da obra, que são repassados em custo final mais baixo para os consumidores.

Porém, todo material novo que desafia um produto consolidado no mercado precisa demonstrar uma performance superior, e o CPVC possui também seus defeitos. Um dos principais problemas dos polímeros é a sua baixa resistência a altas

temperaturas de trabalho, causando em perdas de propriedades e consequentemente diminuição da vida útil.

Muitos instaladores e encanadores profissionais evitam trabalhar com polímeros por medo de manutenção e de posteriores processos na justiça, dado aos problemas passados apresentado pelo PB. Além disso, a falta de informação que diferencia, por exemplo, o PB do CPVC, acaba influenciando na decisão dos construtores e nas exigências dos consumidores.

Um material que possui uma tecnologia mais nova e entrou recentemente no mercado são os tubos de Polipropileno (PPR). Estes são copolímeros randômicos a base de polipropileno que apresentam boas propriedades e uma instalação fácil e rápida se comparado ao CPVC, fornecendo uma relação custo/benefício capaz de preocupar seus concorrentes.

Para não perder o controle sobre o setor e garantir a qualidade do produto final, foram criadas normas locais e internacionais que vão desde a fabricação do produto, suas características e propriedades, até sua aplicação. Apesar de serem colocadas na mesma aplicação, cada tipo de material possui suas regras e seus limitantes, por isso são necessárias diferentes normas que controlam e definem um padrão para o transporte de água como, por exemplo, a ISO, ASTM e ABNT.

Além de garantir um processo de fabricação correto e um produto de qualidade confiável, a normalização padroniza o desenvolvimento de novos produtos, garantindo o contínuo progresso do setor.

3. Metodologia

O tema do trabalho surgiu a partir de novas oportunidades de mercado para diferentes materiais, necessitando uma comparação ampla e abrangente para atingir um melhor nível de conhecimento sobre o assunto.

O trabalho foi realizado a partir de algumas frentes de pesquisas com informações retiradas da internet, sites de fabricantes de tubos e materiais fornecidos pelos mesmos, associações relacionadas ao tema, fóruns de discussão, textos e artigos técnicos, livros, entrevistas com profissionais da área e opiniões de consumidores.

Foram definidas algumas prioridades e as variáveis mais importantes em relação aos diferentes materiais e ao objetivo do trabalho. A partir disso foram feitas comparações e todos os cruzamentos de dados chegando assim a uma conclusão sobre o assunto.

Os contatos realizados por e-mail ou pessoalmente ajudaram na obtenção de informações direcionando a pesquisa e tornando o trabalho viável.

4. Noções Iniciais

A distribuição de água potável em sistemas residenciais e prediais pode ser dividida em dois tipos de estudo: instalações de água fria e instalações de água quente. Nem todas as variáveis de estudo são diferentes, porém, historicamente, os sistemas que trabalham com água quente apresentaram mais problemas do que os de água fria, necessitando uma atenção maior para esse assunto.

Todos os sistemas são regidos por normas nacionais e internacionais, e as características para a condução de água potável quente são mais rígidas e específicas, pois em temperaturas elevadas as propriedades do material podem ser alteradas.

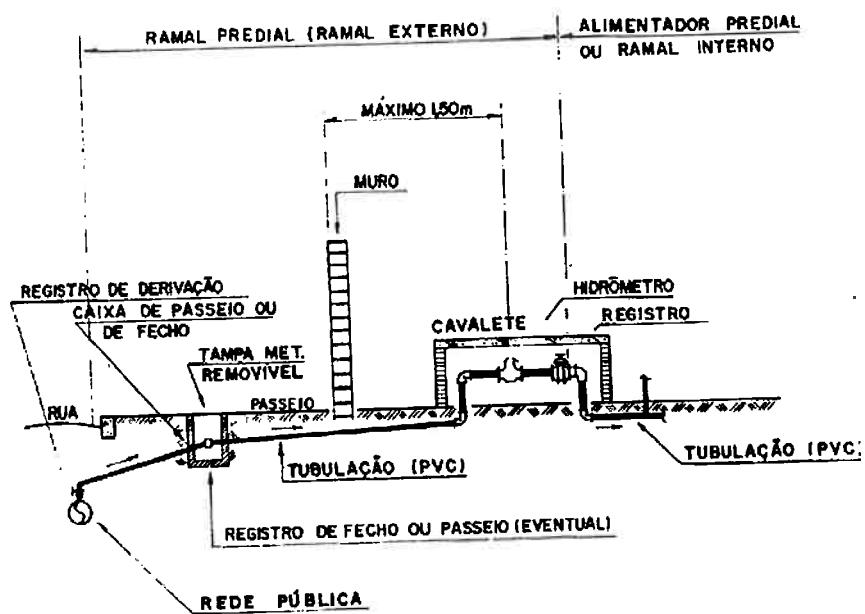
Abaixo estão comentadas algumas especificações das duas aplicações:

4.1. Instalações de água fria e quente

Para as instalações de água fria a norma utilizada é a NBR 5626/92, que “fixa as condições exigíveis, a maneira e os critérios pelos quais devem ser projetadas as instalações prediais de água fria, para atender às exigências técnicas mínimas de higiene, segurança, economia e conforto dos usuários”.

Componentes do sistema predial de água fria: ramal predial, ramal interno (alimentador predial), reservatório (caixa d’água), barrilete, coluna de distribuição, ramais e sub-ramais, peças de utilização e aparelhos sanitários.

Abaixo exemplos de esquema de distribuição:



Ramal externo e ramal interno com seus componentes

Figura 1 – Exemplo de tubulação predial (UFSC)

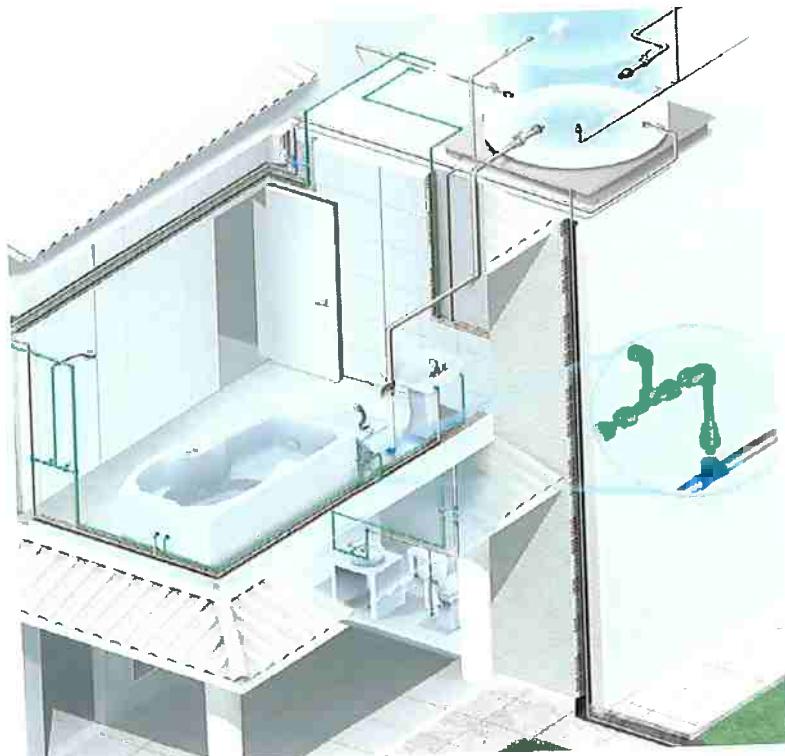


Figura 2 – Esquema de tubulação residencial (Amanco)

Algumas considerações gerais sobre como as instalações de um sistema predial de água fria devem ser projetadas:

- A água, tanto no abastecimento como na distribuição, deve manter suas características de potável;
- O fornecimento de água deve ser contínuo, em quantidade suficiente, com pressões e velocidades adequadas;
- Promover conforto ao consumidor, com baixo nível de ruído;
- Fácil manutenção e operação;
- Econômico e sustentável.

A norma especifica que o desenvolvimento do projeto deve ser realizado em conjunto entre engenheiros, arquitetos e consumidores, sendo que dependendo da aplicação algumas variações de dimensionamento, solicitações, entre outras deve ocorrer.

Como, por exemplo, projetos para edificações específicas devem considerar as particularidades técnicas e ergométricas de cada um dos usuários:

- Escola: para escolas primárias, bacias são menores, posições inferiores nos pontos de utilização, etc;
- Hospitais: reservatórios para garantir o funcionamento contínuo;
- Estádios e sanitários públicos: proteção das instalações, prevenindo contra atos de vandalismo.

Os sistemas podem ser classificados em individuais (chuveiro elétrico, aquecedor de passagem e aquecedor de acumulação) ou coletivos (aquecedores para diversos pontos de consumo), sendo que a fonte do calor pode ser elétrica ou a gás.

O consumo, o dimensionamento e as pressões máximas e mínimas também são regularizados pelas normas, definindo assim os diâmetros internos que os tubos devam possuir, que varia de acordo com cada tipo de edificação, tamanho do projeto, número de pessoas, entre outros.

Em relação à distribuição de água quente em sistemas residenciais e prediais, a norma utilizada é a NBR 7198/82, chamada de "Instalações Prediais de Água Quente". A norma abrange as instalações que servem a peças de utilização, aparelhos sanitários ou equipamentos, visando a higiene e o conforto dos consumidores.

Uma mesma instalação pode fornecer a água em diferentes temperaturas para diversos pontos de consumo como, por exemplo, em uma lavanderia entre 75° e 80 °C, já na cozinha entre 65° e 75°C, e nos banhos algo em torno de 45°C.

O caso do transporte de água quente é um pouco mais complicado e será analisado neste trabalho, pois a temperatura elevada pode causar falhas em serviço e consequentemente enormes prejuízos para o consumidor.

4.2. Normas

Para cada tipo de material existe uma norma específica quanto à sua produção, testes e propriedades final do produto.

Abaixo estão alguns exemplos de normas utilizados pela indústria:

- Termomecânica S.A. (tubo de cobre): ABNT NBR 13206;
- Eluma (tubo de cobre): ABNT NBR 13206;
- Tigre (tubo de CPVC):
 - Água quente: ABNT NBR 7198, ASTM D-846/82, ASTM F-438, ASTM F-442;
 - Água Fria: ABNT NBR 5648, ABNT NBR 5626;
- Amanco (tubo de PPR): ABNT NBR 7198, ISO 15874;
- Brastubo (tubo de PEAD): ABNT NBR 8417, DIN 8074, ISO 4427.

4.3. Considerações em operação

Na prática, a durabilidade das tubulações depende de outros fatores que não são bem definidos e alguns imprevisíveis, que acabam afetando o sistema a longo prazo. Alguns fatores são:

- Processo de fabricação do tubo;
- Condições de exposição: embutido em alvenaria, dentro de argamassa de contrapiso de laje, instalação aparente com e sem incidência de radiação solar, variações térmicas, movimentações e acomodações estruturais;
- Natureza química do líquido transportado e temperatura de operação: água potável clorada, água quente, esgoto doméstico, águas pluviais e outros.

A água potável disponibilizada nas redes urbanas pode conter sais minerais dissolvidos que atacam alguns materiais de tubulações, reduzindo a vida útil das tubulações. Um exemplo é o aço carbono galvanizado que reage com esses sais como carbonatos, bicarbonato de cálcio e magnésio, tendo que ser trocado muito antes da previsão.

Um fator que acelera a degradação é o chamado “par galvânico”. Isso ocorre quando dois tubos de diferentes materiais como, por exemplo, tubo de aço carbono galvanizado e tubo de cobre estão em contato direto, e com a presença de água surge uma fraca corrente elétrica, formando um “pilha”. Esse processo inicia reações químicas degradando o metal menos nobre, causando corrosão do aço galvanizado.

Devido à variedade de materiais e das condições de uso, é difícil estimar com precisão a vida útil das tubulações, pois os incômodos com vazamentos e gastos

com reparos só serão levados a sério com o passar do tempo, até compensar efetuar a troca de toda a instalação.

Sob condições controladas, respeitando as normas e as indicações de fábrica, estimam-se alguns períodos econômicos:

- Tubos de Aço Galvanizado: 8 a 10 anos, no máximo até 18 anos;
- Tubos de PVC: 20 a 25 anos, podendo chegar até 45 anos;
- Tubos de Cobre: mais de 80 anos.

Tubulações de materiais como cloreto de polivinila clorado (CPVC), polietileno reticulado (PEX) e polipropileno copolímero random (PPR), que possuem tecnologia recente, ainda não demonstraram resultados suficientes para avaliação, porém seus fabricantes dizem que são produtos que possuem uma vida útil maior do que o PVC.

4.4. Considerações na escolha do material

Os sistemas hidráulicos e sanitários não precisam ser de um mesmo tipo de material. A escolha deve levar em conta diversos fatores que entre os principais estão expectativa de vida útil, finalidade da tubulação, pressão e temperatura do líquido a ser escoado, tipo de junta e condições de exposição.

Em escala industrial os tubos metálicos foram os primeiros a serem produzidos, e assim possuem uma tecnologia e um desempenho já bem conhecidos. Os mais empregados são de aço carbono galvanizado com zinco com conexões rosqueadas de ferro fundido maleável, e tubos de cobre com conexões soldadas de cobre e rosqueadas de bronze e latão.

De modo geral, tubos metálicos apresentam as vantagens:

- Elevada resistência à pressão interna;

- Estabilidade dimensional;
- Resistência ao calor;
- Resistência mecânica;
- Resistência à fadiga mecânica e térmica;
- Resistentes à exposição a raios ultra-violeta;
- Resistentes à chama;
- Confiabilidade no uso a longo prazo;

Porém apresentam certas desvantagens:

- Elevada condutividade térmica;
- Elevado peso comparado com tubos poliméricos;
- Menor facilidade de manuseio;
- Juntas mais difíceis de serem executadas;
- Maior resistência hidráulica ao escoamento;
- Baixa flexibilidade e elasticidade;
- Menor segurança na instalação;
- Elevados ruídos;
- Maiores investimentos iniciais;
- Susceptibilidade à corrosão;
- Possibilidade de contaminação da água.

Os tubos metálicos são recomendados para usos a elevadas pressões, como no caso da rede de hidrantes de incêndio e das tubulações de recalque, que conduzem a água potável das bombas até o reservatório. Tubos de cobre são indicados pelos profissionais da área para a condução de água quente, mas não é o único tipo de material que serve para essa finalidade.

Os tubos poliméricos mais utilizados são o de PVC e PEAD (empregados em instalações de esgoto sanitário e de coleta de águas pluviais), PPR, CPVC e PEX (empregados na condução de água quente), que de um modo geral apresentam as vantagens:

- Elevada resistência à corrosão;
- Boa durabilidade dependendo das condições de uso;
- Baixa condutividade térmica e elétrica;
- Baixo peso;
- Fácil manuseio;
- Facilidade e rapidez na execução das juntas;
- Baixa resistência ao escoamento;
- Pouca acumulação de detritos;
- Boa flexibilidade e elasticidade;
- Maior segurança na instalação;
- Pouco ruído;
- Baixo custo.

Algumas desvantagens:

- Baixa resistência ao calor;
- Baixa resistência mecânica;
- Baixa resistência à fadiga mecânica e térmica;
- Degradação à exposição longa aos raios ultravioleta;
- Elevada dilatação térmica;
- Elimina gases tóxicos sob combustão;
- Pouca informação no uso a longo prazo.

As características principais de cada tubo feito de diferentes materiais serão discutidas detalhadamente nos próximos tópicos, onde cada um possui suas vantagens e desvantagens.

5. Cobre

5.1 Introdução

O cobre é um dos materiais mais antigos descobertos e utilizados pelo homem fazendo parte do nascimento e desenvolvimento das primeiras civilizações, sendo uma peça chave para o começo de uma nova era da humanidade.

O desenvolvimento e a produção do cobre cresceu se expandindo de forma mundial ampliando seus usos e aplicações, tornando assim um elemento fundamental em diferentes áreas como artes, arquitetura, entre outras, não sendo importante apenas para a engenharia, ou seja, importante para a subsistência e desenvolvimento de uma melhor qualidade de vida.

Os principais produtores de cobre de mina são Chile (37,3%), Estados Unidos (8,1%), Peru (7,1%), Austrália e Indonésia. De cobre refinado são: Chile (18,4%), China (12,9%), Japão (8,8%), Estados Unidos e Rússia. E os principais consumidores são China (19,4%), Estados Unidos (14,6%), Japão (7,7%), Alemanha, Coréia do Sul, Itália, Rússia e França, com um consumo anual de mais de 22 milhões de toneladas em 2005.

Demonstrando alguns números do cobre, a produção mundial de 2006 foi de 15,7 milhões de toneladas, e espera-se uma ampliação para 16,7 milhões para 2007. A demanda mundial para 2006 foi de 17,7 milhões aproximadamente, com um crescimento estimado para 18,5 milhões em 2007. O maior consumidor foi a China com 22%, representando um consumo de 2,5 kg per capita, enquanto nos países desenvolvidos o consumo é em média 10 kg per capita.

Nos Estados Unidos, já foram instalados mais de 10 bilhões de metros, nos mais diversos tipos de construções, no caso do Brasil o número é bem menor, apesar de ser um material consolidado no mercado.

O progresso tecnológico e científico causou um consumo de cobre vinte vezes maior no último quarto do século que no primeiro, demonstrando sua versatilidade sendo facilmente aplicado em diversas áreas. Possui um papel

fundamental nas áreas de transporte, eletrônica, construção, agricultura, energia, saúde e novas tecnologias, entre muitas outras aplicações.

No caso de tubulações, o cobre é amplamente aplicado nas construções, sendo moradias ou empresas, por apresentarem diferentes diâmetros e espessuras, se adaptando ao uso específico principalmente em instalações de água e gás. Suas principais vantagens são a confiabilidade, baixo custo de manutenção e vida útil sem limite se utilizado corretamente.

5.2. Fabricação

Os tubos de cobre são fabricados pelo processo de Extrusão, que possui algumas etapas serão descritas abaixo:

i) Matéria-prima

As matérias-primas utilizadas são lingotes de cobre, sucata e restos de cobre, variando de acordo com fatores econômicos como custos e disponibilidade do material, ou da capacidade técnica da fábrica. A sucata de cobre é proveniente de fios ou tubos de construções demolidas, sendo utilizados processos eletrolíticos que purificam o cobre com até 99,95% de pureza.



Figura 3 – Matéria-prima



Figura 4 – Cobre purificado

ii) Fundição

A matéria-prima é fundida em um forno grande que suporta normalmente até vinte toneladas de metal, porém o cobre precisa estar puro, caso contrário é necessário utilizar fornos específicos que possuem a habilidade de refinar o cobre para a moldagem.

A temperatura de trabalho do forno varia entre 1260º e 1316ºC, que é acima da temperatura de fusão do cobre (1083ºC). O cobre é refinado a quente com oxigênio, sendo que os óxidos formados são mais leves do que o metal líquido, formando uma escória superficial que é facilmente retirada.

Nessa etapa são retiradas amostras para controle de qualidade, com testes baseados na norma ASTM B88, que especifica a pureza do material. Ainda é necessário retirar o oxigênio em excesso, adicionando fósforo reduzindo o restante de óxido.

iii) Moldagem

Em muitas fábricas, o metal fundido é transferido do forno para um reservatório antes da moldagem, mantendo o metal líquido em uma temperatura constante. Para proteger contra oxidação a superfície é coberta por um cobertor ou pó de grafite.

São utilizados dois tipos de moldagem:

- Contínuo: O metal é vazado com orientação horizontal em moldes cilíndricos de grafite, resfriado com água forçando a solidificação rápida do cobre. Ao mesmo tempo, mais cobre líquido é alimentado formando um cilindro puro de cobre, com diâmetro de aproximadamente 30 cm, dependendo do equipamento. Uma ferramenta no final corta a barra no tamanho desejado.
- Semi-contínuo: processo de moldagem feito na vertical, com vazamento de metal líquido que é interrompido quando o cilindro atinge o fundo do molde, por esse motivo não é um processo contínuo. Neste processo o

molde tem paredes similares do contínuo, porém seu fundo é móvel, sendo fechado até o volume do cobre se solidificar. O metal líquido é adicionado na mesma taxa que seu fundo vai descendo, e assim quando o cilindro atingir o tamanho desejado a peça é retirada.

Obs: Alguns fabricantes utilizam moldes contendo um núcleo central de resfriamento, e assim o cilindro é produzido como se fosse um tubo de paredes grossas.

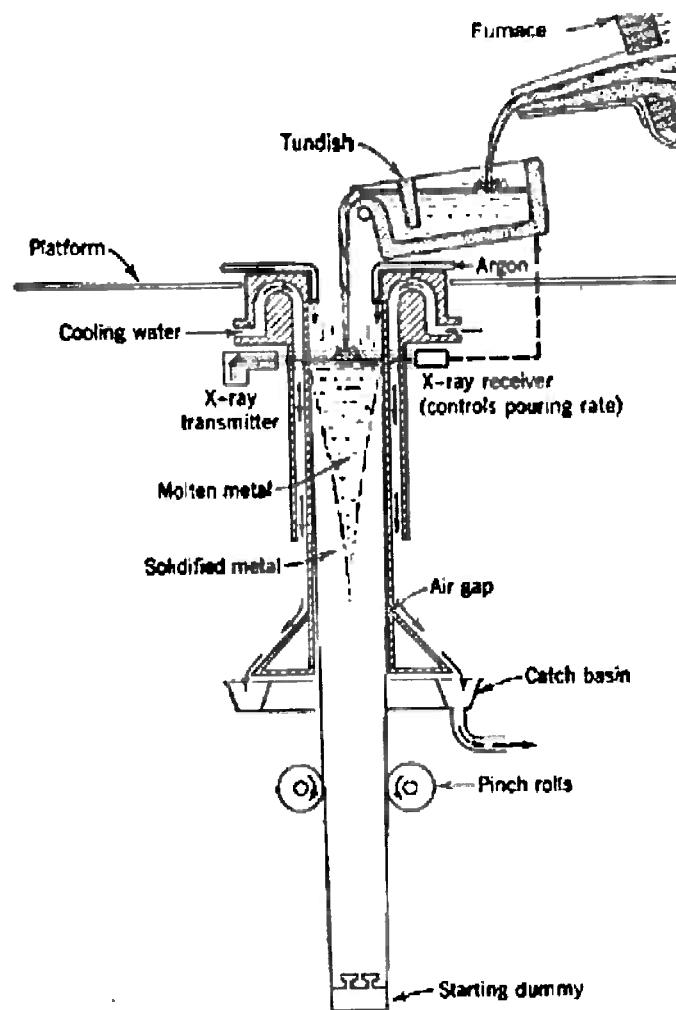


Figura 5 – Lingotamento contínuo.

iv) Perfuração

Nesta etapa as barras cilíndricas são re-aquecidas até 835°C para realizar a perfuração, utilizando-se um mandril que perfura o cilindro atravessando toda sua extensão, criando o que será a parede interna do tubo.

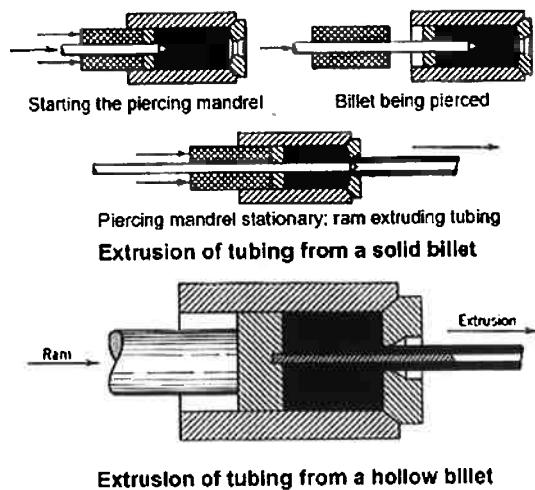


Figura 6 – Etapa de perfuração

v) Extrusão

A barra cilíndrica é esquentada até uma temperatura de trabalho adequada e colocada na câmara horizontal da prensa de extrusão, constituída de um molde de um lado e uma prensa hidráulica do outro. A face da prensa possui um bloco um pouco menor do que o diâmetro da barra podendo ter também um mandril de perfuração. Com a movimentação da prensa o cobre é forçado a passar pelo buraco do molde, formando um tubo longo de 70 mm de diâmetro e 26 m de comprimento saindo da prensa extrusora. As medidas variam de acordo com o equipamento e a aplicação.

O metal próximo da superfície é extrudado para trás pelo bloco da face da prensa, eliminando assim os óxidos de cobre, sendo reciclado e utilizado no forno de refino. O tubo extrudado é então escorregado até uma mesa reta, até

atingir uma temperatura baixa de manejo, sendo limpado e preparado para a próxima etapa.

vi) Deformação

A deformação consiste em empurrar o tubo por uma série de moldes de aço para reduzir seu diâmetro. Esse processo é realizado com um mandril fixo ou flutuante, que é colocado dentro do tubo, ou seja, o conjunto bloco, mandril e molde agem juntos para reduzir o diâmetro externo do tubo e a espessura das paredes, deixando também uma superfície lisa interna.

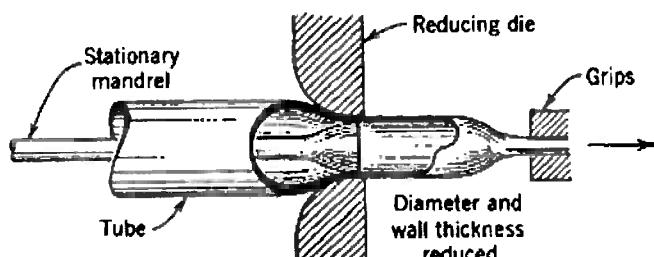


Figura 7 – Extrusão sobre mandril fixo

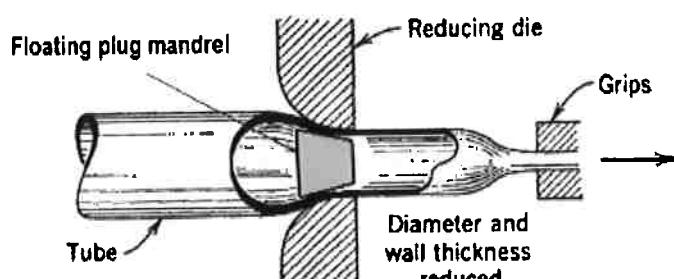


Figura 8 – Extrusão sobre mandril flutuante

Os tubos de cobre são vendidos de duas maneiras dependendo do recozimento “hard” ou “soft”, por essa razão as próximas etapas variam de acordo com a aplicação do produto, como, por exemplo, tubos extensos retos passam por uma série de deformações de ida e volta, diminuindo cada vez mais. O tubo sai pronto para ser cortado no tamanho certo.

vii) Re却imento

O tubo que será vendido na condição “soft” sofre um re却imento contínuo em um forno que opera a 704°C, com uma atmosfera protetora controlada evitando a oxidação do cobre. Etapa realizada para garantir as propriedades finais do tubo. Depois disso é realizado uma limpeza final retirando os lubrificantes e contaminantes. Amostras são retiradas para análise em intervalos fixos garantindo as especificações de tamanha, espessura da parede e qualidade de acordo com as normas.



Figura 9 e 10 – Tubos prontos para serem comercializados.

5.3. O cobre e a água potável

Muitos especialistas em tecnologia de materiais dizem que o cobre é o melhor material para a condução de água, opinião baseada na experiência em sua aplicação a longo prazo no mundo inteiro, funcionando em todos os tipos de construções, residências, apartamentos, edifícios e indústrias.

Independente do material dos tubos nenhum produto está isento de problemas, mas de todos eles o cobre é o mais antigo com uma história de mais de 60 anos, apresentando dados sólidos e confiáveis para sistemas de distribuição de água.

A partir da década de 60, em busca de menores custos, os fabricantes desenvolveram tubos de polímeros para a aplicação na indústria da construção. Entretanto, alguns anos depois esse tubos apresentaram diversos problemas, demonstrando que o custo inicial mais baixo não vale necessariamente para o longo prazo, sendo importante ponderar custos com manutenção, possíveis falhas e prováveis trocas das tubulações.

Os encanamentos de cobre se encontram no mercado em duas têmporas, sendo extrudado ou recozido, comercializados como recozimento “duro” e “mole”, com diferentes diâmetros e espessuras.

As normas e os regulamentos estabelecem que os sistemas de distribuição de água potável devem ter como características principais:

- Confiabilidade: garantia de funcionamento com a menor manutenção;
- Estabilidade: quimicamente inerte com a água;
- Eficiência: fornecimento/distribuição com o menor consumo de energia;
- Outras: aspectos de segurança e funcionalidade na construção.

Um ponto positivo importante do cobre, que os fabricantes de tubos para condução de água potável fazem questão de demonstrar, é o seu aspecto antibactericida. Muitos estudos científicos realizados em diferentes países indicam que o cobre apresenta um aspecto benéfico na prevenção de agentes patogênicos, reduzindo a colonização de bactérias, e assim impedindo a proliferação.

Num caso mais específico, o Instituto de Investigações Midwest nos Estados Unidos verificou que a bactéria E. Coli, que causa transtornos estomacais, praticamente não sobrevive em tubos de cobre, enquanto que em outros materiais isso não ocorre. Além disso, outros estudos demonstram que houve colonização de bactérias nos tubos de PVC e PB. Essas bactérias não são freqüentes em água tratadas, mas alguns casos foram registrados nos últimos anos.

Algumas vantagens dos tubos de cobre:

- Durabilidade provada a longo prazo em instalações não-acidas;
- Sistemas de cobre podem ser instalados e utilizados a qualquer temperatura e em qualquer clima;
- Não se altera em temperaturas próximas à ebulação ou congelamento da água;
- Não sofre danos pelos raios ultravioleta;
- Não requer proteção contra incêndio;
- Cobre é natural, não possui elementos sintéticos em sua transformação;
- O encanamento de cobre é o padrão mundial de excelência em condução de fluídos;
- Não suporta crescimento de bactérias, evitando transmissões de doenças por meio da água, ou seja, tem propriedade antibacteriana;
- Material muito versátil (transporte de água potável, gás natural, fluxos de alta pressão, entre outros);
- Tolerante a terremotos;
- Resistente ao fogo (5x mais que o CPVC);
- Aceito amplamente em diversas aplicações e normas;
- Atuais tubos possuem 99,9% de pureza (normas ASTM);
- Alta pressão interna de trabalho;
- Pronto para usar sem atraso, podendo ser testado logo depois da instalação;
- Pode ser curvado, diminuindo a quantidade de juntas;
- Disponível em diferentes tipos, variando sua flexibilidade de instalação;
- Juntas e conexões pouco volumosas;
- Garantias longas, maiores do que 50 anos;
- Preferência pelos consumidores, valorizando a obra;
- 100% reciclável.

Algumas considerações sobre o tubo de cobre:

- Reclamações de gosto metálico na água;
- Pode ter vazamento na presença de água ácida;
- Pode soltar cobre no suprimento de água;
- Melhor uso em pH entre 6,5 e 8,5;
- Sujeito a roubos da instalação;
- Necessita de instalador profissional, especializado;
- Pode ocorrer deposição de cálcio, atrapalhando o fluxo de água;
- Alto custo inicial de instalação (instalador e material);
- Perda de calor, necessitando de isolamento térmico;
- Pode ocorrer condensação se não for bem isolado;
- Barulhento a alta velocidade de água;
- Sujeito a golpe de aríete (water hammer), necessitando de componentes que diminuam os danos;
- Juntas de cobre tendem a falhar em temperatura alta (180°F);
- Instalação com chama a gás pode causar incêndio;
- Concerto de falhas é difícil, necessitando de mão de obra especializada e ferramentas próprias;
- Não é possível realizar concertos de solda com água dentro;
- Preço do cobre varia com o tempo.

Apesar dos efeitos colaterais do encanamento de cobre ser incomum, o elemento cobre está na lista como um contaminante em água potável, sendo o limite máximo permitido 1,3 mg/L. Os fabricantes de tubos sabem das variáveis relacionadas às doenças causadas pela quantidade de cobre ingerida, e que instalações de tubos de cobre, junto com água agressiva e ácida gera uma combinação tóxica.

O ácido arrasta moléculas de cobre para o fluxo de água e pode causar náuseas e desconforto abdominal. Além disso, instalações antigas de cobre podem ter altos níveis de chumbo, pois até 1987 era comum o uso de solda a chumbo. Muito já se foi escrito e discutido sobre os efeitos do chumbo na saúde humana, sendo

considerado um elemento muito tóxico. A partir de 1986 o chumbo foi restringido nos tubos, soldagens e fluxos, ou seja, o nível máximo permitido é de 0,2% na composição.

Apesar de ser um produto resistente à corrosão, existem condições que os tubos de cobre não “gostam”, incluindo água ácida, velocidade excessiva, turbulência na linha e muito fluxo durante a instalação, e também em condições agressivas do solo em contato direto. Portanto para um tempo de serviço maior deve-se mudar a espessura do tubo. O problema da acidez da água pode ser facilmente resolvido com neutralizantes de pH, porém é recomendado instalar um filtro de sedimentos após o tratamento, para retirar os contaminantes indesejados.

Nos dias de hoje, os tubos de cobre apresentam pureza extremamente elevada, com praticamente zero de chumbo e outros minerais, garantindo a qualidade do produto. Além disso, é biostático, reduzindo o crescimento de bactérias no tubo.

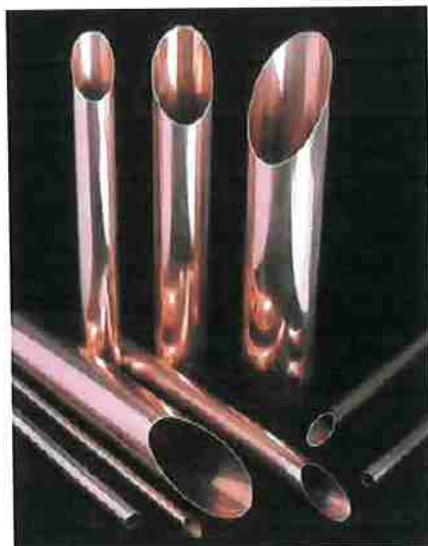


Figura 11 – Tubo de cobre

5.4. Dados técnicos

Tubos da CLASSE E – identificados por tampões na cor verde.

Aplicação: Tubulações de água quente e fria.

i) TERMOMECANICA S.A. – Tubos de Cobre.

Tabela 1 – Tamanhos de tubos de cobre fabricados pela Termomecanica

Diâmetro Nominal (mm)	Classe E		
	Diâmetro Exter. X Espes. Parede (mm)	kg / m	Pressão de Serviço Mpa
10,00	10 x 0,50	0,126	6,80
15,00	15 x 0,50	0,203	4,25
22,00	22 x 0,60	0,360	3,46
28,00	28 x 0,60	0,460	2,70
35,00	35 x 0,70	0,672	2,52
42,00	42 x 0,80	0,923	2,40
54,00	54 x 0,90	1,338	2,09
66,70	66,7 x 1,00	1,840	1,88
79,40	79,4 x 1,20	2,628	1,90
104,80	104,8 x 1,20	3,481	1,43

ii) ELUMA – Tubos de Cobre HIDROLAR.

Tabela 2 – Tamanhos de tubos de cobre fabricados pela Eluma

DIÂMETRO NOMINAL (pol.)	(mm)	CLASSE E		
		DIÂMETRO EXTERNO x ESP. PAREDE (mm)	Kg/m	PRESSÃO SERVIÇO KGF/CM ²
1/2"	15	15 x 0,50	0,203	41,0
3/4"	22	22 x 0,60	0,360	34,0
1"	28	28 x 0,60	0,460	26,0
1 1/4"	35	35 x 0,70	0,673	25,0
1 1/2"	42	42 x 0,80	0,923	24,0
2"	54	54 x 0,90	1,339	21,0
2 1/2"	66	66,7 x 1,00	1,839	20,0
3"	79	79,4 x 1,20	2,627	19,0
4"	104	104,8 x 1,20	3,480	14,0

6. PVC

6.1. Introdução

O PVC é o segundo termoplástico no mundo, com uma demanda superior a 35 milhões de toneladas por ano, sendo que a capacidade mundial da produção de resinas é de 36 milhões de toneladas por ano. Dessa demanda total, o Brasil é responsável pelo consumo de cerca de 2%, sendo na faixa de 4,0 kg por habitante por ano.

O PVC é o mais versátil dentre os polímeros, sendo que sua resina é facilmente alterada a incorporação de aditivos, atingindo um amplo espectro de propriedades em função da sua aplicação final, variando desde o rígido ao extremamente flexível.

Sua aplicação vai desde tubos e perfis rígidos para uso na construção civil até brinquedos e laminados flexíveis para acondicionamento de sangue e plasma. Sua grande versatilidade também se deve à sua adequação aos processos de moldagem podendo ser injetado, extrudado, calandrado, espalmado, entre outras alternativas de transformação.

A resina de PVC é totalmente atóxica e inerte, e combinando com aditivos que possuam a mesma característica, permite a fabricação de filmes, lacres e laminados para embalagem, brinquedos, acessórios médico-hospitalares.

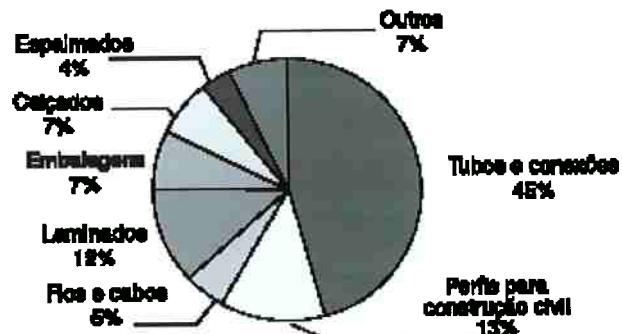
Em relação à construção civil, o uso de tubos e conexões, perfis, fios e cabos, entre outros produtos, representam 62% da demanda total de PVC no Brasil. Apenas a área de tubos e conexões representam 45% do total. Nessa área, a relação custo/benefício é vantajosa frente a outros tipos de materiais pela suas vantagens como por exemplo:

- comportamento antichama, resistência química e ao intemperismo, isolamento térmico e acústico, facilidade de instalação, baixa necessidade de manutenção, bom acabamento, boa estética, entre outras.

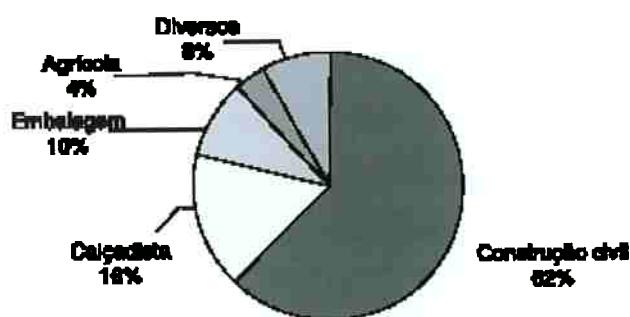
Polímero totalmente reciclável, e no Brasil já existe uma estrutura industrial organizada para essa finalidade, sendo reciclagens mecânicas, química e energética. Dependendo da aplicação, sua vida útil pode variar de 2 anos, como para embalagens, até mais de 20 anos, nos casos dos tubos.

PVC no Brasil em 2005

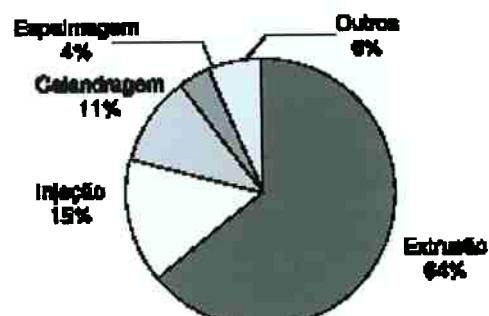
Principais mercados de aplicação



Principais aplicações por setor da economia



Principais processos de transformação



Fonte: Braskem.

Figura 12 – PVC no Brasil

6.2. Composição

O PVC é um termoplástico amorfó, obtido a partir de 57% de insumos provenientes do sal marinho ou da terra (salgema), de onde é retirado o cloro presente na sua estrutura molecular, e 43% proveniente de fontes não renováveis como o petróleo e o gás natural. Em dados mundiais, esse uso representa apenas 0,25% do suprimento mundial de gás e petróleo.

O cloro é o responsável pela resistência à propagação de chamas, sendo utilizado para fios, cabos elétricos, eletrodutos e revestimentos residenciais. Além disso o grande teor de cloro torna a molécula polar, aumentando sua afinidade com os aditivos, ampliando sua aplicação. Na área de reciclagem, ele atua como marcador dos produtos de PVC, ajudando no processo de separação.

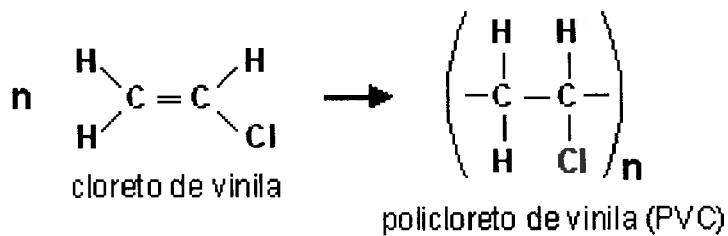


Figura 13 – Monômero do PVC

6.3. Fabricação

A matéria-prima “plástico” é produzida em forma de grãos, em pó, pasta ou líquido e então transformada em semi-manufaturado ou peça pronta. Os semi-manufaturados são produtos intermediários, que serão ainda transformados em um produto final. Alguns semi-manufaturados são placas, filmes, tubos e perfis de plástico, e peças prontas são produtos finais como baldes, engrenagens e conexões.

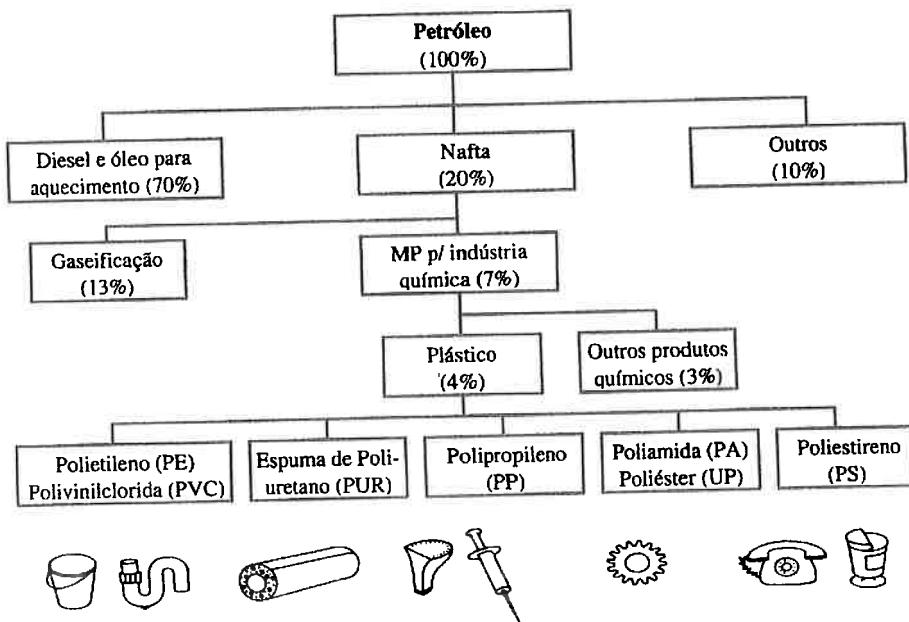


Figura 14 – Origem dos polímeros

A extrusão é a fabricação de um semi-manufaturado contínuo de plástico, sendo uma técnica de moldagem que serve para transformar os termoplásticos, considerando que o plástico é completamente fundido durante o processo. Entre os produtos que são feitos por essa técnica estão os tubos, placas e filmes até perfis complicados, podendo colocar outro processamento direto no semi-manufaturado ainda quente, como por exemplo o sopro ou a calandragem.

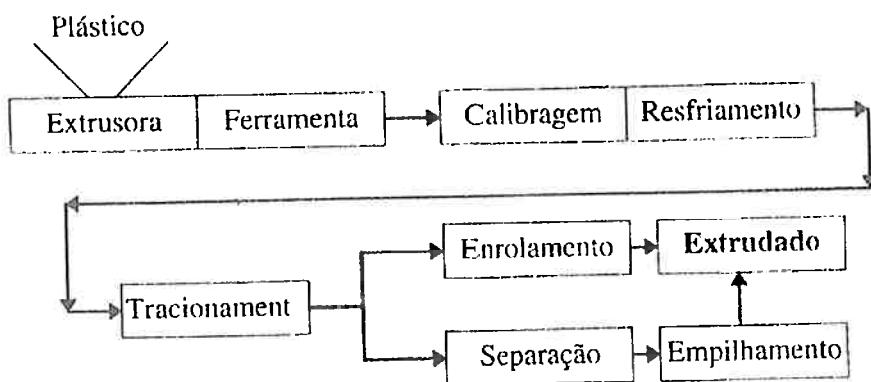


Figura 15 – Processo de fabricação

Os componentes de uma instalação de extrusão e sua função são:

- i) Extrusora: Componente padrão básico presente em todas as instalações e processos baseados em extrusão. Tem como função produzir um fundido homogêneo do plástico alimentado, conduzindo com uma pressão calculada através de uma ferramenta por toda a extensão. Equipamento composto por: funil, parafuso (rosca), cilindro e sistema de aquecimento, que varia de acordo com o material a ser processado, pois a variável viscosidade é importante para a extrusão. No caso do PP e PVC, a faixa de temperatura de processamento é de aproximadamente de 180 a 235 °C.

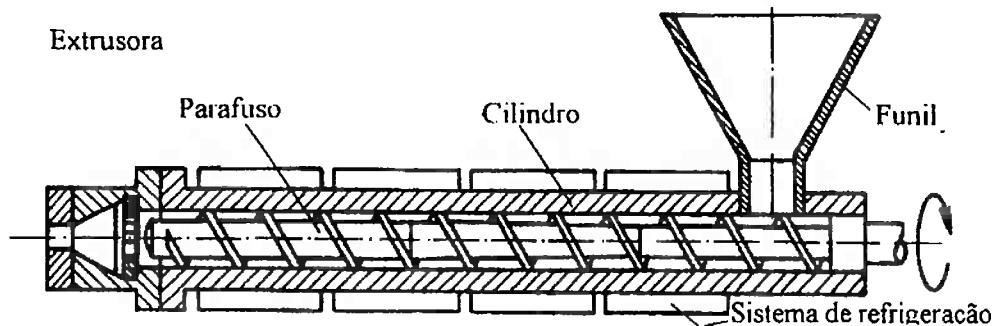


Figura 16 – Esquema de extrusora

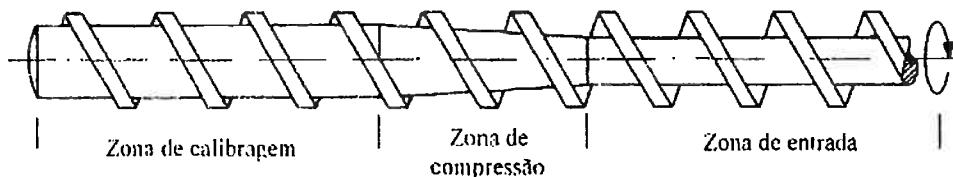


Figura 17 – Parafuso de três zonas

- iii) Ferramentas: Serve para determinar a forma do semi-manufaturado, podendo ter diferentes formatos variando com a aplicação. Todas as ferramentas contêm um canal de escoamento denominado de distribuidor, que é atravessado pelo fluxo de massa dando a forma desejada ao fundido. Para produção de tubos, mangueiras e filmes tubulares são utilizadas preponderantemente as ferramentas de torpedo, colocado no lado da

extrusora, indo até a saída da ferramenta adquirindo o formato interno do extrudado. Para evitar marcas de fluxo são utilizados parafusos de agitação ou ferramentas com distribuidor cilíndrico.

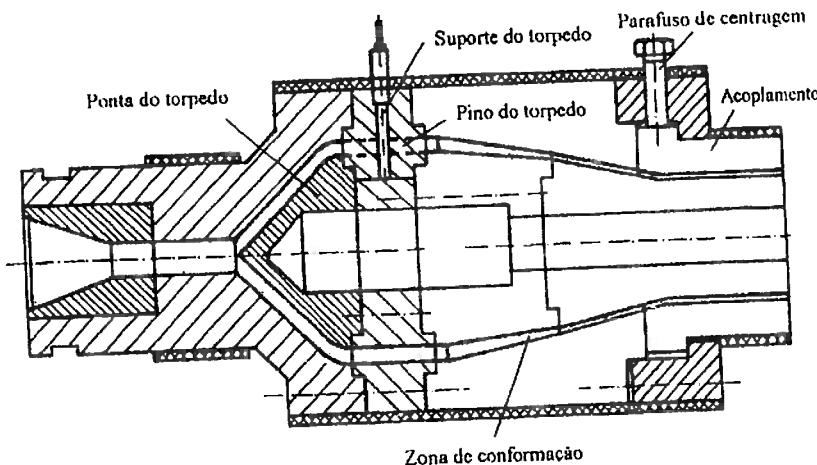


Figura 18 – Ferramenta de torpedo

- iii) Instalações complementares: Os tubos, perfis, fios e formas similares são resfriados principalmente em banhos de água, pelo quais o extrudado passa, sendo possível utilizar também ar e jato de água. Após o resfriamento há um dispositivo de tração, com a função de puxar o extrudado com velocidade constante a partir da ferramenta, pela calibração de resfriamento.
- iv) A última estação de uma instalação de extrusão para tubos é o dispositivo de separação de empilhamento.

6.4. CPVC

O policloreto de vinila clorado ou CPVC são as resinas termoplásticas produzidas pela pós-cloração de resina de PVC.

O processo de pós-cloração é realizado de reações via radicais livres, iniciadas pela aplicação de energia térmica ou ultravioleta. O gás cloro passa em contra-corrente com a lama de resina de PVC proveniente do reator de polimerização, substituindo assim parte dos átomos de hidrogênio presentes nas cadeias, aumentando o teor de cloro na estrutura, indo do valor típico 56,7% para o PVC, entre 63-68% para CPVC típico, até 73,2%, sendo o máximo de teor de cloro teoricamente substituível no PVC.

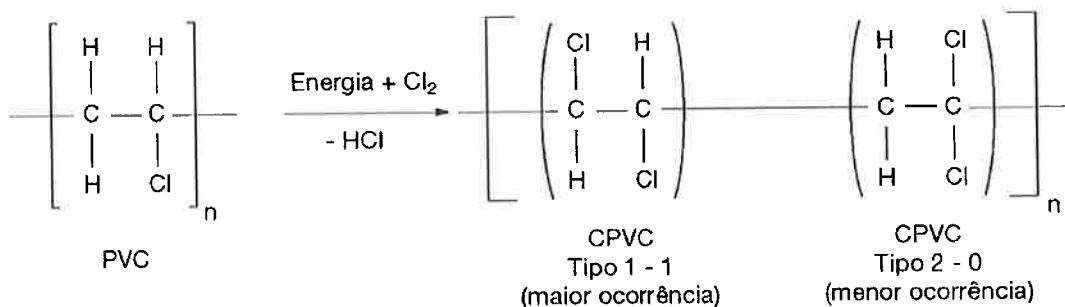


Figura 19 – Transformação do PVC em CPVC (Braskem)

Como mostrado na figura 2, existem dois tipos de ocorrência para o CPVC, sendo o tipo 1 de maior ocorrência.

A tabela abaixo compara as propriedades do PVC com o PVC típico, e o CPVC com maior porcentagem de cloro em sua estrutura. É possível observar que para a aplicação de tubos, principalmente na distribuição de água quente, a escolha do CPVC e não apenas do PVC é pertinente, pois as propriedades do CPVC não são afetadas facilmente pela temperatura da água em serviço, não prejudicando a aplicação do produto.

Tabela 3 – Comparativo entre resinas (Braskem)

Comparativo de propriedades de resinas de PVC versus resinas de CPVC

Propriedade	PVC homopolímero	CPVC (típico)	CPVC (máximo teor de cloro teórico)
Teor de cloro (%)	56,8	63 - 68	73,2
Densidade (g/cm ³)	1,40	1,52 - 1,59	1,70
Temperatura de transição vitrea, T _g (°C)	80 - 84	99 - 123	175
Temperatura máxima de serviço em uso contínuo (°C)	65	90	-
Temperatura máxima de serviço em uso intermitente (°C)	80	110	-

Adaptado de Titow, W. V. (1984). PVC technology.

Na tabela abaixo estão algumas propriedades do CPVC, que variam de acordo com o teor de cloro presente na cadeia do polímero:

Tabela 4 – Propriedades do CPVC (Braskem)

Policloreto de Vinila Clorado (CPVC)

Densidade	1.56 g/cm ³
Módulo de Elasticidade (E)	2.9-3.4 GPa
Tensão de Escoamento (σ_t)	50-80 MPa
Alongamento @ fratura	20-40%
T _g	106 - 115 °C
T _m	212 °C
Amolescimento (Vicat)	106 to 115 °C
Coeficiente de transporte de calor (λ)	0.16 W/(m·K)
Coeficiente de expansão linear	8×10^{-5} /K
Calor específico (c)	0.9 kJ/(kg·K)
Absorção de água (ASTM)	0.04-0.4
Preço	0.5-1.25 €/kg

O principal efeito do aumento do teor de cloro nas cadeias é o aumento das forças de atração intermoleculares, melhorando as propriedades térmicas como o ponto de amolecimento Vicat e a temperatura de distorção ao calor (HDT), e também a resistência química e ao fogo.

As principais aplicações do CPVC encontram-se em tubos e conexões para condução de água quente e fluídos industriais, chapas, tarugos e outros produtos para conformação de tanques, placas, elementos de dutos, filtros, válvulas e bombas, ou como aditivo de PVC substituindo resinas convencionais, visando a melhoria das propriedades térmicas e químicas.

O CPVC é um material bastante utilizado em sistemas de combate a incêndio, na alimentação de sprinkles, devido à sua inércia química, particularmente frente à corrosão galvânica, aliada à resistência à temperatura.

Os tubos de CPVC são utilizados na distribuição de água desde aproximadamente 1960.

Algumas vantagens do tubo de CPVC:

- Resistência à corrosão e abrasão;
- Superfície interna lisa que facilita o escoamento e reduz o barulho;
- Resistente ao impacto;
- Fácil instalação de baixo custo;
- Preço competitivo em relação ao cobre;
- Material leve;
- Pouca área de trabalho na instalação;
- Baixa perda de calor;
- Resistente à chama e baixa densidade de fumaça;
- Pressão máxima a curto prazo maior que 200 psi;
- Flexibilidade eliminar “water hammer”;
- Inerte a meios ácidos e suprimentos de água corrosivos;
- Pode ser enterrado pois não reage com o concreto;
- Não é condutor;

- Elimina pressão de vazamentos em juntas soldadas;
- Praticamente não ocorre condensação;
- Preço estável.

Algumas considerações em relação aos tubos de CPVC:

- Indicações de “gosto de plástico” na água;
- Tubos e conexões sujeitos a quebras ou danificações se derrubados ou pisados na área de trabalho;
- Solventes utilizados nas juntas possuem poluentes orgânicos voláteis, necessitando de ventilação durante a instalação;
- Sujeito a derreter em incêndio;
- Alto coeficiente de expansão;
- Superfície inerte pode servir de base para crescimento de bactérias;
- Instalado por mão de obra menos especializada, sendo um maior potencial no risco de incidentes e negligência do instalador;
- Sujeito a quebras em terremotos;
- Necessita de 24h de cura antes do uso.

Em relação ao CPVC na saúde humana, muito já foi escrito sobre o potencial dos efeitos do resíduo do monômero cloreto de vinila (RVCm), onde é encontrado nos materiais que contém PVC, incluindo os tubos, com debates sobre os impactos na saúde humana a longo prazo, baseados na exposição contínua ao RVCm.

Na fabricação de resinas de PVC, durante a polimerização, os monômeros não são consumidos na sua totalidade, sobrando traços presos nas resinas, liberando depois como gases na atmosfera, ou migrando para a comida ou bebida. Essa sobra é chamada de monômero cloreto de vinila residual (RVCm).

Existem diversas normas nacionais e internacionais, regras padronizadas, e testes que regulamentam e controlam a qualidade de todo o processo de fabricação dos tubos de CPVC, desde o projeto e desenvolvimento do produto até a aplicação

final. Atualmente o controle de qualidade é extremamente rígido, e não existe nenhuma evidência científica provando que os tubos causam qualquer tipo de dano à saúde humana.

Porém, existe o argumento de que a exposição aos MVCs que excede às normas pode causar danos neurológicos e doenças ligadas ao fígado, inclusive câncer. A partir da década de 60, o índice de exposição ao cloreto de vinila considerado perigoso seria de níveis superiores a 50 ppm.

Historicamente os problemas ocorreram com pessoas que trabalhavam na fabricação dos produtos de PVC e CPVC diariamente, e em alguns casos com pessoas que moravam em regiões próximas à indústria. Após alguns incidentes criou-se a necessidade do estudo e posterior regulamentação do material, e no caso dos Estados Unidos, em 1998 foi divulgado um relatório indicando que exposições a longos prazos em níveis maiores do que 0,002 mg/L podem causar danos neurológicos.

À curto prazo, o índice de exposição "seguro" pode aumentar, indo até 3 mg/L em 10 dias de exposição, ou sendo 0,01 mg/L em 7 anos. A exposição humana preocupante ocorre devido à embalagens e tubos que não foram tratados adequadamente, não removendo os monômeros residuais.

Nos dias de hoje existem órgãos e ONGs que controlam não só o CPVC e PVC, mas também outros tipos de materiais, e que são seguidos e respeitados, porque as punições são severas e os processos podem levar uma empresa à falência, portanto é importante verificar se o produto está de acordo com as normas antes de comprar.

6.5. Dados técnicos

TIGRE S.A. – Tubos Aquatherm® (CPVC)

Função: condução de água em obras horizontais, verticais e industriais.

Aplicação: instalações prediais e industriais de água quente e fria.

Tubo Aquatherm® 3 metros



Figura 20 – Tubo Aquatherm

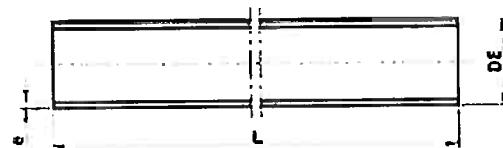


Figura 21 – Desenho técnico

Tabela 5 – Especificações do tubo Aquatherm

	DIMENSÕES (mm)								
Cotas	15	22	28	35	42	54	73	89	114
DE	15	22	28,1	34,9	41,3	54	73	88,9	114,3
e	1,6	2,0	2,5	3,2	3,8	4,9	6,5	7,9	10,2
L	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000

Pressão de Serviço Aquatherm® X Temperatura

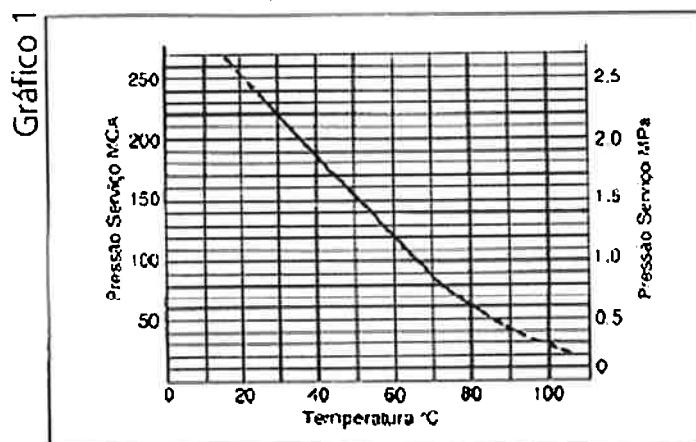


Figura 22 – Pressão em serviço em relação à temperatura

Pressão de serviço:

- 6,0 kgf/cm² ou 60 m.c.a. conduzindo água a 80°C;
- 24,0 kgf/cm² ou 240 m.c.a. conduzindo água a 20°C.

Temperatura máxima de trabalho: 80°C

Coeficiente de dilatação térmica linear: $6,12 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

Normas de referência: ASTM D-846/82, ASTM F-442 e NBR 7198.

Para instalação são necessários outros produtos Tigre: adesivo aquaterm ou adesivo especial PVC/CPVC para juntas soldáveis, veda rosca líquido ou fita veda rosca para juntas roscáveis de transição com elementos metálicos do sistema, junta de expansão. Após instalação é preciso esperar quatro horas antes de realizar os testes hidráulicos

Esse sistema não requer manutenção sendo utilizado corretamente conforme norma, e no caso de furos acidentais é possível realizar um reparo com luvas soldáveis.



Figuras 23 e 24 – Tubos e conexões de CPVC

7. Polipropileno (PP)

7.1. Introdução

O polipropileno (PP) é um dos plásticos mais vendidos no mercado, e apresenta a maior taxa de crescimento anual devido suas propriedades e versatilidade. O polipropileno é uma resina poliolefínica desenvolvida em 1954 pelos europeus, sendo categorizada como termoplástico semi-cristalino.

O propeno, também chamado de propileno, é um hidrocarboneto insaturado de fórmula C₃H₆, apresentando-se como um gás incolor altamente inflamável. É produzido a partir do petróleo e do carvão, através de complexos processos químicos que quebram as cadeias moleculares. É uma das maiores matérias-primas da indústria petroquímica, e seu principal uso está na produção de polipropileno, polímero semicristalino, formando o monômero que constitui a cadeia do polímero (ver figura...).

O polipropileno do tipo isotático é o mais vendido no mercado, onde a maioria das unidades de propeno está na forma cabeça-cauda, formando uma cadeia com os grupos metila de um mesmo lado (estereoregular), favorecendo a formação de regiões cristalinas.

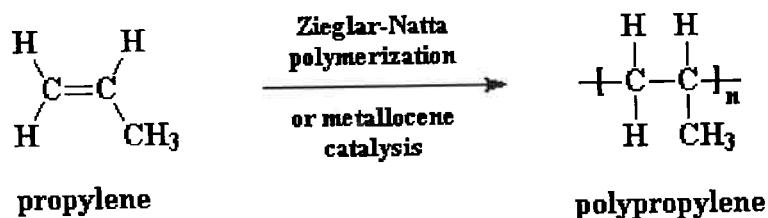


Figura 25 – Transformação de propileno em monômero

Produção do Polipropileno - Cadeia de Polímeros

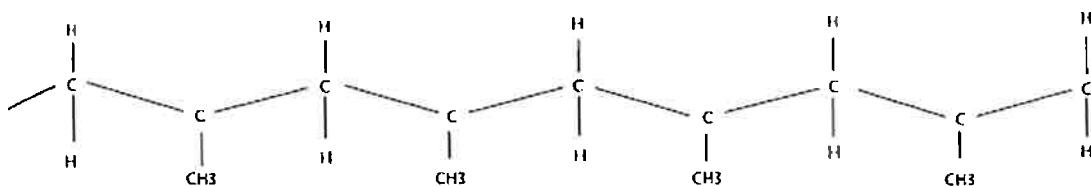


Figura 26 – Cadeia de Polipropileno

Os copolímeros Randômicos são obtidos adicionando ao propeno um segundo monômero, como o eteno, aleatoriamente no reator, reduzindo a cristalinidade do material, apresentando maior transparência, menor temperatura de fusão e elevada resistência ao impacto do que os homopolímeros.

Tabela de propriedades:

Tabela 6 – Propriedades do Polipropileno

Polipropileno (PP)	
Nome Químico	poli(1-metiletileno)
Sinônimos	Polipropileno; Polipropeno; Propileno polímero; 1-Propeno homopolímero
Formula Química	$(\text{C}_3\text{H}_6)_x$
Densidade	Amorfo: 0.85 g/cm^3 Cristalino: 0.95 g/cm^3
Ponto de Fusão	$\sim 165^\circ\text{C}$
Temperatura de transição vítreia	-10°C
Ponto de Degradação	$286^\circ\text{C} (559 \text{ K})$

O processo de fabricação dos tubos de PPR é similar ao processo descrito dos tubos de CPVC, com equipamentos similares e faixa de temperatura de trabalho aproximada, sendo diferenciados apenas em detalhes como, por exemplo, o formato do molde da extrusora.

7.2. Dados Técnicos

AMANCO – Tubosistemas® Amanco (PPR)



Figura 27 – Tubos, conexões e kit de instalação (Amanco)

Função e aplicação: condução de água quente.

Material: Polipropileno Copolímero Random – Tipo 3

Objetivo: resina que conjugue resistência à alta temperatura versus alta pressão, atingindo uma garantia de 50 anos.

Normas da matéria-prima: ISO - 1191, 1133 e 2039, ISO/R – 1183, 527.

Os tubos de PPR foram desenvolvidos pela Amanco, a partir da norma européia ISO 15874/99, que superam as especificações exigidas na norma NBR 7198. As normas diretrivas são: DIN – 16774, 53735, 16962, 2000, 8076, 8077, 8078, 16960, 2999, DL/S 2203, DVS 2207, 2208 e UNI 9182.

Tabela 7 – Propriedades do tubo de polipropileno

VALORES DE APLICAÇÃO:			
PROPRIEDADES	MÉTODO PROVA	UN. MEDIDA	VALOR
Índice de fluéncia MFI 190°C / 5Kg	ISO 1133	g/10 min	0,55
Índice de fluéncia MFI 230°C / 2,16Kg	ISO 1133	g/10 min	0,30
Índice de fluéncia MFI 230°C / 5Kg	ISO 1133	g/10 min	1,30
Densidade a 23°C	ISO 1183	g/cm³	0,909
Zona de fusão	DIN 53736 B2	°C	150 - 154
Carga de Ruptura Alongamento à ruptura	ISO R 527 / DIN 53455	N/mm²	>20
Módulo de elasticidade	ISO R 527 / DIN 53457	N/mm²	> 800
Coeficiente de dilatação térmica linear	VDE 0304 Parte 1§4	MM/M°C	0,15
Condutividade térmica a 20°C (~)	DIN 52612	W/m K	0,24
Temperatura específica a 20°C	Calorímetro adiabático	Kj/Kg K	2,0
Teste de impacto a 23°C com entalhe	ISO 180/1A	Kj/m²	30
Teste de impacto a 0°C com entalhe	ISO 180/1A	Kj/m²	3
Teste de impacto a -30°C com entalhe	ISO 180/1A	Kj/m²	1,8
Coeficiente de viscosidade	ISO 1191	cm³/g	430
Resistência à tração	ISO R 527	N/mm²	40
Dureza à penetração	ISO 2039	N/mm²	45

Os tubos possuem até quatro metros de comprimento, disponíveis nos diâmetros 20, 25, 32, 40, 50, 63, 75 e 90 mm, permitindo diferentes instalações hidráulicas com eficiência e baixo tempo de instalação.

Tubo de Polipropileno Copolímero Random - Tipo 3 PN 25

Comprimento	Código	e	Bitola	Emb.
4m	90896	3,4	20	25
4m	90897	4,2	25	25
4m	90898	5,4	32	10
4m	91146	6,7	40	05
4m	91147	8,4	50	05
4m	91148	10,5	63	04
4m	91149	12,5	75	03
4m	91150	15,0	90	02



e = Espessura de parede (mm)

Figura 28 – Especificação do tubo de PPR (Amanco)

Material plástico totalmente atóxico, com alta resistência aos ataques químicos de substâncias ácidas e básicas como ferro, cloro e flúor que podem estar no fluxo de água, não ocorrendo a corrosão garantindo sua durabilidade. A instalação não deixa incrustações, não diminuindo o diâmetro da tubulação ao longo dos anos.

Os tubos de PPR possuem baixa porosidade, resultando em uma superfície interna lisa diminuindo a perda de carga contínua no interior das tubulações, ou seja, a vazão da água não será prejudicada. Alguns fatores que afetam o deslocamento de fluidos:

- Rugosidade da tubulação;
- Viscosidade e densidade do fluido;
- Velocidade de escoamento;
- Grau de turbulência do fluido;
- Distância percorrida do fluido;
- Mudanças na direção.

Os tubos e conexões são unidos por termofusão, ou seja, ambos os materiais se fundem molecularmente a 260°C, passando a formar uma tubulação praticamente contínua aumentando a segurança na instalação e do sistema. Os terminais fabricados em bronze niquelado fundido ao PPR garantem a durabilidade das uniões.

O processo de instalação é dividido em: tempo de aquecimento, intervalo de acoplamento, tempo de resfriamento e tempo de espera, que variam com o tipo de edificação e os diâmetros dos tubos, sendo que quanto maior o diâmetro, maior o tempo da instalação. Em instalações prediais é necessário um tempo de 1 (uma) hora de espera após a última termofusão para os testes hidráulicos.

Eles apresentam alto isolamento acústico, devido a sua espessura de parede, reduzindo ruídos em altas velocidades da água ou em fenômenos como golpe de aríete. Pela sua característica de isolante elétrico não são afetados pelos fenômenos das correntes vagantes, que causam perfurações nos tubos metálicos. Esse fenômeno ocorre em zonas industriais ou de forte concentração de corrente eletrostática.

As tubulações de PPR resistem temperaturas de serviço de 80°C a 60 m.c.a., suportando até temperaturas ocasionais de 95°C a 60 m.c.a., que podem ocorrer com desregulagem dos aparelhos de aquecimento. Produto dimensionado

para uma vida útil de 50 anos de acordo com testes de longa duração com fator de segurança de 1,5.

O PPR é um excelente isolante térmico, apresentando uma baixa perda de calor do fluido, e consequentemente reduzindo o gasto com energia garantindo a conservação da temperatura. Por esse fato o isolamento térmico é dispensável, demonstrando uma maior economia, e no caso de instalações industriais e especiais, pode-se aplicar isolantes térmicos.

Tabela 8 – Condutividade térmica

TABELA DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA			
MATERIAL	TEMP	UN	VALOR
PPR	20°C	W/mK	0,24
Alumínio	20°C	W/mK	195,00
Ferro	20°C	W/mK	62,00
Cobre	20°C	W/mK	332,00

Tabela 9 – Tempo de utilização em função da temperatura de serviço

TEMPO DE UTILIZAÇÃO X TEMPERATURA DE SERVIÇO				
TEMPERATURA (°C)	TEMPO DE SERVIÇO (ANOS)	PRESSÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL* kgf/cm ²	COEFICIENTE DE SEGURANÇA	PRESSÃO MÁXIMA DE SERVIÇO (PN 25 AMANCO) kgf/cm ²
10	10	48,8	1,5	32,5
	25	47,1	1,5	31,4
	50	46,0	1,5	30,6
	100	47,2	1,5	31,5
20	10	41,3	1,5	27,6
	25	39,9	1,5	26,6
	50	38,9	1,5	25,9
	100	37,9	1,5	25,3
40	10	29,7	1,5	19,8
	25	28,5	1,5	19,0
	50	27,8	1,5	18,5
60	10	25,0	1,5	16,6
	25	24,1	1,5	16,0
	50	23,3	1,5	15,5
70	10	17,7	1,5	11,8
	25	15,4	1,5	10,2
	50	13,1	1,5	8,7
80	10	12,3	1,5	8,2
	25	9,9	1,5	6,6
	50	9,0	1,5	6,0
95	5	11,6	1,5	5,3
	10	7,9	1,5	4,4
	20	6,7	1,5	3,8

* A pressão máxima admissível não deve ser considerada para projeto, por não incluir o coeficiente de segurança de 1,5, conforme previsto na norma europeia DIN 8078.

- Resistentes ao impacto devido sua ductibilidade;
- Possui elevada resistência química, podendo ser utilizado em muitas instalações industriais, de acordo com a norma ISO 7471;
- São muito flexíveis, permitindo curvas e desvios nos diâmetros menores com facilidade, reduzindo o tempo de aplicação;
- Permite um raio de curvatura de até 8 vezes do diâmetro do tubo (tabela);
- Os tubos e conexões são degradados pelos raios ultravioleta, sendo necessário um isolamento das tubulações;
- Resistentes a baixas temperaturas e formação de gelo no interior do tubo;
- Dilatação linear, sendo considerado coeficiente linear, obedecendo a fórmula:

$$\Delta L = \Delta T \cdot L \cdot \alpha$$

Onde:

ΔL = Variação do comprimento da tubulação (mm)

ΔT = Diferença de temperatura entre a temperatura no momento da instalação (temperatura ambiente) e a temperatura em fase de exercício (temperatura de serviço)

L = Comprimento da tubulação (m)

α = Coeficiente de dilatação linear do material = 0,15 mm/m°C

Tabela 10 – Dilatação longitudinal em função da temperatura

TABELA DE VARIAÇÃO LONGITUDINAL POR DILATAÇÃO EM INSTALAÇÕES APARENTES

COMPRIMENTO DOS TUBOS (m)	DIFERENÇA ENTRE TEMPERATURAS DE TRABALHO E TEMPERATURAS DE MONTAGEM A 20°C - (Δt)							
	VARIAÇÃO LONGITUDINAL POR DILATAÇÃO DOS TUBOS PPR EM (mm)							
	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
0,2	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40
0,4	0,60	1,20	1,80	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80
0,6	0,90	1,80	2,70	3,60	4,50	5,40	6,30	7,20
0,8	1,20	2,40	3,60	4,80	6,00	7,20	8,40	9,60
1,0	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00
2,0	3,00	6,00	9,00	12,00	15,00	18,00	21,00	24,00
3,0	4,50	9,00	13,50	18,00	22,50	27,00	31,50	36,00
4,0	6,00	12,00	18,00	24,00	30,00	36,00	42,00	48,00
5,0	7,50	15,00	22,50	30,00	37,50	45,00	52,50	60,00
6,0	9,00	18,00	27,00	36,00	45,00	54,00	63,00	72,00
7,0	10,50	21,00	31,50	42,00	52,50	63,00	73,50	84,00
8,0	12,00	24,00	36,00	48,00	60,00	72,00	84,00	96,00
9,0	13,50	27,00	40,50	54,00	67,50	81,00	94,50	108,00
10,0	15,00	30,00	45,00	60,00	75,00	90,00	105,00	120,00

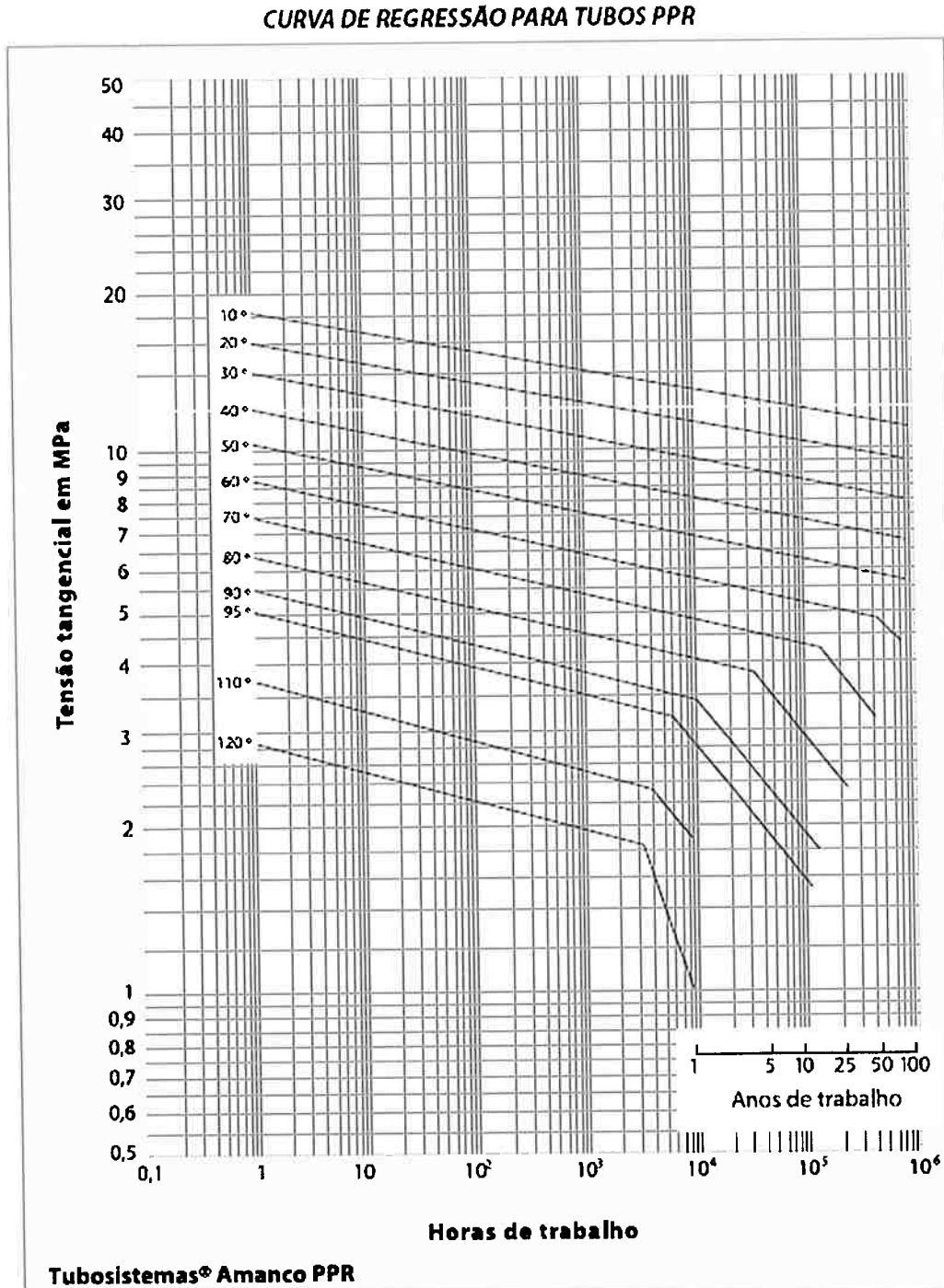


Figura 29 – Curvas de regressão dos tubos de PPR

8. Outros Tipos de Tubos

8.1. Sistema PEX (Tubo de alumínio com revestimento de PEX).

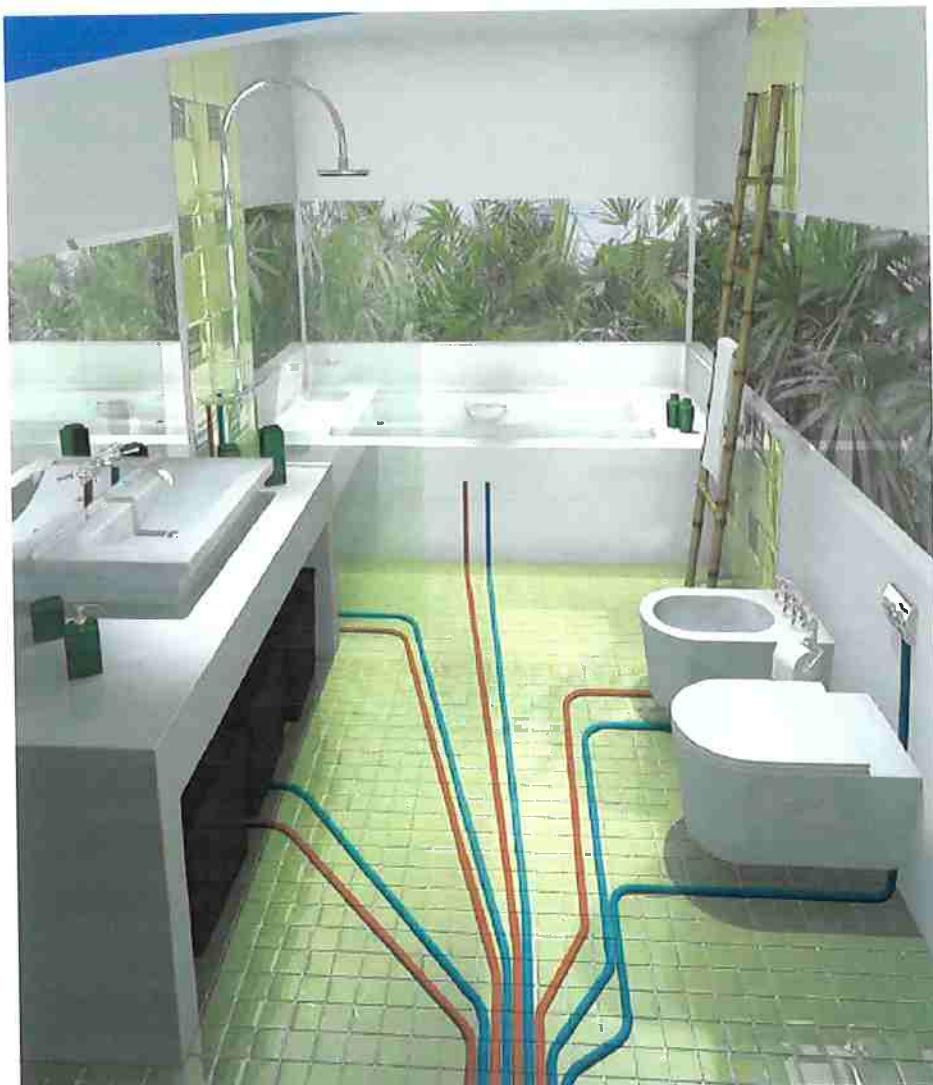


Figura 30 – Exemplo de uma instalação hidráulica

Sistema largamente utilizado na Europa, constituído de cinco camadas sobrepostas: camada externa de Polietileno (PEAD ou PEX/Polietileno reticulado), camada de adesivo, tubo de alumínio (alma), outra de adesivo, e por último uma

interna de PEX. As camadas de tubos são extrudadas separadamente, sendo que o PEX não é tóxico e completamente isento de rugosidade interna.

A principal vantagem do sistema é a união das vantagens do metal com as dos tubos plásticos, oferecendo alta resistência a corrosão e a vazamentos, podendo ser aplicado a baixas e altas pressões de serviço. Apresenta baixa condutividade térmica, e em temperatura normal de serviço não se dissolve em qualquer solução ácida, básica, salina entre outras. Totalmente higiênico, livre de ferrugem, é antibactericida e foi testado de acordo com a norma britânica BS 6920. Elevada resistência a pressão e temperatura se comparado a outros tubos de plástico, conseguindo resistir a 10kgf/cm^2 a 95°C . Devido sua flexibilidade natural não sofre de golpes de aríete e assim apresenta baixo ruído com o fluxo de água. Em baixas pressões no uso pode apresentar mais de 50 anos de vida útil.

Possui fácil instalação porque é dobrável eliminando alguns tipos de conexões, sendo adaptável a todo tipo de projeto. Sua manutenção é relativamente simples, pois é possível realizar a troca do tubo sem retirar o revestimento.

Estrutura

- 1 - Tubo interno em polietileno reticulado
- 2 - Adesivo especial
- 3 - Alumínio
- 4 - Adesivo especial
- 5 - Tubo externo em polietileno reticulado

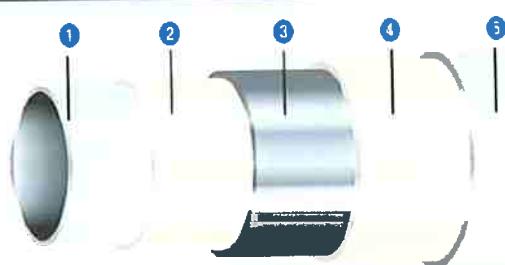


Figura 31 – Estrutura do tudo de alumínio com PEX.

Fabricado pela Emmeti, seu sistema ponto a ponto dispensa conexões e soldas, tornando a instalação rápida e eficiente. A acomodação dos tubos no piso torna desnecessário o corte nas paredes, gerando menos mão-de-obra. Tubo semi-rígido, fornecido em barras ou bobina de 100 metros.

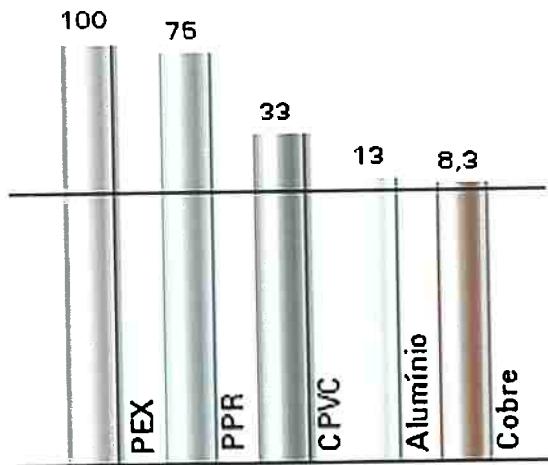


Figura 32 – Teste de dilatação linear em barras de 10 m, com variação de 50°C
(valores em mm)

Características técnicas:

- Temperatura de trabalho 95 °C
- Pressão de trabalho 10 bar
- Dilatação linear 0,025 mm/m °C
- Condutibilidade térmica 0,43W/m °C
- Raio mínimo de curvatura 5 x Ø tubo
- Dimensões 16 a 32 mm (bobinas)
16 a 63 mm (barras)
- Opção: Revestimento térmico isolante

Figura 33 – Características técnicas

9. Preços

Pesquisa realizada nos meses Abril e Julho do ano de 2007.

9.1. Tubo de CPVC (Tigre Aquaterm)

Tabela 11 – Preço dos tubos de CPVC na loja Telhanorte.

Polegadas ("")	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Preço (R\$) Abril / Julho	Preço por metro Abril / Julho
1/2	15	3	13,69	4,56
3/4	22	3	22,59 / 18,90*	7,53 / 6,30*
1	28	3	39,19	13,06

(* preços promocionais no mês em questão)

Tabela 12 – Preço dos tubos de CPVC na loja Potenza.

Polegadas ("")	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Preço (R\$)	Preço por metro
1/2	15	3	10,80	3,60
3/4	22	3	19,15	6,38

Tabela 13 – Preço dos tubos de CPVC na loja Center Castilho.

Polegadas ("")	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Preço (R\$)	Preço por metro
1/2	15	3	10,80	3,60
3/4	22	3	19,15	6,38

9.2. Tubo de Cobre (ELUMA)

Tabela 14 – Preço dos tubos de cobre na loja Telhanorte.

Polegadas ("")	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Preço (R\$) Abril / Julho	Preço por metro Abril / Julho
½	15	2,5	21,90 / 25,79	8,76 / 10,32
¾	22	2,5	38,90 / 37,99*	15,56 / 15,20*
1	28	2,5	59,59	23,84
1 ¾	35	2,5	86,79	34,72
1 ½	42	2,5	115,90	46,36

(* preços promocionais no mês em questão)

Tabela 15 – Preço dos tubos de cobre na loja Potenza.

Polegadas ("")	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Preço (R\$)	Preço por metro
½	15	2,5	21,825	8,73
¾	22	2,5	37,60	15,04

Tabela 16 – Preço dos tubos de cobre na loja Center Castilho.

Polegadas ("")	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Preço (R\$)	Preço por metro
½	15	2,5	33,55	13,42
¾	22	2,5	58,64	23,46
1	28	2,5	74,17	29,67
1 ½	42	2,5	140,01	56,00
2	53	2,5	203,08	81,23

9.3. Tubo de PPR (Amanco)

Tabela 17 – Preço dos tubos de PPR na loja Telhanorte.

Tipo	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Preço (R\$) Abril / Julho	Preço por metro Abril / Julho
1	20	4	19,89 / 18,49*	4,97 / 4,62*
2	25	4	28,59 / 24,90*	7,15 / 6,23*
3	32	4	44,39 / 41,20*	11,10 / 10,30*

(* preços promocionais no mês em questão)

10. Tabela de Comparação

A tabela foi construída atribuindo-se notas de 1 a 3, sendo que quanto menor a nota melhor é a qualidade do material no quesito. No final o total de cada produto será calculado para uma comparação entre os tubos.

Tabela 18 – Tabela de comparação com todas variáveis.

Variável\Tubos	Cobre	CPVC	PPR	Variável\Tubos	Cobre	CPVC	PPR
				Em Serviço	31	34	35
Instalação	13	10	08	Preço (aquisição)	3	1	1
Mão-de-obra/Técnica	2	1	1	Preço (estabilidade)	2	1	1
Tempo (execução)	2	2	1	Pressão de serviço	1	2	2
Tempo (espera)	1	3	2	Pressão máxima	1	2	2
Área de trabalho	2	1	1	Tmáx (serviço)	1	2	2
Manuseio	2	1	1	Tmáx (picos)	1	3	2
Segurança	2	1	1	Perda de carga	2	1	1
Custo	2	1	1	Diâmetros disponíveis	1	1	2
				Raios UV	1	2	2
Manutenção	5	5	4	Golpes de aríete	2	1	1
Custo	2	1	1	Contaminação	1	1	1
Técnica	2	1	1	Dilatação térmica	1	2	3
Ciclo/Vida útil	1	3	2	Isolamento acústico	2	1	1
				Isolamento térmico	2	1	1
Resistência	13	15	14	Flexibilidade	2	1	1
Mecânica	1	3	2	Reciclável	1	1	1
Química	2	1	1	Origem (MP)	1	2	2
Vibrações (estrutura)	1	2	2	Valorização (obra)	1	2	2
Oscilação (interna)	1	2	2	Anti-Bactericida	1	2	2
Térmica	1	2	2	Formação de gelo	1	2	1
Escoamento	2	1	1	Roubo	2	1	1
Elétrica	2	1	1	Confiabilidade	1	2	3
Ao fogo	1	2	2				
Corrosão	2	1	1	TOTAL	62	64	61

11. Análise

11.1. Instalação

Nesse requisito os tubos poliméricos apresentam mais vantagens do que os tubos de cobre pelo fácil manuseio e simples técnica de soldagem, sendo que o PPR é o melhor entre eles por possuir a técnica de mais fácil execução.

Os tubos de cobre além de serem mais pesados possuem conexões e juntas que necessitam de uma mão-de-obra mais especializada, atribuindo mais custos na instalação e possível manutenção. Os tubos de CPVC são um pouco mais leves do que os de PPR por serem menos espessos, porém o processo de termofusão da Amanco resulta em uma união simples e mais rápida com menos conexões.

Após a instalação o tubo de cobre já pode ser testado hidráulicamente, ao contrário dos outros tubos sendo necessário esperar pelo menos uma hora antes de realizar os testes no PPR, e quatro horas para o CPVC.

Porém a instalação dos tubos de cobre exige mais equipamento e uma maior área de trabalho, podendo complicar o processo em determinados casos. Ainda são utilizados chamas para soldar o cobre, aumentando o risco de acidentes no trabalho.

Tabela 19 – Variáveis de instalação

	Cobre	CPVC	PPR
Instalação	13	10	08
Mão-de-obra/Técnica	2	1	1
Tempo (execução)	2	2	1
Tempo (espera)	1	3	2
Área de trabalho	2	1	1
Manuseio	2	1	1
Segurança	2	1	1
Custo	2	1	1

11.2. Manutenção

Todos os tubos, se instalados corretamente de acordo com as normas, não necessitam de manutenção preventiva ou de acompanhamento.

A grande vantagem do tubo de cobre é sua vida útil que passa facilmente dos 50 anos, e dependendo do caso sua tubulação poderá ser utilizada sem previsões de troca, o que não ocorre com os tubos de plástico com o CPVC chegando até 40-45 anos e o de PPR em 50 anos no máximo.

Porém todas as variáveis em serviço não são controláveis e acidentes podem ocorrer, sendo nesse caso necessário realizar reparos nas tubulações. O PPR e o CPVC apresentam luvas que são fáceis de serem aplicadas, já o tubo de cobre terá de ser trocado, mas vale lembrar que ele é o mais resistente sendo menos suscetível a perfurações.

O tubo de cobre já possui um histórico extenso e dados extremamente confiáveis, porém no caso dos plásticos não se sabe exatamente seu comportamento a longos prazos, com previsões baseadas apenas em normas.

Tabela 20 – Variáveis de manutenção

	Cobre	CPVC	PPR
Manutenção	5	5	4
Custo	2	1	1
Técnica	2	1	1
Ciclo/Vida útil	1	3	2

11.3. Resistências

Nesse quesito foram considerados diversos aspectos de cada um dos tubos, e no final o tubo de cobre é o que apresentou as melhores propriedades.

A resistência mecânica dos tubos de cobre é a sua melhor característica, e de fato é melhor do que as exigidas pelas normas sendo também resistente a vibrações da estrutura da edificação e a oscilações da pressão interna. Sua resistência térmica também é elevada não sofrendo alterações em sua propriedades e dimensões em temperaturas acima de 80°C, temperatura máxima em serviço prevista para os plásticos. É resistente termicamente não sendo prejudicado com o contato ao fogo, não gerando gases tóxicos e nem serve de combustível para a propagação de incêndios. Porém sua sensibilidade diante de águas “ácidas” abaixa sua resistência química, o que não ocorre com o tubo de CPVC nem com o de PPR.

Devido às características das juntas e da superfície interna lisa, os tubos de CPVC e PPR são livres de incrustações e rugosidade caracterizando em uma menor resistência ao escoamento. Estes são também isolantes, sendo protegidos contra o fenômeno de correntes vagantes que podem perfurar o tubo de cobre.

Tabela 21 – Variáveis de resistência

	Cobre	CPVC	PPR
Resistência	13	15	14
Mecânica	1	3	2
Química	2	1	1
Vibrações (estrutura)	1	2	2
Oscilação (interna)	1	2	2
Térmica	1	2	2
Escoamento	2	1	1
Elétrica	2	1	1
Ao fogo	1	2	2
Corrosão	2	1	1

11.4. Variáveis em Serviço

Os tubos de CPVC e PPR possuem pressões e temperaturas máximas de trabalho próximas de 6,0 kgf/cm² a 80°C, apresentando propriedades similares na temperatura ambiente. Porém o PPR pode agüentar picos de até 95 °C sem alterar suas propriedades, levando vantagem em relação ao CPVC. O tubo de cobre é superior em qualquer temperatura de serviço resistindo a pressões maiores do que a especificada na norma, sendo utilizado também em tubulações estruturais nos sistemas prediais.

Pelo fato de possuir geralmente mais conexões e pela maior resistência ao escoamento, o cobre apresenta uma perda de carga elevada que se acentua nos cotovelos e junções, apresentando como desvantagem nesse quesito.

Os tubos de CPVC e principalmente o de Cobre já possuem diversos diâmetros disponíveis no mercado com uma longa lista de produtos e acessórios, resultando assim em uma maior flexibilidade na hora da criação do projeto. Não sofrem degradação pelos raios ultra-violeta podendo ser utilizados sem proteção neste caso. Os polímeros são degradáveis quando expostos a estes raios, tendo sua estrutura quebrada e assim comprometendo o desempenho dos tubos.

Quando há grandes variações nas pressões, em diferentes pontos na tubulação, é possível ocorrer o golpe de aríete com o corte brusco do fluxo de água, como em casos de fechamento de válvulas, danificando as instalações além de provocar ruídos desagradáveis. Nesse quesito os tubos plásticos são mais vantajosos devido à sua flexibilidade.

Em relação à contaminação do fluxo da água, todos os materiais possuem um limite de concentração que podem ser ingeridos sem afetar a saúde humana, e esta é uma área que ainda possui pesquisas sendo desenvolvidas, portanto a comparação se baseou apenas nos limites impostos pelas normas e pelo governo. Os três tipos de material, se fabricados de acordo com as especificações, respeitam os limites definidos.

O PPR e o CPVC apresentam dilatação térmica maior do que o cobre, fato que pode prejudicar o projeto necessitando de uma "folga" nos suportes e nas

instalações. Porém, pelo fato de serem mau condutores térmicos, são isolantes apresentando baixa perda de calor, dispensando isolamento refletindo nos custos finais. São também isolantes acústicos não propagando o som dos golpes de aríete e os ruídos causados pela velocidade da água.

Tabela 22 – Variáveis de serviço

	Cobre	CPVC	PPR
Em Serviço	31	34	35
Preço (aquisição)	3	1	1
Preço (estabilidade)	2	1	1
Pressão de serviço	1	2	2
Pressão máxima	1	2	2
Tmáx (serviço)	1	2	2
Tmáx (picos)	1	3	2
Perda de carga	2	1	1
Diâmetros disponíveis	1	1	2
Raios UV	1	2	2
Golpes de aríete	2	1	1
Contaminação	1	1	1
Dilatação térmica	1	2	3
Isolamento acústico	2	1	1
Isolamento térmico	2	1	1
Flexibilidade	2	1	1
Reciclável	1	1	1
Origem (MP)	1	2	2
Valorização (obra)	1	2	2
Anti-Bactericida	1	2	2
Formação de gelo	1	2	1
Roubo	2	1	1
Confiabilidade	1	2	3

12. Conclusão

Tabela 23 – Somatória das 41 variáveis

Tubos	Cobre	CPVC	PPR
TOTAL	62	64	61

De um modo geral, os três tipos de materiais podem ser utilizados nas instalações hidráulicas sem maiores problemas, considerando que nenhum deles consegue atingir o melhor resultado possível em todos os requisitos.

Pelo resultado da tabela construída, é possível notar um grande equilíbrio entre os produtos comparados após a soma das quarenta e uma variáveis, com a liderança do PPR seguido pelo Cobre e depois pelo CPVC.

Analizando apenas as variáveis de serviço há uma grande superioridade já esperada do tubo de cobre, porém na instalação e manutenção o tubo da amanco leva grande vantagem se aproximando do tubo metálico.

O maior problema em relação ao tubo de cobre que deve ser levado em conta, além do investimento inicial, é a sua baixa resistência em transportar água ácida, sendo neste caso recomendável utilizar tubo polimérico. Porém, se todas as condições forem favoráveis ele é o investimento mais seguro e confiável a longo prazo.

O PPR aparece como um ótimo concorrente para o Cobre e o CPVC, mas seu recente desenvolvimento afeta a sua confiabilidade, apesar do produto ser fabricado seguindo normas rígidas as informações a longo prazo são extremamente consideradas no ramo da construção civil.

13. Referências Bibliográficas

- 1- O Instituto do PVC. Disponível em: <<http://www.institutodopvc.org/dspvc/#>> Acesso em: 05 junho 2007.
- 2- Migott, A.F.; Beck, E. de O.; Junkes, M. R.; Faller, V.; Pereira, V. M.; “Instalações de água fria”. Instalações Hidráulicas. Disponível em: <<http://www.arq.ufsc.br/arq5661/Hidraulica2/index.html>>. Acesso em: 06 junho 2007.
- 3- Migott, A.F.; Beck, E. de O.; Junkes, M. R.; Faller, V.; Pereira, V. M.; “Instalações de água quente”. Instalações Hidráulicas. Disponível em: <<http://www.arq.ufsc.br/arq5661/Hidraulica2/index.html>>. Acesso em: 06 junho 2007.
- 4- “Benefícios das tubulações de cobre”. Aplicações do Cobre. O Instituto do Cobre PROCOBRE. Disponível em: <<http://www.procobre.org/pr/>>. Acesso em: 05 junho 2007.
- 5- “Pensou tubo, pensou cobre”. Aplicações do Cobre. O Instituto do Cobre PROCOBRE. Disponível em: <<http://www.procobre.org/pr/>>. Acesso em: 05 junho 2007.
- 6- “O cobre e a água potável”. Aplicações do Cobre. O Instituto do Cobre PROCOBRE. Disponível em: <<http://www.procobre.org/pr/>>. Acesso em: 05 junho 2007.
- 7- “O cobre nas instalações hidráulicas”. Aplicações do Cobre. O Instituto do Cobre PROCOBRE. Disponível em: <<http://www.procobre.org/pr/>>. Acesso em: 05 junho 2007.
- 8- Ormanji, W.; Nunes, L. R.; Rodolfo Jr, A.; “Tecnología do PVC”. Braskem. 2^a Edição. 2002.

- 9- Sobre o cobre. O Instituto do Cobre PROCOBRE. Disponível em:
<http://www.procobre.org/pr/>. Acesso em: 05 junho 2007.
- 10-Gnipper, S. F.; “Qual a durabilidade do encanamento de um edifício? Qual o melhor material para as tubulações hidráulicas?”. Fórum da Construção. Disponível em:
<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=27&Cod=103>.
Acesso em: 08 junho 2007.
- 11- Campos, I.M.; “Tubos em PPR, boa alternativa ao cobre nas tubulações de água quente”. Fórum da construção. Disponível em:
<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=27&Cod=91>
Acesso em: 08 junho 2007
- 12- “Polypropylene”. Wikipedia. Disponível em:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>. Acesso em: 08 junho 2007.
- 13- Bull, R. J.; “Copper in drinking water”. Committee (2000). Disponível em:
<http://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=9782>, http://books.nap.edu/catalog.php?record_id=9782. Acesso em: 10 junho 2007.
- 14- “CPVC vs. Copper Plumbing”. Builders Websource Technical Note (2001). Disponível em:
<http://www.builderswebsource.com/techbriefs/cpvccopper.htm#Introduction>
. Acesso em: 10 julho 2007.
- 15- “Soluções Amanco – Linha Predial”. Amanco Brasil Itda (2006). Disponível em:
<http://www.amanco.com.br/catalogovirtual/produtos.php?idsegmento=1&iduso=2>. Acesso em: 08 junho 2007.
- 16- “Manual Técnico – Tubosistemas Amanco PPR para condução de água quente”. Amanco Brasil Itda (2006). Disponível em:
<http://www.amanco.com.br/catalogovirtual/produtos.php?idsegmento=1&iduso=2>. Acesso em: 08 junho 2007.
- 17- “Chlorinated polyvinyl chloride”. Wikipedia. Disponível em:
<http://en.wikipedia.org/wiki/CPVC>. Acesso em 08 junho 2007.

- 18- Kundig, K. J. A.; "Making Copper Plumbing Tube". Disponível em:
<http://www.copper.org/applications/plumbing/overview/Overview_main.html>.
Acesso em: 10 junho 2007.
- 19- "Sobre o Polipropileno". Suzano Petroquímica. Disponível em:
<<http://www.suzanopetroquimica.com.br/website/home/Produtos/sobreopp.htm>>. Acesso em: 10 junho 2007.
- 20- "Sistemas de Tubulação para água fria e quente com uso de PEX". Artigo no pipesystem. Disponível em:
<http://www.pipesystem.com.br/Artigos_Tecnicos/PaviCLIMA/PaviClima_QF/paviclima_qf.html>. Acesso em: 10 junho 2007.
- 21- "Redes de distribuição de água quente e fria de tubo PP-R". Cabano Engenharia. Disponível em:
<<http://www.cabano.com.br/Redes%20de%20distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%C3%A1gua%20quente-%20fria.htm>>. Acesso em 10 julho 2007.
- 22-Site da Termomecânica São Paulo S.A. Disponível em:
<<http://www.termomecanica.com.br/tubos.asp>>. Acesso em: 10 julho 2007.
- 23- "Hidráulica sem conexões". Tubos de alumínio multicamadas Emmeti. Disponível em:
<<http://www.emmeti.com.br/produtos/produtos.asp?ct=1&mdlo=md4&id=11>>. Acesso em: 10 julho 2007.
- 24- "PEX – Polietileno Reticulado". Artigo no site Metalica. Disponível em:
<http://www.metalica.com.br/sistema/bin/pg_dinamica.php?id_pag=516>. Acesso em: 10 junho 2007.