

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

PELLIPP BIRKHAHN
WELLINGTON MICHEL SOARES DE OLIVEIRA

**ANÁLISES DAS NÃO CONFORMIDADES DE TUBOS DE CONCRETO, NÃO
ARMADOS, DESTINADOS A CONDUÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS, CONFORME A
NBR8890/2007**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2014

PHELLIPP BIRKHAHN
WELLINGTON MICHEL SOARES DE OLIVEIRA

**ANÁLISES DAS NÃO CONFORMIDADES DE TUBOS DE CONCRETO, NÃO
ARMADOS, DESTINADOS A CONDUÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS, CONFORME A
NBR8890/2007**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco.

Orientador. Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray

PATO BRANCO

2014

TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISES DAS NÃO CONFORMIDADES DE TUBOS DE CONCRETO, NÃO ARMADOS, DESTINADOS A CONDUÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS, CONFORME A NBR 8890/2007

PHELLIPP BIRKHAHN

e

WELLINGTON MICHEL SOARES DE OLIVEIRA

Aos 3 dias do mês de dezembro do ano de 2014, às 10h30min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 41-TCC/2014.

Orientador : Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. LUIZ ANTÔNIO MIOTTI (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca Prof Dr. VOLMIR SABBI (DACOC / UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

A Deus e família, pois sem eles não seria possível atingir esse objetivo.

Ao prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray, por acreditar e confiar na nossa capacidade perante o estudo proposto.

A Empretec Artefatos de Cimento, pela disponibilidade da estrutura e apoio a pesquisa.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela estrutura disposta no decorrer da graduação.

Ao Departamento Acadêmico de Construção Civil e todo o corpo docente, em especial aos professores da banca: Dr. Volmir Sabbi e Msc. Luiz Antonio Miotti, pelo apoio e correção deste trabalho e a professora Dra. Elizangela Marcelo Siliprandi pela condução do trabalho.

A todos os demais envolvidos, fica o nosso agradecimento.

“Tudo na vida acontece quando tem que acontecer, seja tolerante, humildade e paciência é uma virtude e com muito trabalho e persistência alcançamos nossos objetivos.”

Autor Desconhecido

RESUMO

BIRKHAHN, Phellipp; OLIVEIRA, Wellington M. S. **Análises das Não Conformidades de Tubos de Concreto, Não Armados, Destinados a Condução de Águas Pluviais, Conforme a NBR 8890/2007**. 2014. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

A normalização dos tubos de concreto está a cargo da NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007), que delimita os parâmetros a serem garantidos no produto final, com isto órgãos públicos e privados, estão exigindo o cumprimento dos apontamentos previsto nesta norma. Neste trabalho realiza-se, inspeção visual e dimensional, a resistência à compressão diametral de tubos curados e não curados. Foi verificado, também, o enquadramento nas cargas mínimas de ruptura propostas pela norma, a absorção do concreto empregado no tubo e a análise de possíveis falhas no processo produtivo da empresa. Iniciaram-se os estudos fazendo as inspeções visuais e dimensionais. Foi observado que no acabamento existe a presença de bolhas superficiais que estão em desacordo com a norma. Também foi observado diferenças diametrais, devido o excesso de compactação das extremidades. Para a verificação do melhor tipo de cura, foi empregado o encamisamento por lona plástica com 2 variações, sendo elas, encamisamento total, onde o tubo foi totalmente isolado das intempéries e o encamisamento parcial onde foi vedado somente as laterais, comparando-os com os tubos que ficaram expostos ao tempo. Os tubos que receberam o encamisamento por completo apresentaram desempenho superior aos outros tipos de cura, os tubos curados parcialmente tiveram os resultados que se equiparam aos tubos que não receberam cura, demonstrando assim a ineficiência do sistema de cura parcial. Todos os tubos apresentaram resistência a compressão diametral acima do mínimo exigido pela norma, exceto o tubo com diâmetro de 600 mm que foi reprovado nesse requisito. A absorção é um fator determinante no desempenho em serviço deste tipo de tubulação. Foram retiradas amostras das paredes dos tubos e realizado o ensaio de absorção. Levando em consideração a absorção máxima permitida, somente o tubo com diâmetro de 400 mm foi aprovado, já os resultados apresentados pelas outras amostras foram bastante variados, não permitindo uma conclusão exata. Esta variação deve-se ao fato que o mesmo traço de concreto é utilizado em todos os diâmetros produzidos pela empresa, não levando em consideração suas peculiaridades, considerando que o traço padrão foi desenvolvido para o tubo com diâmetro de 400 mm Os tubos foram pesados e a partir desses resultados constatou-se que não existe variação da massa do tubo, e assim o empacotamento proporcionado pelo equipamento não demonstra variações significativas a ponto de prejudicar sua estrutura e elevar o consumo de concreto. A fim de identificar possíveis falhas no processo produtivo foi realizado um estudo de cada etapa que o compõe. Verificaram-se inconformidades na umidade presente nos agregados, que não são levadas em consideração no ato da adição de água no concreto. Também se constatou falhas no processo de retirada das formas, onde, através de batidas ocasionam e trincas que geram quebras no armazenamento e transporte. Observou-se grande quebra das extremidades do tubo devido ao manuseio para armazenamento, ocasionado pelo manejo inadequado do produto. Para estes problemas sugeriu-se o treinamento e especialização da equipe.

Palavras chave: Não Conformidade. Absorção. Compressão Diametral. Tubo de Concreto.

ABSTRACT

Birkhahn, Phellipp; OLIVEIRA, Wellington M. S. **Analysis of Non-Conformance concrete pipes, not armed, intended to Water Driving Storm, As the NBR 8890/2007**. 2014. 74 f. Work Completion of course (Bachelor of Civil Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2014.

Standardisation of concrete pipes is in charge of the NBR 8890 (ASSOCIATION ..., 2007), which defines the parameters to be guaranteed in the final product, with this public and private agencies, are demanding compliance with the notes set forth in this standard. In this paper we analyze concrete pipes, its dimensions, the presence of bubbles, cracks and damaged parts, resistance to diametrical compression of cured and uncured tubes and framing the minimum breaking loads of proposals by the standard, the absorption of concrete employee in the tube and the analysis of possible faults in the production process of the company. Started the studies making the visual and dimensional inspection, it was observed that in the finish there is the presence of surface bubbles that are at odds with the standard also, diametric differences, where there is a greater compression of the extremities. For the verification of the best kind of healing, we used the casing by plastic canvas with 2 variations being casing completely, where the pipe was totally isolated from the elements and the partial casing which was sealed side only, and comparing them with the tubes were exposed to the weather. Tubes that received the casing completely showed superior performance to other types of curing the partially cured tubes had the results that are equivalent to tubes that did not receive healing, thus demonstrating the ineffectiveness of the partial curing system. All tubes showed compressive strength diametrical above the minimum required by the standard, except the pipe with 600 mm diameter that failed this requirement. Absorption is a key factor in the performance in service of this type of pipe, tubes were removed from the walls of the samples and performed the absorption test. Taking into account the maximum allowed absorption, only the tube with a diameter of 400 mm was approved, as the results presented by other samples were varied, not allowing an accurate conclusion. This variation is due to the fact that the same concrete mix is used in all diameters produced by the company, not taking into account their peculiarities, whereas the standard trait was developed for the pipe with a diameter of 400 mm. In order to analyze the variation in the density provided by the radial press, the tubes were weighed and from these results it was found that there is no tube pasta variation and so the packaging provided by the equipment does not demonstrate significant variations as to impair its structure and increase the consumption of concrete. In order to identify possible flaws in the production process was carried out a study of each step that makes up, there were non-conformities in the moisture present in the aggregates, which are not taken into account in the water adding the act in concrete, also found flaws in removal process forms where, by beats cause breaks and cracks that generate in storage and transport. We observed a large drop in pipe ends due to handling, storage, caused by improper handling of the product. For these problems it was suggested that training and specialization of staff.

Keywords: Non-compliance. Absorption. Diametral compression. Concrete pipe.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de Seção Transversal do Tubo da Adutora Rio Grande.....	17
Figura 2 – Prensa Vibramatic	21
Figura 3 - Conjunto Vibratório	22
Figura 4 – Prensa PMT 1000.....	23
Figura 5 – Êmbolo para Compressão.....	24
Figura 6 – Tubos estocados em pé.....	25
Figura 7 – Armazenamento dos Tubos Horizontalmente	26
Figura 8 – Equipamentos para Movimentação de Tubos.....	26
Figura 9 – Tubos Transportados em Pé	27
Figura 10-EMIC DL30000.....	30
Figura 11 – Viga Superior (1); Dispositivo de Articulação e Acoplamento (2)	31
Figura 12 – Viga inferior (1); Furação Centralizada para Fixação na Base da Prensa (2)	31
Figura 13 - Pórtico com Conjunto Hidráulico	32
Figura 14 - Transdutor de Força U10M (1); Quantum X MX840A - Amplificador Universal de 8 Canais (2).....	32
Figura 15 - Gabarito para Medida de Alinhamento	33
Figura 16 - Esmirilhadeira Modelo GA 9020.....	33
Figura 17 - Dimensões do Tubo de Concreto Tipo Macho e Fêmea	35
Figura 18 – Esquema de Montagem do Dispositivo de Acoplamento.....	37
Figura 19 – Tubo de Concreto Acomodado na Prensa EMIC.....	38
Figura 20 – Sequência de Ensaio do Tubo com Diâmetro Nominal de 600 mm	39
Figura 21 - Sequência de Ensaio de Absorção	40
Figura 22 – Avaliação dos Tubos de 200 mm.....	42
Figura 23 – Quebra da Fêmea do Tubo Número 4	43
Figura 24 – Defeito de Acabamento na Borda Superior do Macho do Tubo Número 6	43
Figura 25 – Defeito de Acabamento na Borda Superior do Tubo Número 5.....	44
Figura 26 - Tubos com Macho e Fêmea Bem Definidos	44
Figura 27 – Ausência de Argamassa no Concreto.....	45
Figura 28 – Patologia Gerada no Macho do Tubo pela Ausência de Argamassa no Concreto	46
Figura 29 – Bolhas com Diâmetro Superior a 10 mm e Profundidade Superior a 5 mm	46
Figura 30 – Faixa de Redução Diametral.....	47
Figura 31 – Tubos de Concreto Encamisados	53
Figura 32 – Umidade Após a Retirada da Camisa nas Primeiras Idades	54
Figura 33 - Sistema de Encamisamento na Face Superior Aberta.....	56
Figura 34 – Baias de Armazenamento dos Agregados	59
Figura 35 – Carrinhos de Mão Carregados com Agregados	60
Figura 36 – Esteira Transportadora de Concreto e Equipamento de Compressão Radial	61
Figura 37 - Transporte do Tubo de Concreto Após Moldagem	61
Figura 38 – Tubos de Concreto Rompidos.....	62
Figura 39 – Tubos Rompidos Durante o Transporte	62
Figura 40 – Transporte e Empilhamento dos Tubos de Concreto	63
Figura 41 – Machos e Fêmeas Quebrados Durante o Empilhamento para Vários Diâmetros .	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- CAPACIDADE ESTIMADA DE PRODUÇÃO	22
TABELA 2 - CAPACIDADE ESTIMADA DE PRODUÇÃO	24
TABELA 3 - EMPILHAMENTO MÁXIMO RECOMENDADO DOS TUBOS DE CONCRETO.....	25
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRAGEM DOS TUBOS DE CONCRETO.	34
TABELA 5 - DIMENSÕES DOS TUBOS PARA ÁGUAS PLUVIAIS COM ENCAIXE MACHO E FÊMEA.....	36
TABELA 6 – DADOS DIMENSIONAIS DOS TUBOS COM 200 mm DE DIÂMETRO ...	48
TABELA 7 - DADOS DIMENSIONAIS DOS TUBOS COM 300 mm DE DIÂMETRO	49
TABELA 8 - DADOS DIMENSIONAIS DOS TUBOS COM 400 mm DE DIÂMETRO	50
TABELA 9 - DADOS DIMENSIONAIS DOS TUBOS COM 600 mm DE DIÂMETRO	51
TABELA 10- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAMETRAL DE TUBOS SIMPLES. ..	52
TABELA 11 – VALORES DA ABSORÇÃO MÉDIA DOS TUBOS DE CONCRETO.....	57
TABELA 12 – MASSA MÉDIA DOS TUBOS CONFORME O DIÂMETRO NOMINAL .	59
TABELA 13 – RESULTADOS DA ANÁLISE DIMENSIONAL DOS TUBOS DE 200 mm	70
TABELA 14 – RESULTADOS DA ANÁLISE DIMENSIONAL DOS TUBOS DE 300 mm	71
TABELA 15 – RESULTADOS DA ANÁLISE DIMENSIONAL DOS TUBOS DE 400 mm	72
TABELA 16 – RESULTADOS DA ANÁLISE DIMENSIONAL DOS TUBOS DE 600 mm	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 JUSTIFICATIVA	12
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
4.1 HISTÓRIA DOS TUBOS DE CONCRETO.....	13
4.2 APLICAÇÕES DOS TUBOS DE CONCRETO.....	15
4.3 CONCRETO EMPREGADO NA PRODUÇÃO DE TUBOS.....	17
4.3.1 Cura Aplicada a Tubos	19
4.3.2 Importância do Adensamento no Concreto Seco	19
4.4 DESENVOLVIMENTO DE TUBOS DE CONCRETO	20
4.4.1 Equipamentos.....	21
4.4.2 Manuseio e Armazenamento.....	24
5 ANÁLISE EXPERIMENTAL	28
5.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL	29
5.2 Instrumentação para os ensaios dos tubos de concreto	30
5.2.1 Ensaio de Compressão Diametral	30
5.3 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DOS TUBOS DE CONCRETO, CONFORME NBR8890/2007.....	33
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6.1 INSPEÇÃO VISUAL.....	42
6.1.1 Diâmetro Nominal de 200 mm.....	42
6.1.2 Diâmetro Nominal de 300 mm.....	42
6.1.3 Diâmetro Nominal de 400 mm.....	44
6.1.4 Diâmetro Nominal de 600 mm.....	45
6.2 INSPEÇÃO DIMENSIONAL	47
6.2.1 Diâmetro Nominal de 200 mm.....	48
6.2.2 Diâmetro Nominal de 300 mm.....	49
6.2.3 Diâmetro Nominal de 400 mm.....	50
6.2.4 Diâmetro Nominal de 600 mm.....	51
6.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAMETRAL E INFLUÊNCIA DA CURA NO CONCRETO.....	52
6.3.1 Diâmetro Nominal de 200 e 300 mm	53
6.3.2 Diâmetro Nominal de 400 mm.....	55
6.3.3 Diâmetro nominal de 600 mm	56
6.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	57
6.5 MASSA MÉDIA DOS TUBOS.....	58
6.6 ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO	59
7 CONCLUSÃO	64
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE A - Inspeção visual do tubo de 200 mm.....	70
APÊNDICE B – Análise visual tubo de 300 mm.....	71
APÊNDICE C – Análise visual do tubo de 400 mm.....	72
APÊNDICE D – Análise visual do tubo de 600 mm.....	73

1 INTRODUÇÃO

O sistema de drenagem é um elemento fundamental no processo de urbanização, entretanto, por vezes é comprovada a sua ineficiência imediatamente após as precipitações significativas, trazendo transtornos. A drenagem urbana está ligada diretamente a questões sanitárias, visando principalmente desobstruir cursos d'água, canalizar e drenar as precipitações, evitando as enchentes, a propagação de doenças e causando danos materiais às famílias locais.

A drenagem urbana é classificada em macrodrenagem que engloba a construção de canais artificiais ou galerias de grandes dimensões, estruturas auxiliares contra erosão e assoreamento entre outros. O trabalho em questão se enquadra na categoria de conexões utilizadas em microdrenagem que se define como o sistema de condutos de águas pluviais em nível de loteamento ou de rede primária urbana, constituída de dispositivos para captação de águas pluviais conhecida popularmente como bocas de lobo, elementos de drenagem de vias públicas (sarjeta). O elemento objeto de estudo neste trabalho são os tubos de concreto para condução de águas pluviais.

A utilização de tubos de concreto, com variados diâmetros, é de grande importância na concepção de projetos de drenagem urbana e esgoto sanitário, tanto no ponto de vista técnico como econômico. A fabricação está amparada pela Associação Brasileira de Normas técnicas NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007) intitulada Tubo de Concreto de Seção Circular para Águas Pluviais e Esgotos Sanitários - Requisitos e métodos de ensaios.

Devido aos avanços na qualidade dos tubos e nos processos de fabricação hoje ambos se baseiam em metodologias e procedimentos de conformidades do produto estabelecidos por norma, sendo eles, verificação de permeabilidade, absorção, estanqueidade das juntas, carga de ruptura e de trincas. O atendimento às norma possibilita um maior domínio e padronização das características mínimas a serem encontradas nos tubos de concreto, propiciando maior competitividade entre as empresas do ramo e maior lealdade aos negócios voltados à venda de tubos.

Este trabalho será realizado em parceria com uma empresa localizada no Sudoeste do Estado do Paraná, que possui sua planta industrial voltada à fabricação de tubos de concreto para águas pluviais, além de pequena escala de produção de artefatos de cimento. Com o intuito de melhorias da qualidade e busca pela padronização da produção, foi sugerido o

trabalho em conjunto, com o propósito de analisar a conformidade dos tubos de concreto produzidos atualmente segundo o proposto pela NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO..., 2007).

Os ensaios serão realizados no laboratório de Materiais de Construção e Estruturas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Pato Branco, onde serão realizadas análises visuais, dimensionais, resistência à compressão diametral, absorção e pesagem dos tubos de concreto.

Hoje devida à baixa procura das empresas por esse tipo de serviço na região e à ausência de pesquisas na área, neste Câmpus da UTFPR, o laboratório receberá algumas adaptações para suprir as necessidades previstas para a realização dos ensaios deste trabalho.

Após a realização de todos os ensaios e análise dos resultados, será possível obter uma panorâmica geral de como estão os procedimentos atuais da empresa e *a posteriori* sugerir possíveis pontos para melhoria das propriedades mecânicas e também do processo produtivo dos tubos de concreto voltados à condução de águas pluviais.

2 OBJETIVOS

2.1.1 OBJETIVO GERAL

Verificação da não conformidade de tubos não armados de junta rígida, macho e fêmea com diâmetros de 200, 300, 400 e 600 (mm), segundo a NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007).

2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para realizar o estudo dos tubos de concreto e suas propriedades foram analisados os seguintes itens prescritos pela norma:

- Análise visual;
- Análise dimensional;
- Determinação da carga de ruptura;
- Determinação da absorção de água;
- Determinação da massa média dos tubos;
- Análise do processo produtivo.

3 JUSTIFICATIVA

Considerando a iminente necessidade de atualização dos tubos pré-moldados de concreto, faz-se necessário o constante aperfeiçoamento para garantir a segurança e qualidade dos tubos.

Ocorre que, encontram-se no mercado, apesar de haver normatização adequada para a produção, diferentes inconformidades nos produtos. Assim sendo, observa-se a possibilidade de melhorias no modo de produção da fabricação regional, levando o mercado de consumo a utilização de produtos mais próximos da normatização, evitando futuros problemas na fabricação e na utilização dos mesmos.

A falta de conformidade na fabricação dos tubos, conforme a norma NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO..., 2007), pode trazer a elevação do custo, como por exemplo, o uso de traço inadequado. Com aumento de consumo de cimento aumenta em razão direta o custo do produto final, gerando prejuízo para o fabricante.

Com a redução do consumo do cimento o produto final pode sofrer o desmonte já na desforma, ou ainda problemas no momento do transporte e armazenamento. Em qualquer uma destas circunstâncias citadas o consumidor não estará recebendo um produto dentro das conformidades normatizadas e, no caso dos tubos, eles podem não ter a resistência adequada ao uso a que se propõem. Esse exemplo justifica a importância deste trabalho, uma vez que diferentes ensaios serão realizados a fim de verificar a adequação dos produtos oferecidos no mercado, em uma amostra específica de uma empresa do sudoeste do Paraná, com as normas que regulamentam tais produtos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 HISTÓRIA DOS TUBOS DE CONCRETO

Pesquisas e vestígios históricos revelam que os serviços de esgoto e drenagem de água iniciaram há muitos anos antes de Cristo (a.C.). Por exemplo, na cidade de Nippur, Índia, onde muito antes da disponibilidade de aço, do plástico e de concreto já era realizado as coletas de águas pluviais e sanitárias, foi executado um arco subterrâneo cerca de 3750 a.C. Também em Tell-Asmar, próximo a Bagdá no Iraque, em torno de 2600 a.C. e a Cloaca Máxima que foi construído na antiga Roma que tinha como objetivos drenar águas pluviais e residuais. (AZEVEDO NETTO, 1959)

As águas das chuvas tinham a função de conduzir os dejetos depositados nas ruas, que se amontoavam nas calçadas. Assim chegavam canalizações construídas na época (CHAMA NETTO,2008).

Com o desenvolvimento das cidades e conseqüentemente das construções permanentes de casas, houve o aumento de esgoto, lixo e outras matérias refugadas que eram depositados nas ruas. Somente quando os montes se tornavam altos e o odor incomodava a população, todo o lixo era retirado e removido com o uso das mãos, pás e carrinhos de mão.

Muitas cidades como Londres, Paris e Baltimore, tentaram o uso de fossas sépticas, porém obtiveram resultados desastrosos, pois, as fossas se tornaram áreas de reprodução de doença. Como a retirada dos dejetos era feito manualmente, com baldes, alguns homens eram encarregados para executar o trabalho, visto como insuportável devido as adversidades encontradas. Está condição permaneceu até o início do século XIX, quando sistemas de distribuição de água tornaram possível o uso da água para conduzir os despejos das grandes cidades, tornando-as mais limpas e melhorando as condições de saúde e estética (AMERICAN ...,1980).

Segundo Azevedo Netto (1959), no ponto de vista da saúde pública, os métodos de condição de despejos não evoluíram até a década de 1840, quando o moderno modelo coletor de esgotos foi elaborado, em Hamburgo, Alemanha, pelo Engenheiro W. Lindley. Tal coletor foi revolucionário, pois as casas eram diretamente conectadas ao sistema de coleta e as canalizações, transportando os dejetos de esgoto através das águas pluviais.

As doenças, como a cólera asiática, que atormentaram a Inglaterra em 1854 e depois, Paris, aceleraram as execuções de canalizações de esgotos em toda a Europa depois da metade do século XIX (AMERICAN ..., 1959). Londres em 1856 começou a execução do primeiro interceptor na extensão do rio Tâmis (AZEVEDO NETTO, 1959).

Conforme Azevedo Netto (1959), no Brasil, a primeira rede de esgoto foi construída no Rio de Janeiro, tendo início em Janeiro de 1857, a conclusão de sua obra demorou cerca de 7 anos. A cidade do Rio de Janeiro tornou-se a 5ª cidade do planeta que iniciou a construção de sistemas de esgotos sanitários, incluindo redes coletoras e instalações de tratamento. Após a construção do sistema no Rio de Janeiro, outras cidades importantes brasileiras passaram a construir redes de esgoto, como Recife em 1873 e São Paulo 1876.

O ano de 1880 caracterizou-se por ser um período de crescimento no setor industrial de tubos de concreto, induzido pelos assuntos relacionados à tecnologia e desenvolvimento do mercado. Houve progressos na modernização dos projetos, métodos construtivos de redes de esgotos e galerias de águas pluviais. Esses avanços incorporaram o desenvolvimento de teorias hidráulicas, princípios sobre cargas atuantes no tubo, normatizações de materiais e realizações de ensaios. (ASSOCIAÇÃO ...,1980)

Nas três primeiras décadas do século XX, houve o desenvolvimento sobre as cargas atuantes nos tubos. Pesquisadores do Estado de Iowa, nos Estados Unidos, articularam teorias para aproximar as cargas atuantes sobre um tubo enterrado. O projeto original foi feito por Marston e Anderson foi lançado em 1913. Em seguida, Marston se juntou com M.G. Spangler e W.J. Schlick para juntos aprimorarem suas pesquisas. Em 1930, foi publicado “The Theory of External Loads on Closed Conduits in The Light of The Latest Experiments” por Marston, a publicação teve como tentativa prosperar a padronização dos tubos de concreto armado com finalidade de esgotos sanitários, conseguido oficialmente em 1935 e por volta de 1937 obteve sucesso no estudo das águas pluviais (ASSOCIAÇÃO ..., 1980).

Em 1924, realizou-se o primeiro ensaio diametral pela fábrica da Companhia Americana de Produtos de Concreto nos Estados Unidos da América, na cidade de Neville Island. As dimensões utilizadas na pesquisa do tubo de concreto foram de 700 mm de diâmetro e 1,50 m de comprimento (ASSOCIAÇÃO, 1980).

Segundo Chama Netto (2004), a produção anual nos Estados Unidos foi elevada significativamente nos seguintes anos pós-segunda guerra mundial, pois sua fabricação de tubos de concreto atingiu a marca de 4 milhões de toneladas por ano. Em 1970, a produção totalizava mais de 10 milhões de toneladas por ano, obtendo mais de 1 bilhão de dólares na comercialização do produto desenvolvido durante o período.

Já na Europa, como consequência da crise continental que ocorreu nos últimos anos da década de 1980 à 1995, o comércio de tubos de concreto foi afetado severamente. As empresas que fabricavam os tubos de concreto exigiam, aos fabricantes de equipamentos, o aperfeiçoamento das máquinas para que houvesse uma maior flexibilidade na redução de espessura nas paredes de concreto e com isso reduzir o trabalho na produção da variação dos diâmetros dos tubos (CHAMA NETO, 2004).

No Brasil, a criação da Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto (ABTC) em 2001 e o apoio da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), deu início à administração do setor, através da ligação de empresas do ramo de tubos de concreto. Essa administração resultou na evolução na qualidade dos tubos, disponibilizando de informações técnicas com visão de consolidar a sabedoria na forma de utilização em obras (ASSOCIAÇÃO ..., 2008).

A ABTC junto com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) formou um único texto que uniu 14 Normas sobre o conteúdo, surgindo assim a NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ...,2003). Em 2007, esta norma foi aperfeiçoada com inclusão de moldagem em tubos reforçados com fibras de aço, alterando-se para NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ...,2007) Tubo de concreto de Seção Circular para Águas Pluviais e Esgotos Sanitários – Requisitos e métodos de ensaios (ASSOCIAÇÃO ..., 2008).

4.2 APLICAÇÕES DOS TUBOS DE CONCRETO

As principais aplicações de tubos de concreto em todo o mundo são:

- Drenagem;
- Travessias e Bueiros;
- Abastecimento de água sobre pressão;
- Redes de esgotos Sanitários;
- Galerias de águas Pluviais;
- Entre outros.

A aplicação de tubos de concreto na área de drenagem é bastante vasta, como exemplo, em campos de futebol, arenas esportivas, aeroportos, rodovias, indústrias, parques.

Após a guerra civil, nos Estados Unidos, os tubos de concreto foram utilizados em bueiros e galerias em ferrovias no país e com a evolução da economia norte-americana, entre

os anos 1915 a 1960, houve o avanço das estradas e, conseqüentemente, foi elevado a atribuição de tais elementos. A alternativa de utilizar tubos de concreto nessas obras se deve a vida útil elevada que equivale há no mínimo 100 anos, aonde havia a opção de cravar tubos sob aterros sem prejudicar o trânsito.

Segundo a ABTC (2008) cerca de 90% dos aeroportos do Canadá e Estados Unidos utilizam Tubos de Concreto, pra escoamento de águas pluviais, tal escolha é feita por conseguir resistir à cargas expostas do solo e pelo tráfego.

Em construções de esgoto sanitário os materiais mais utilizados são os tubos de concreto, sua utilização trabalha como conduto livre, ou seja, a pressão é igual à atmosférica, suas dimensões são normalmente maiores a 400 mm de diâmetro. Até a poucos anos, no cenário brasileiro, os tubos de concreto com diâmetros maiores de 400 mm eram a única escolha para o propósito de rede de esgotos não pressurizada (CHAMA NETO, 2004).

Os tubos de concreto podem ainda ser aplicados na construção de redes de drenagem. Chama Neto (2004), relata os benefícios de uma rede de drenagem de águas enterrada ou superficiais onde se utilizam basicamente tubos de concreto, como a vazão da água superficial, menos custos com manutenção, valorização no território, diminuição da propagação de doenças, etc.

A NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007), indica que os tubos de concreto com destino as águas pluviais, podem ser fabricados, armado ou não armado, em diversos diâmetros e com categorias de resistências variadas, para combinar com cada tipo de aplicação do elemento.

No Brasil, também são fabricados outros tipos de matérias para a finalidade de drenagem de águas da chuva, entretanto, é fato que os municípios preferem optar pelos tubos de concreto, uma vez que são confiáveis pela sua eficiência, durabilidade, vantagens de instalações e se tornam mais econômico (CHAMA NETO, 2004).

Outra aplicação do tubo de concreto, segundo Chama Neto (2004), é a de rede de abastecimento de água pressurizada que foi executada no Brasil com forma de concreto protendido em uma adutora de água da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) na cidade de São Paulo, chamada de adutora Rio Grande. Sua produção é realizada como o esquema da Figura 1.

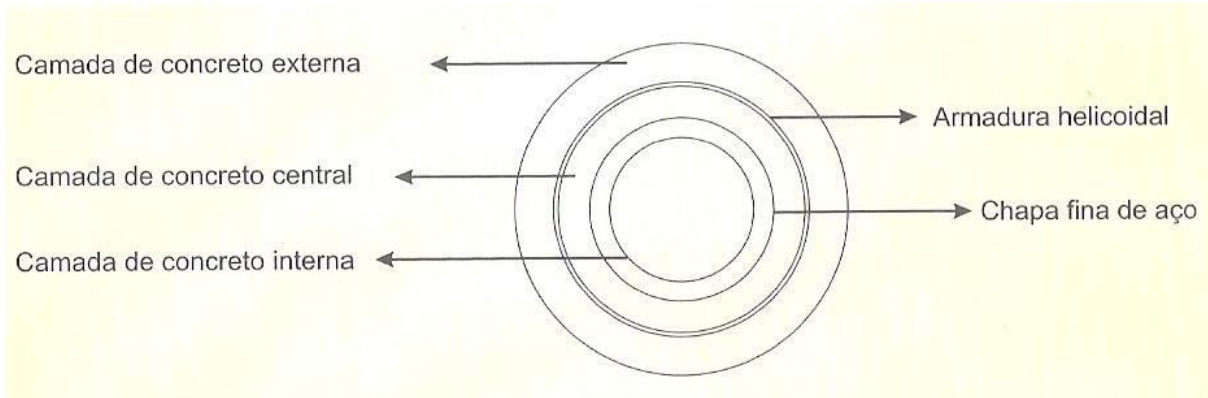


Figura 1 - Esquema de Seção Transversal do Tubo da Adutora Rio Grande
Fonte: Chama Neto (2004)

Executada em 1930 a adutora de abastecimento de água Ribeirão das Lajes, no Rio de Janeiro, é uma obra de relevância, entorno de 70 km de extensão a adutora está em pleno funcionamento (CHAMA NETO, 2004).

Desta forma, os tubos são projetados com uma finalidade específica, porém, são reformulados para a aplicação em outros ramos e atividades, como por exemplo, a utilização como *playground*, passagem para animais embaixo de rodovias, fossas sépticas, caixas de inspeções, passagem de instalações subterrâneas, entre outros fins.

4.3 CONCRETO EMPREGADO NA PRODUÇÃO DE TUBOS

Fernandes (1995) descreve que para um concreto seco, não é a relação água/cimento, mas sim o teor de umidade da composição, que rege a resistência final do concreto. A umidade fica entre 5% e 8% do resultado da massa, isso variando de equipamento para equipamento aplicado na homogeneização da mistura. Conforme Juvas (1993), a umidade do concreto seco tem a tarefa prioritária de reagir com o cimento, ocorrendo assim a reação de hidratação.

A relação de uma maior quantidade de cimento em uma mistura acarretará na diminuição da porosidade da pasta aumentando a sua resistência. A relação depende da adesão pasta-agregado, que pode influenciar na resistência do concreto (GIAMUSSO, 1992).

A Norma NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007), estabelece um conjunto de características e de requisitos dos materiais para a produção do tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e sanitárias. A Norma forma abrange aspectos relativos ao

concreto, definindo a máxima relação água/cimento, discriminando qual o tipo de cimento que deve ser empregado em cada caso de utilização e, também, seus cobrimentos mínimos das armaduras, tolerância de espaçamento nos tamanhos e ensaios a serem realizados.

Ainda na NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007), determina na utilização do concreto a ser utilizado para a fabricação de tubos deve ser levada em consideração a agressividade do meio onde os tubos serão instalados ou utilizados. A elaboração do concreto também deve ter um controle correspondente a NBR 12654 (ASSOCIAÇÃO ..., 1992).

A dosagem do concreto é a ação para caracterizar as frações de cimento, água, agregados e aditivos que em uma combinação de elementos tenham propriedades necessárias tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

No estado fresco deve ter características básicas como consistência adequada e coesão. Já no estado endurecido é a sua resistência, durabilidade, que podem ser solicitados, além de outras características como a resistente a sulfatos, massa específica baixa, ser fluido a ponto de ser bombeada, limitação do calor de hidratação entre outros (GIAMUSSO, 1992).

Para a NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007), “A relação de água/cimento, expressa em litros de água por quilograma de cimento, deve ser no máximo de 0,50 para tubos destinados a águas pluviais e no máximo de 0,45 para tubos destinados a esgotos sanitários”.

O cimento para a fabricação de tubos de concreto para águas pluviais pode ser de qualquer tipo Portland que atendam os requisitos das normas. Já os tubos destinados à condução de esgoto sanitário, devem ser elaborados com cimento resistente a sulfatos NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007).

Quando se quer uma maior rapidez na produção de peças de concreto, utilizam-se cimentos com alta resistência inicial. (FERNANDES, 2008). Mas, ressalta-se que a velocidade de endurecimento não é sinônima de velocidade de pega, o cimento Portland comum e o de alta resistência inicial, expressam tempos parecidos (NEVILLE; GIAMUSSO, 1997).

O concreto é atribuído pelo menos por 75% de agregados e é fácil observar a sua importância no meio. O agregado auxilia na resistência do concreto, mas, por outro lado, agregados com características indesejáveis podem prejudicar o desempenho na durabilidade e na resistência do concreto (GIAMUSSO, 1992).

A recomendação que a norma NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007), faz é que os agregados tenham dimensões máximas limitadas ao maior valor entre um terço da espessura da parede de tubo do concreto, levando em consideração o seu cobrimento mínimo.

4.3.1 Cura Aplicada a Tubos

A cura, segundo Giamusso (1992), é a última operação para a obtenção do concreto e tem como objetivo evitar a retração hidráulica por perda de água nas primeiras idades, evitando as fissuras no concreto que ainda não tem resistência suficiente para aguentar tais tensões.

Uma cura satisfatória é fundamental para que o concreto cumpra sua função. Com a cura haverá a redução de poros, resultando em uma maior durabilidade e qualidade de elementos do concreto (BARDELLA; BARBOSA; CAMARINI, 2005).

Segundo Fernandes (2008) o procedimento na cura de concreto pré-moldado pode ser realizado por métodos simples como envolver com uma lona plástica, cura em câmara úmida e cura a vapor, podendo ser aplicado em tubos de concreto. Porém, os métodos mais apropriados são o de cura úmida, por aspersão de água, e a cura a vapor em recinto saturado. Dependendo do tipo de cimento aplicado na fabricação de peça, define-se qual o tipo de cura é mais adequado para se obter um ganho de resistência mecânica em idades iniciais com mais rapidez.

Na situação em que o concreto tem uma relação de água/cimento baixa, é necessária a cura se estender nas primeiras idades. No caso da relação água/cimento ser alta, permanece um volume alto de capilares de forma que a cura pode ser retomada em qualquer tempo, sem estragar a eficiência, mas tendo ciência de quanto mais cedo melhor (NEVILLE, 1997).

Neville (1997) ressalta que é importante a realização da cura, mas nem sempre é especificada e raramente executada. Várias patologias da durabilidade do concreto e, principalmente no concreto armado, estão relacionadas com o processo da cura.

4.3.2 Importância do Adensamento no Concreto Seco

A aplicabilidade do adensamento do concreto é chamada também de compactação, seu objetivo é obter a maior compacidade possível do concreto. No passado se utilizava de outras técnicas como o socamento ou apiloamento, sendo essas pouco utilizadas atualmente. O adensamento por vibração é o modo mais comum (NEVILLE, 1997).

Ainda de acordo com Neville (1997), existem 5 a 20% de bolhas de ar dentro do concreto quando colocado na forma, em relação ao volume total do concreto. Volumes inferiores são encontrados em concretos de alta trabalhabilidade e maiores nos concretos com menos umidade (concreto seco). A vibração tem finalidade de fluidificar a argamassa da mistura reduzindo o atrito interno e acondicionando o agregado graúdo. Com a vibração expele-se uma grande quantidade do ar aprisionado no concreto, mas geralmente não eliminados completamente.

A vibração tem a exigência de ser executada uniformemente em toda a massa do concreto, pois, partes podem ficar segregadas pelo excesso de vibração e outras podem ficar com pouco adensado. Vibradores diversos tem comportamento diferente, possibilitando variados tipos de adensamento. Deve-se adequar a consistência do concreto e às características do vibrador em exercício (NEVILLE, 1997).

O adensamento por prensagem consiste em prensar o concreto, normalmente em sentido radial e é um processo muito usual na fabricação de tubos de concreto, tanto simples como armado (GIAMUSSO, 1992).

4.4 DESENVOLVIMENTO DE TUBOS DE CONCRETO

Muitos fatores contribuem para o sucesso da indústria de tubos de concreto. Pode-se citar mão-de-obra e materiais, que são encontrados com facilidade nas proximidades das plantas industriais.

A partir dos anos sessenta, do século XX, foram introduzidos equipamentos de produção por vibro-compressão e compressão radial; atualmente as fábricas de tubos, se caracterizam pelo elevado grau de especialização de seus processos, alta flexibilidade na produção, processo de dosagem e cura automatizadas; disponibilidade de moldes para fabricação de variados diâmetros, contando com controle de qualidade da matéria prima e do produto acabado (CHAMA NETO, 2008).

4.4.1 Equipamentos

Existem no mercado variados tipos de equipamentos destinados à fabricação de tubos de concreto, que englobam diversos processos de conformação, o que diferencia uns dos outros basicamente é como se atinge o adensamento do concreto. Gimenez (2008), os descreve como:

Vibro-compressão: a energia de vibração é aplicada diretamente nas formas metálicas, gerando o adensamento, no final da concretagem é aplicada uma força axial juntamente com a vibração, proporcionando melhor qualidade do produto final, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2 – Prensa Vibramatic
Fonte: Menegotti (2013)

Centrifugação: as formas metálicas são rotacionadas proporcionando o adensamento.

Vibro-compressão Radial: o adensamento é feito durante um determinado tempo por vibração e posteriormente por compressão, como exemplo, tem-se o caso de tubos ponta e bolsa, o concreto que compõe a bolsa é vibrado e o que compõe o corpo é prensado.

Vibração: o adensamento do concreto é realizado por efeitos vibratórios aplicados diretamente nas formas metálicas por vibradores eletromecânicos.

Os equipamentos destinados a este tipo de adensamento, segundo Chama Neto (2008), são destinados a diâmetros de 200 a 2000 (mm), com comprimentos de 500 a 1500 (mm). A Figura 3 ilustra um tipo de conjunto vibrador.



Figura 3 - Conjunto Vibratório
Fonte:Menegotti

A produção para o conjunto vibratório da Figura 2, Menegotti informa a produção média estimada por um período de 8 horas de trabalho é expressa na Tabela 1.

Tabela 1- Capacidade Estimada de Produção

Diâmetro nominal (DN)	Produção (unidades)
200	100
300	90
400	80
600	60
800	50
1000	40
1200	30
1500	20

Fonte:Menegotti

Compressão Radial: o concreto é comprimido por êmbolos giratórios contra a parede da forma realizando o adensamento.

Chama Neto (2008), descreve que este tipo de equipamento é utilizado para fabricar tubos com diâmetros que variam de 200 a 600 (mm) e com comprimentos de 1000 a 1500 (mm), citando como vantagens:

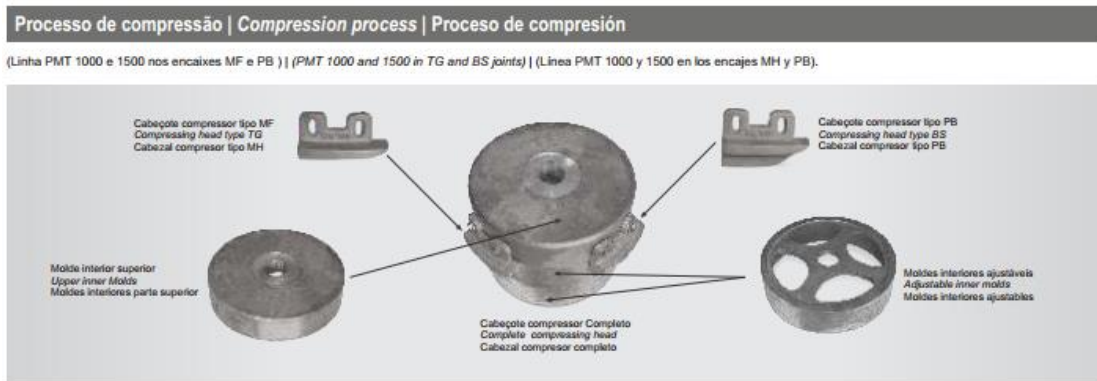
- Flexibilidade e rapidez na produção;
- Comprimentos e formas constantes até o momento da desforma.

A fabricação de tubos de concreto, por esse processo, está limitado ao tipo macho e fêmea. A intensidade da compressão é determinada pela velocidade de subida do êmbolo, fator decisivo na qualidade final do tubo (GIMENEZ, 2008). A Figura 4 representa uma Prensa Manual de Tubos (PMT) destinada fabricação de tubos para águas pluviais.



Figura 4 – Prensa PMT 1000
Fonte: Menegotti

A prensa, mostrada na Figura 4 seguinte, possui êmbolo de compressão lateral demonstrado na Figura 5 a seguir.



A produção média para a prensa da Figura 5, segundo Menegotti, é estimada por um período de 8 horas de trabalho para tubos de junta macho e fêmea, é expressa na Tabela 2.

Tabela 2 - Capacidade Estimada de Produção

Diâmetro nominal (DN)	Produção (unidades)
200	290
300	290
400	300
500	240
600	250

Fonte: Menegotti

4.4.2 Manuseio e Armazenamento

O tubo, antes da chegada ao cliente passa por vários procedimentos importantes, como fabricação, manuseio, armazenagem e transporte, para garantir boa qualidade são necessários alguns procedimentos ligados a sua integridade, descritos pela NBR8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007).

Período de cura - Nesse período os tubos são levados até a área de cura, importante protegê-los de choques, que afetam suas características estruturais. No período de cura os tubos devem ser armazenados verticalmente por período compatível ao tipo de cura e que ofereça resistência necessária para o transporte.

Armazenamento dos tubos - Recomenda-se a estocagem dos tubos na posição vertical, conforme Figura 6, caso de impossibilidades, o armazenamento horizontal conforme Figura 7 seguinte, só pode ser feito após o tubo apresentar resistência mecânica suficiente para isto, no mínimo três dias.



Figura 6 – Tubos estocados em pé
Fonte: Barreto (2003)

Deve-se observar o nivelamento do piso e a disposição de objetos que possam concentrar cargas na parede do tubo. O empilhamento máximo é demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Empilhamento Máximo Recomendado dos Tubos de Concreto

Diâmetro nominal (mm)	Numero máximo de pilhas
200 a 400	4
500 a 600	3
700 a 1000	2
>1000	1

Fonte: NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007)



Figura 7 – Armazenamento dos Tubos Horizontalmente
Fonte: Barreto (2003)

Transporte - Segundo Barreto (2003), é preciso estabelecer precauções para garantir a integridade do tubo. Muitas vezes, durante o manuseio, são exercidas forças longitudinais que os tubos não foram calculados para suportar e, com isso, geram-se fissuras. O transporte deve garantir estabilidade longitudinal e transversal e o carregamento, em caminhões, deve ser feito por equipamentos projetados especificamente para esse serviço, como demonstrados na Figura 8.



Figura 8 – Equipamentos para Movimentação de Tubos
Fonte: Barreto (2003)

No caso dos tubos destinados a águas pluviais, Barreto (2003), descreve que o transporte deve ser feito com o tubo em pé, evitando-se solicitações que possam provocar fissuras, a Figura 9 mostra o tipo de carregamento.



Figura 9 – Tubos Transportados em Pé
Fonte: Barreto (2003)

5 ANÁLISE EXPERIMENTAL

A NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007), Tubo de Concreto de Seção Circular para Águas Pluviais e Esgotos Sanitários – Requisitos e Métodos de Ensaio, fixa os requisitos exigíveis para a fabricação e aceitação de tubos de concreto, destinados a condução de águas pluviais e esgotos sanitários, estabelece métodos para ensaio, fabricação e aceitação de tubos de concreto simples, armado e reforçado com fibras de aço.

Prevê ainda características dos materiais, parâmetros de dosagem, características do acabamento, método de cura, dimensões e tolerâncias, instruções de estocagem, identificação e manuseio do produto final, bem como critérios para aceitação de lotes de fornecimento de tubos.

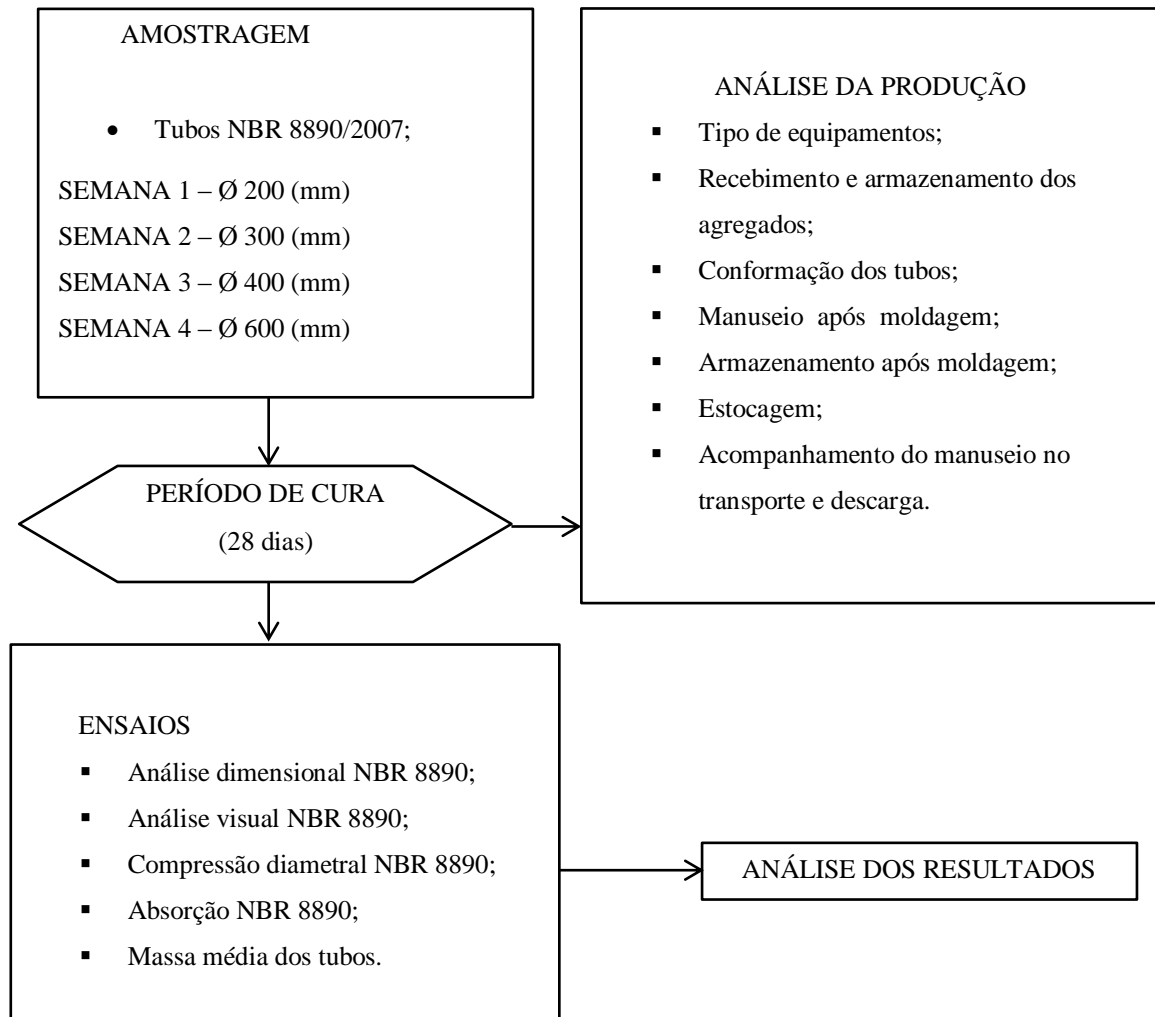
O trabalho em questão se delimita ao estudo de tubos simples não armados destinados a drenagem pluvial, do tipo macho e fêmea de junta rígida com diâmetros limitados aos produzidos pela indústria.

As análises que serão realizadas seguem conforme as necessidades da empresa, sendo:

- Averiguação da resistência dos tubos a compressão diametral;
- Absorção;
- Análise dimensional;
- Análise visual;
- Análise do processo produtivo.

A norma vigente propõe ensaios de permeabilidade e vedação das juntas, contudo devido a questões técnicas de aquisição de equipamentos, não será possível a realização dos mesmos e, segundo a Associação de Fabricantes de Tubos de Concreto (ABTC) estes ensaios se fazem de maior importância quando aplicados a tubos de concreto com junta elástica o que não é o objeto de estudo, pois os tubos de concreto em estudo são de junta rígida.

5.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL



5.2 INSTRUMENTAÇÃO PARA OS ENSAIOS DOS TUBOS DE CONCRETO

5.2.1 Ensaio de Compressão Diametral

Para a realização dos ensaios de compressão diametral dos tubos com diâmetro de 200, 300 e 400 (mm), foi utilizado a Máquina Universal de Ensaios eletromecânica e microprocessada EMIC modelo DL30000, conforme Figura 10.



Figura 10-EMIC DL30000
Fonte: Emic (2014)

A DL 30000 é utilizada para ensaios em metais, cerâmicas, madeira, concreto e com o campo lateral de ensaios permite ensaios em polímeros e outros materiais. Possuindo a seguinte descrição:

- Sistema operacional TESC, programa para automação de ensaios;
- Capacidade: 30.000 kgf (300 kN);
- Tipo: Bifuso Autoportante, com duas colunas guias cilíndricas paralelas;
- Campo de ensaio: triplo, permitindo a instalação permanente de acessório de elevado peso no campo superior; sendo os campos superior e inferior para 30.000 kgf (300 kN) e o lateral para 500 kgf (5 kN);
- Faixa de Velocidades: 0,01 a 500 mm/min;
- Medição de Força: Através de células de carga intercambiáveis

Para executar os ensaios de compressão diametral dos tubos de concreto foi desenvolvido um dispositivo de acoplamento para ser instalado na prensa EMIC. Constituído pelas seguintes partes:

Viga superior - Viga metálica perfil “I” de 1 m de comprimento com suporte articulado de acoplamento a célula de carga, que recebe o barrote de madeira que distribui a aplicação da carga ao longo do comprimento do tubo (L), conforme Figura 11.



Figura 11 – Viga Superior (1); Dispositivo de Articulação e Acoplamento (2)
Fonte: Autoria Própria

Viga inferior - Viga metálica perfil “I” de comprimento 1 m, com furos centralizados, para fixação na base da prensa, com finalidade de acomodar o tubo de concreto e receber os dois cutelos promovendo distribuição de cargas. Demonstrado na Figura 12.



Figura 12 – Viga inferior (1); Furação Centralizada para Fixação na Base da Prensa (2)
Fonte: Autoria Própria

Para a realização dos ensaios do tubo com diâmetro de 600 mm, foi utilizado o pórtico de capacidade 30 toneladas, com conjunto hidráulico mostrado na Figura 13 seguinte.



Figura 13 - Pórtico com Conjunto Hidráulico
Fonte: Autoria Própria

A leitura da carga aplicada pelo conjunto hidráulico é realizada pelo módulo eletrônico Quantum X MX840A e pela célula de carga U 10M com a faixa nominal de medida de 125 KN . Demonstrado na Figura 14.



Figura 14 - Transdutor de Força U10M (1); Quantum X MX840A - Amplificador Universal de 8 Canais (2)
Fonte - HBM

Para a verificação da regularidade interna dos tubos foi desenvolvido um gabarito de medida de alinhamento da superfície, conforme Figura 15.

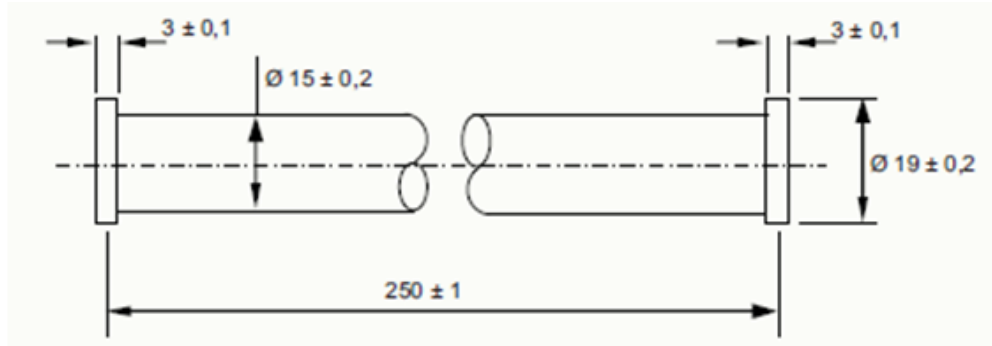


Figura 15 - Gabarito para Medida de Alinhamento
Fonte: NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007)

Para a extração dos corpos de prova destinados ao ensaio de absorção, foi utilizado a esmerilhadeira Makita modelo GA 9020 para corte dos tubos de concreto e obtenção das amostras. Conforme a Figura 16.



Figura 16 - Esmerilhadeira Modelo GA 9020
Fonte: Makita (2014)

5.3 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DOS TUBOS DE CONCRETO, CONFORME NBR8890/2007

Para a realização dos ensaios foram produzidos tubos restritos a mesma classe e diâmetro. As amostras foram coletadas aleatoriamente formando cada lote mostrado na Tabela 4, constituídos de seis amostras sendo, 3 com cura e 3 sem cura, produzidos com os mesmos materiais, mão de obra e equipamentos.

Tabela 4 - Características da Amostragem dos Tubos de Concreto.

Lote	DN (mm)	Tipo	Quantidade de amostras	Comprimento (m)
1	200	MF	6	1
2	300	MF	6	1
3	400	MF	6	1
4	600	MF	6	1

Fonte: Autoria própria

Nos tubos coletados primeiramente foi realizado a inspeção visual onde se avaliou os seguintes requisitos.

- Se os tubos apresentam superfícies internas e externas regulares e homogêneas;
- Se os tubos apresentam defeitos visíveis a olho nu ou detectáveis a percussão;
- Verificado se existem retoques com natas de cimento ou outros materiais, visando esconder defeitos, que não é permitido por norma;
- Verificado a presença de bolhas e furos superficiais, não permitidas com diâmetro superior a 10 mm, profundidade superior a 5 mm e fissuras com abertura maior que 15 mm .
- Para verificação do acabamento interno do tubo foi utilizado o gabarito de medida de alinhamento da superfície, conforme Figura 15. O gabarito foi rolando sobre a superfície do tubo, em movimentos circulares com o eixo paralelo ao eixo do tubo, a parte central do gabarito não pode ser tocada pela parede do tubo de concreto.

Após a realização da inspeção visual, os tubos foram encaminhados para a avaliação dimensional onde foram tomadas as seguintes dimensões mostradas na Figura 17 seguinte.

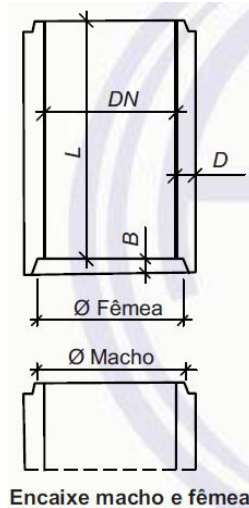


Figura 17 - Dimensões do Tubo de Concreto Tipo Macho e Fêmea
Fonte: NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007)

O procedimento realizado para retirada das medidas dos tubos de concreto, considerando a média das medidas foi:

- Medida do comprimento útil do tubo (L), em três geratrizes defasadas por igual entre si de (120°);
- Medida do diâmetro interno do tubo (DI) na região da ponta (macho), em três geratrizes defasadas por igual entre si (120°) e adotar a média das três medidas;
- Medida da espessura do tubo (D), em três geratrizes defasadas por igual entre si (120°);
- Medida do comprimento da fêmea do tubo, em três geratrizes defasadas entre si (120°);
- Medida do comprimento do macho do tubo, em três geratrizes defasadas entre si (120°);
- Medida do diâmetro interno da fêmea do tubo, em três geratrizes defasadas entre si (120°);
- Medida do diâmetro externo do macho do tubo, em três geratrizes defasadas entre si (120°);
- Calculado a folga do encaixe através da diferença entre o diâmetro interno da fêmea e o diâmetro externo do macho do tubo.

Os tubos de concreto devem atender as especificações da Tabela 5, conforme estabelecido na NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007).

Tabela 5 - Dimensões dos Tubos para Águas Pluviais com Encaixe Macho e Fêmea.

Diâmetro nominal DN	Comprimento útil mínimo do tubo		Comprimento mínimo da bolsa ou da fêmea		Folga máxima do encaixe C	Espessura mínima da parede	
	L		B			D	D
	Ponta	Macho e Fêmea	Ponta e Bolsa	Macho e Fêmea			
200	1000	950	50	20	30	30	-
300	1000	950	60	20	30	30	45
400	1000	950	65	20	30	40	45
500	1000	950	70	20	40	50	50
600	1000	950	75	20	40	55	60
700	1000	950	80	35	40	-	66
800	1000	950	80	35	40	-	72
900	1000	950	80	35	40	-	75
1000	1000	950	80	35	40	-	80
1100	1000	950	80	35	50	-	90
1200	1000	950	90	35	50	-	96
1300	1000	950	90	35	50	-	105
1500	1000	950	90	35	60	-	120
1750	1000	950	100	35	60	-	140
2000	1000	950	100	35	60	-	180

Fonte: NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007)

Além do atendimento aos valores especificados na Tabela 5, os tubos de concreto devem atender as seguintes prescrições:

- O diâmetro interno médio não deve diferir mais de 1 % do diâmetro nominal;
- A espessura da parede do tubo não pode diferir em mais de 5 % ou 5 mm em relação à espessura declarada (adotou-se o menor valor obtido);
- O comprimento útil do tubo não deve diferir em mais de 20 mm (para menos) e nem mais de 50 mm (para mais) em relação ao comprimento declarado.

Realizado a inspeção visual e a retiradas das medidas para inspeção dimensional precedeu-se com o ensaio de resistência compressão diametral, executado na seguinte sequência, para os tubos com diâmetro nominal de 200, 300, 400 (mm):

Montagem do dispositivo de acoplamento: o dispositivo descrito nas Figuras 11 e 12 foi acoplado à prensa (EMIC) para a realização dos ensaios de compressão diametral. Conforme o esquema abaixo:

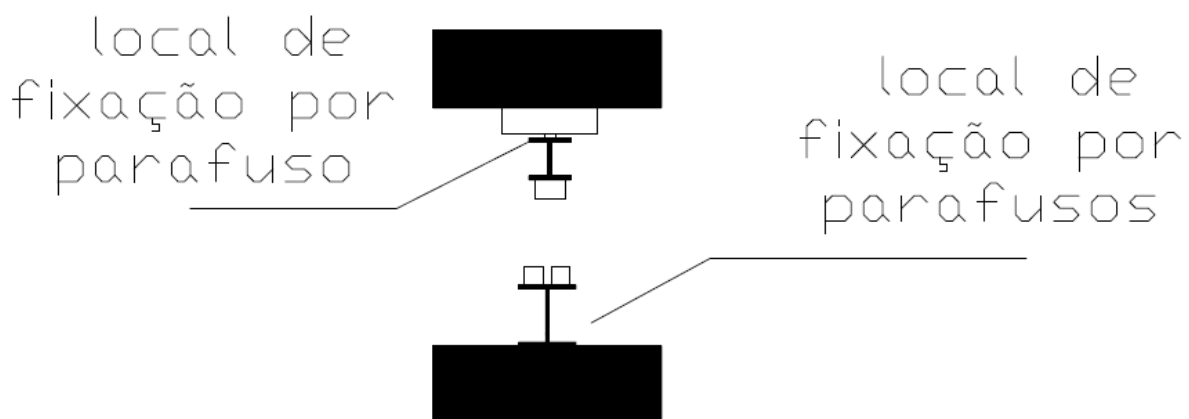


Figura 18 – Esquema de Montagem do Dispositivo de Acoplamento
Fonte: Autoria Própria

Na sequência foi carregado o programa que faz o controle da aplicação de carga na EMIC, possuindo as seguintes especificações:

- Aplicação da carga com taxa de variação constante em 25 kN/min, por metro linear de tubo;
- Aplicação da carga até a ruptura do tubo.

Depois de feito o procedimento inicial exigido pelo sistema da EMIC seguiu-se os seguintes passos:

Passo 1 – executou-se o fim de curso exigido pelo software Tesq, conforme o diâmetro a ser ensaiado;

Passo 2 – espaçou-se os cutelos inferiores, a distância de um décimo do diâmetro nominal do tubo (DN), obedecendo ao mínimo de 20 mm (DN);

Passo 3 – acomodou-se o tubo na base inferior, centralizado e alinhado conforme Figura 19 seguinte.



Figura 19 – Tubo de Concreto Acomodado na Prensa EMIC
Fonte: Aatoria Própria

Passo 4 - início do ensaio.

Devido à prensa EMIC não possuir dimensões suficientes para acomodar os tubos com diâmetro nominal de 600 mm, foi utilizado o conjunto de pórtico e prensa hidráulica.

Inicialmente foi levantada a viga inferior do pórtico, a fim de ajustar a altura útil entre o pistão e a parte superior da viga, então foram posicionados os tubos de concreto na rampa de madeira de colocados em cima dos cutelos e madeira locados na parte superior da viga metálica, assim posicionando a viga engastada ao pistão que aplica a carga no tubo.

Depois de realizado esses procedimento foi ligada a bomba hidráulica e aplicado carga nos tubos até seu rompimento. A sequência de ensaio esta ilustrada na Figura 20 seguinte.

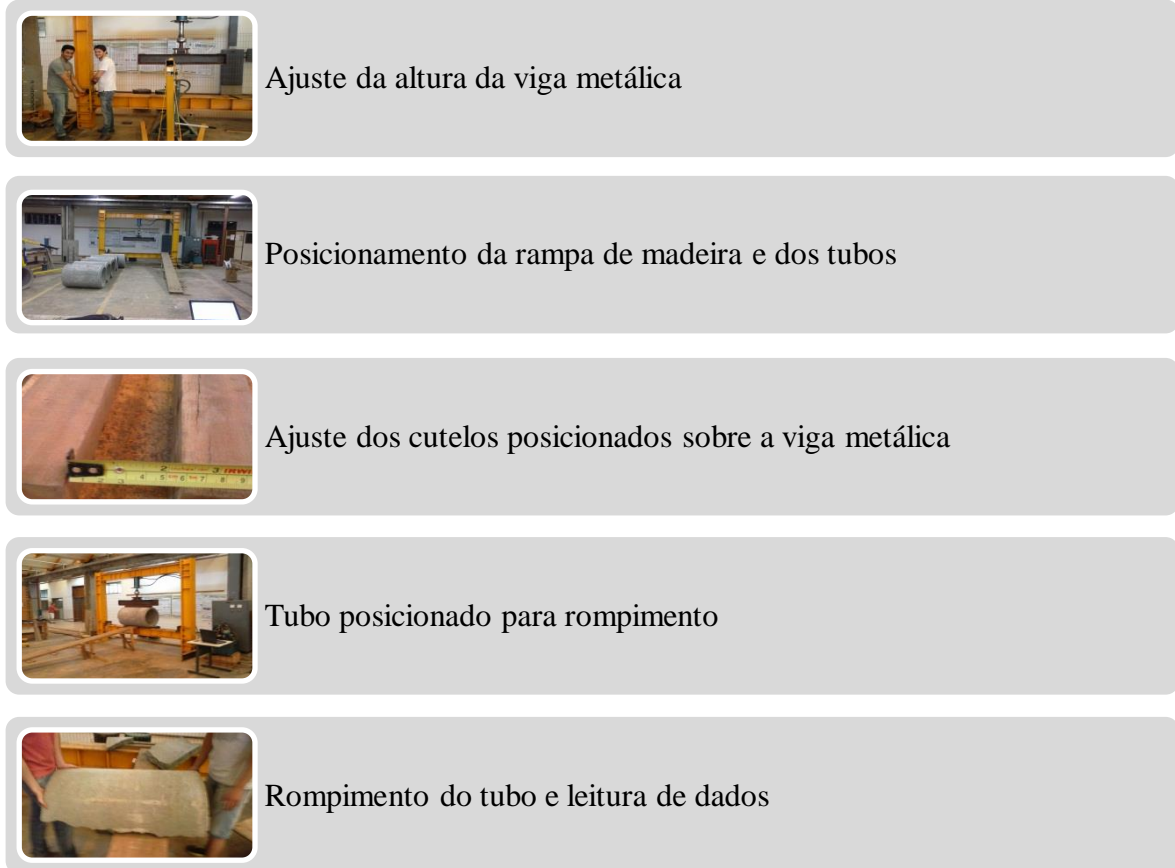


Figura 20 – Sequência de Ensaio do Tubo com Diâmetro Nominal de 600 mm
Fonte: Autoria Própria

De posse dos resultados foram calculados as cargas de ruptura a partir da Equação 1.

$$CMR = \frac{Q_r}{L}$$

Equação 1

Onde:

CMR = carga mínima de ruptura (kN/m);

Q_r = carga de ruptura (kN);

L = comprimento do tubo (m).

O ensaio de absorção de água é um importante indicador para verificação da qualidade dos tubos. Baixa absorção de água é necessária para garantir a durabilidade do tubo, devido ao risco de absorção dos líquidos conduzidos na rede (SILVA, 2008).

Os corpos de prova, para o ensaio de absorção, são retirados dos tubos após o ensaio de compressão diametral e análise dimensional. A execução do ensaio seguiu a descrição seguinte.

- Extraíu-se dois corpos de prova, íntegros, sem soltar pedaços ou partes pulverulentas, com área de 150 cm²;
- Secou-os em estufa com temperatura mantida no intervalo de 105 +- 5 °C, por um período de 8 h, até que duas pesagens consecutivas em intervalo de 2h indicaram variação de perda de massa inferior a 2% da sua massa original;
- Imergiram-se os corpos de prova já secos em água potável a 100 °C e foram mantidos em fervura por 5h. Deixou-os esfriarem junto com a água até a temperatura ambiente. Foram retirados da água, secados superficialmente por meio de toalha de papel e pesados imediatamente.



Seleção das paredes do tubo pós rompido



Extração das amostras



Pesagem das amostras pós secagem em estufa



Fervura dos corpos de prova
Após a fervura é feita a pesagem dos corpos de prova saturados

Figura 21 - Sequência de Ensaio de Absorção
Fonte: Autoria Própria

Com os resultados, foi possível calcular a absorção de água pela Equação 2.

$$A = \frac{M1 - M0}{M0} * 100$$

Equação 2

Onde:

A – índice de absorção de água (%)

M0 – massa do corpo de prova seco (g)

M1 – massa do corpo de prova após saturação em fervura (g)

A especificação normativa para o ensaio de absorção de água prescreve que os tubos destinados à condução de água pluvial devem ter sua absorção máxima, em relação a sua massa seca, de 8 % (ASSOCIAÇÃO ..., 2007).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 INSPEÇÃO VISUAL

6.1.1 Diâmetro Nominal de 200 mm

Os tubos com diâmetro de 200 mm não apresentaram inconformidades, tendo o macho e a fêmea bem definidos, acabamento superficial compatível com o exigido em norma, conforme a Figura 22 e as análises estão demonstradas no Apêndice A.



Figura 22 – Avaliação dos Tubos de 200 mm
Fonte: Autorial Própria

6.1.2 Diâmetro Nominal de 300 mm

Os tubos com diâmetro de 300 mm apresentaram inconformidades não permitidas pelo item 4.2.1.3, por apresentar macho e fêmea danificados. As análises estão na tabela 14 presente no Apêndice B:

A quebra da fêmea é ocasionada no transporte, armazenamento e no tombamento para retirada do anel de moldagem. Esta patologia está representada na Figura 23 seguinte.



Figura 23 – Quebra da Fêmea do Tubo Número 4
Fonte: Autoria Própria

Na retirada do anel de moldagem utilizam-se algumas ferramentas, como martelo e talhadeira, o descuido dos trabalhadores na utilização das mesmas, pode atingir a parede do tubo tirando lascas do concreto, conforme demonstrado na Figura 24.



Figura 24 – Defeito de Acabamento na Borda Superior do Macho do Tubo Número 6
Fonte: Autoria Própria

Após a conformação do tubo de concreto, o molde é retirado da prensa mecânica e levado para a desmoldagem. Neste procedimento, quando se tem uma concentração de umidade entre a parede do tubo e o molde, há a aderência da superfície do concreto no molde, isso acarreta no deslocamento de superfície, gerando patologias como a da Figura 25 a seguir.



Figura 25 – Defeito de Acabamento na Borda Superior do Tubo Número 5
Fonte: Autoria Própria

6.1.3 Diâmetro Nominal de 400 mm

Os tubos com diâmetro de 400 mm não apresentaram inconformidades, respeitando os itens contidos na Tabela 15 do Apêndice C. Possuem a ponta e bolsa bem definidos com acabamento superficial compatível com o exigido em norma, conforme mostrado na Figura 26.



Figura 26 - Tubos com Macho e Fêmea Bem Definidos
Fonte: Autoria Própria

6.1.4 Diâmetro Nominal de 600 mm

Os tubos com diâmetro de 600 mm apresentaram inconformidades não permitidas pelo item 5.2.1.3, 5.2.1.3 e 4.2.1.3. Não apresentam bom acabamento superficial, com macho e fêmea danificados contendo bolhas com diâmetro superior a 10 mm e profundidade superior a 5 mm. As análises estão descritas na tabela 16 contida no Apêndice D.

O processo de conformação das extremidade dos tubos é um procedimento minucioso exigindo atenção do operador da prensa. Quando o êmbolo permanece por pouco tempo na prensagem do macho do tubo, o produto ira apresentar problemas quanto a ausência de argamassa no concreto que compõe este elemento. Esse problema esta representado no tubo da Figura 27 e sua consequência esta representado no tubo da Figura 28 a seguir.



Figura 27 – Ausência de Argamassa no Concreto
Fonte: Autoria Própria



Figura 28 – Patologia Gerada no Macho do Tubo pela Ausência de Argamassa no Concreto
Fonte: Autoria Própria

A umidade presente na dosagem do concreto determina a qualidade do acabamento interno do tubo, a geração de bolhas está ligada a este elemento e também ao tipo e quantidade de desmoldante passado na forma. Esta patologia está representada pelo tubo de número 1, demonstrado na Figura 29.



Figura 29 – Bolhas com Diâmetro Superior a 10 mm e Profundidade Superior a 5 mm
Fonte: Autoria Própria

6.2 INSPEÇÃO DIMENSIONAL

A NBR 8890(ASSOCIAÇÃO..., 2007) descreve que, para garantir qualidade e desempenho dos tubos em serviço eles devem possuir variação diametral no máximo de 1 %, possuir variação máxima de 5 % na espessura da parede do tubo em relação à dimensão declarada e não pode diferir em mais de 20 mm para menos e nem 50 mm para mais em relação ao comprimento útil declarado, também, delimita a folga máxima entre os encaixes. Levando em consideração estas informações, foram elaboradas tabelas que expressam esses dados dimensionais através das siglas EC (em conformidade com a norma) e NC (em não conformidade com a norma) para cada diâmetro de tubo.

Na conformação dos tubos de concreto são utilizados moldes metálicos com dimensões fixas, isso possibilita a exatidão dimensional nas peças fabricadas. Mas para haver um bom acabamento no macho e na fêmea, deve-se segurar o êmbolo por um tempo nas extremidades do tubo, esse procedimento ocasiona um maior alisamento superficial na região, assim, tem-se uma pequena variação diametral nessa região. O efeito está demonstrado na Figura 30.



Figura 30 – Faixa de Redução Diametral
Fonte: Autoria Própria

Este efeito está presente em todos os diâmetros, conforme demonstrado nas tabelas para cada diâmetro.

6.2.1 Diâmetro Nominal de 200 mm

Os tubos com diâmetro nominal de 200 mm apresentaram as dimensões bem definidas, estando em conformidade com os limites dimensionas prescritos pela norma, exceto com o diâmetro interno das amostras 2 e 3, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Dados Dimensionais dos Tubos com 200 mm de Diâmetro

Medidas em (mm)		INSPEÇÃO DIMENSIONAL DIÂMETRO 200 mm					
		TUBO 1	TUBO 2	TUBO 3	TUBO 4	TUBO 5	TUBO 6
Comprimento útil	média	1000	990	990	1000	990	990
	item 5.2.2.5	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Diâmetro interno do macho do tubo	média	199	199	199	200	200	199
	Item 5.2.2.3	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Espessura da parede do tubo	média	37	34	34	35	37	37
	Item 5.2.2.4	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Comprimento da fêmea	média	24	25	23	25	23	23
	VR 20 mm	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Comprimento do macho	média	22	23	20	23	23	25
	VR 20 mm	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Diâmetro interno da fêmea do tubo	média	240	242	243	240	240	240
Diâmetro externo do macho do tubo	média	230	220,5	220,5	223	220,5	222
FOLGA DO ENCAIXE		10	21,5	22,5	17	19,5	18
Item 5.2.2.5 - O comprimento útil não deve diferir 20 mm para mais ou para menos do diâmetro nominal							
Item 5.2.2.3 - O diâmetro médio não deve diferir mais de 1 % do diâmetro nominal							
Item - 5.2.2.4 - A espessura da parede não deve diferir 5 % ou 5 mm da espessura declarada							
VR – Valor de referência contido na tabela A.1 NBR8890							

Fonte: Autoria Própria

6.2.2 Diâmetro Nominal de 300 mm

Os tubos com diâmetro nominal de 300 mm apresentaram as dimensões bem definidas, estando em conformidade com os limites dimensionas prescritos pela norma, exceto com o diâmetro interno das amostras 3, 4, 5 e 6, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Dados Dimensionais dos Tubos com 300 mm de Diâmetro

Medidas em (mm)		INSPEÇÃO DIMENSIONAL DIÂMETRO 300 mm					
		TUBO 1	TUBO 2	TUBO 3	TUBO 4	TUBO 5	TUBO 6
Comprimento útil	média	1000,5	1000	1000	1000	1000	1000
	item 5.2.2.5	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Diâmetro interno do macho do tubo	média	298	298	296	295	295	295
	Item 5.2.2.3	EC	EC	NC	NC	NC	NC
Espessura do tubo (D)	média	37	34	34	35	37	37
	Item 5.2.2.4	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Comprimento da fêmea	media	20	18	18	17	17	17
	VR 20 (mm)	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Comprimento do macho	média	23	22	22	22	22	23
	VR 20 (mm)	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Diâmetro interno da fêmea do tubo	média	340	340	340	340	340	340
Diâmetro externo do macho do tubo	média	320,5	320,5	320,5	320,5	320,5	320,5
FOLGA DO ENCAIXE		19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5

Item 5.2.2.5 - O comprimento útil não deve diferir 20 mm para mais ou para menos do diâmetro nominal
Item 5.2.2.3 - O diâmetro médio não deve diferir mais de 1 % do diâmetro nominal
Item - 5.2.2.4 - A espessura da parede não deve diferir 5 % ou 5 mm da espessura declarada
VR – Valor de referência contido na tabela A.1 NBR8890

Fonte: Autoria Própria

6.2.3 Diâmetro Nominal de 400 mm

Os tubos com diâmetro nominal de 400 mm apresentaram as dimensões bem definidas, estando em conformidade com os limites dimensionas prescritos pela norma, conforme Tabela 8.

Medidas em (mm)		INSPEÇÃO DIMENSIONAL DIÂMETRO 400 mm					
		TUBO 1	TUBO 2	TUBO 3	TUBO 4	TUBO 5	TUBO 6
Comprimento útil	média	985	995	990	990	995	990
	item 5.2.2.5	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Diâmetro interno do macho do tubo	média	400	398	398	400	400	400
	Item 5.2.2.3	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Espessura do tubo (D)	média	45	44,5	44	45	45	44,8
	Item 5.2.2.4	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Comprimento da fêmea	media	20	20	20	20	20	20
	VR 20 (mm)	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Comprimento do macho	média	20	20	20	20	20	20
	VR 20 (mm)	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Diâmetro interno da fêmea do tubo	média	446	446	450	455	450	455
Diâmetro externo do macho do tubo	média	435	435	438	434	434	435
FOLGA DO ENCAIXE		11	11	12	21	16	20

Item 5.2.2.5 - O comprimento útil não deve diferir 20 mm para mais ou para menos do diâmetro nominal
 Item 5.2.2.3 - O diâmetro médio não deve diferir mais de 1 % do diâmetro nominal
 Item - 5.2.2.4 - A espessura da parede não deve diferir 5 % ou 5 mm da espessura declarada
 VR – Valor de referência contido na tabela A.1 NBR8890

Fonte: Autoria Própria

6.2.4 Diâmetro Nominal de 600 mm

Os tubos com diâmetro nominal de 600 mm apresentaram as dimensões bem definidas, estando em conformidade com os limites dimensionas prescritos pela norma, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Dados Dimensionais dos Tubos com 600 mm de Diâmetro

Medidas em (mm)		INSPEÇÃO DIMENSIONAL DIÂMETRO 600 mm					
		TUBO 1	TUBO 2	TUBO 3	TUBO 4	TUBO 5	TUBO 6
Comprimento útil	média	970	990	970	980	970	950
	item 5.2.2.5	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Diâmetro interno do macho do tubo	média	600	600	600	600	600	600
	Item 5.2.2.3	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Espessura do tubo (D)	média	56	61	61	61	61	62
	Item 5.2.2.4	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Comprimento da fêmea	media	17	2,1	19	19	20	21
	VR 20 (mm)	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Comprimento do macho	média	24	25	24	26	26	25
	VR 20 (mm)	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Diâmetro interno da fêmea do tubo	média	670	660	660,5	660,5	660,5	660,5
Diâmetro externo do macho do tubo	média	640,5	640,5	640,5	650	650	650
FOLGA DO ENCAIXE		29,5	19,5	20	10,5	10,5	10,5

Item 5.2.2.5 - O comprimento útil não deve diferir 20 mm para mais ou para menos do diâmetro nominal

Item 5.2.2.3 - O diâmetro médio não deve diferir mais de 1 % do diâmetro nominal

Item - 5.2.2.4 - A espessura da parede não deve diferir 5 % ou 5 mm da espessura declarada

VR – Valor de referência contido na tabela A.1 NBR8890

Fonte: Autoria Própria

6.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAMETRAL E INFLUÊNCIA DA CURA NO CONCRETO

Os resultados obtidos através dos ensaios devem atender aos valores especificados na Tabela 10, presente na NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007).

Tabela 10- Resistência à Compressão Diametral de Tubos Simples.

DN	Água Pluvial	
	Carga mínima de ruptura KN/m	
Classe	PS1	PS2
200	16	24
300	16	24
400	16	24
500	20	30
600	24	
Carga diametral de Ruptura kN/m		
Qt	40	60

Fonte: NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007)

6.3.1 Diâmetro Nominal de 200 e 300 mm

Observa-se no Gráfico 1 que os tubos curados apresentaram carga superior em 3,37 KN nos diâmetros de 200 mm e 3,17 KN nos diâmetros 300 mm em relação aos não curados. Este desempenho deve-se ao sistema de cura adotado nos dois diâmetros, mostrado na Figura 31, onde os tubos receberam uma camisa plástica de vedação completa, que não deixar a água de amassamento evaporar, umidade esta observada na Figura 32 seguinte, comprovando a eficiência do sistema. Essa relação de umidade contribui para a hidratação do cimento e na redução da retração hidráulica desencadeada pelo calor liberado na reação química entre a água e o cimento.



Figura 31 – Tubos de Concreto Encamisados
Fonte: Autorial Própria



Figura 32 – Umidade Após a Retirada da Camisa nas Primeiras Idades
Fonte: Autorial Própria

Levando em consideração que o tubo é comercializado como classe PS1, onde a carga mínima de ruptura é de 16 KN, os tubos apresentam desempenho acima do necessário, chegando a 53,2 % superior a especificação normativa, estas diferenças podem ser observadas no Gráfico 1. A carga excedente em relação a carga mínima de ruptura, demonstra a falta de controle na produção do concreto, gerando aumento de custo do produto que impacta diretamente a comercialização no mercado, repassando estes valores aos clientes.

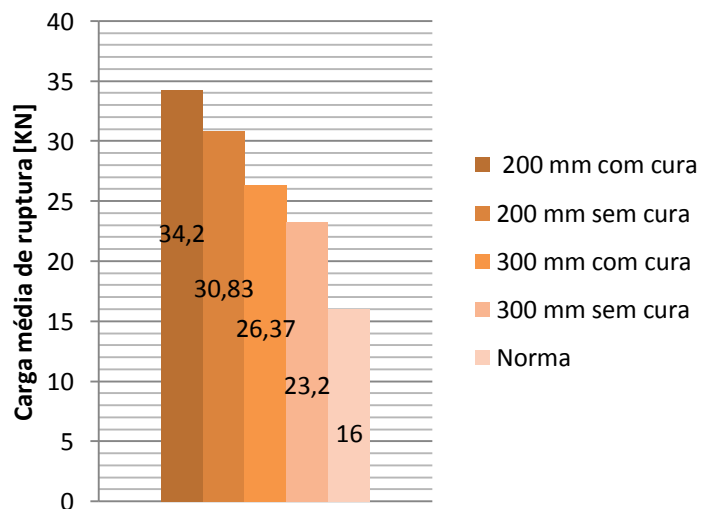


Gráfico 1 – Carga de Ruptura dos Tubos de 200 e 300 mm
Fonte: Autorial Própria

6.3.2 Diâmetro Nominal de 400 mm

Nos tubos com diâmetro nominal de 400 mm, foi utilizada uma variação no sistema de cura, a camisa plástica foi aberta na face superior sofrendo maior influência das intempéries, já que os tubos foram curados no pátio da fábrica simulando uma situação real de armazenamento.

O Gráfico 2 mostra o impacto deste sistema de cura, onde os tubos curados obtiveram o mesmo desempenho dos que não receberam a camisa plástica, demonstrando assim a sua ineficiência quando utilizada.

A carga mínima de ruptura para este diâmetro é de 16 KN, representando a classe PS1, a qual o tubo é comercializado. Mesmo com a falta de eficiência do sistema de cura, os tubos superaram o valor da carga de ruptura da classe característica, comprovando a superdosagem do concreto, refletindo no consumo excessivo de cimento, que corresponde ao maior custo da dosagem.

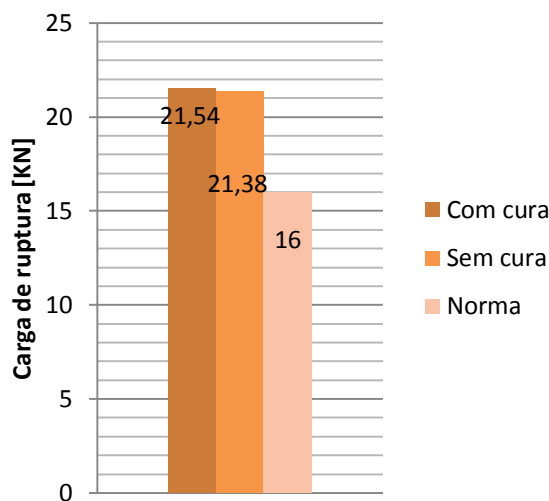


Gráfico 2 - Carga de Ruptura dos Tubos de 400 mm
Fonte: Autoria Própria

6.3.3 Diâmetro nominal de 600 mm

No tubo com diâmetro nominal de 600 mm foi empregado o mesmo sistema de cura dos tubos de 400 mm, com o encamisamento plástico aberto na face superior como mostra a Figura 33.

Esta forma de cura comprovada que o concreto se comporta da mesma forma que estivesse exposto ao tempo, mas esta não foi à causa o baixo do desempenho. Observando-se o Gráfico 3, tem-se que, tanto o tubo que foi curado e o que os que não receberam a camisa, tiveram a carga de ruptura inferior a carga mínima proposta pela NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO ..., 2007), para a classe PS1 que é de 24 KN.



Figura 33 - Sistema de Encamisamento de Face Superior Aberta
Fonte: Autoria Própria

Na confecção dos tubos de concreto adota-se a mesma dosagem de concreto para todos os diâmetros. Devido o comportamento estrutural individual de cada tubo, quanto aos esforços atuantes, percebe-se que, para cada diâmetro, deve-se ter uma dosagem específica, com isto controlar-se o desempenho e aperfeiçoa-se o consumo de cimento. Também, levam-se em consideração os esforços que atuam nas fases de tombamento e transporte, já que os tubos devem suportar esses esforços sem danos como trincas e deslocamentos do concreto que afetam diretamente o comportamento estrutural em serviço.

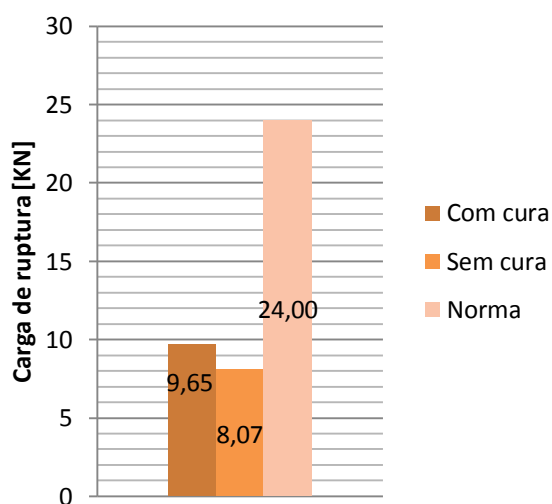


Gráfico 3 - Carga de Ruptura dos Tubos de 600 mm
Fonte: Autoria Própria

6.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os resultados do ensaio de absorção dos tubos concreto estão representados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores da Absorção Média dos Tubos de Concreto

Amostra	Absorção média (%)				
	Tubo 200	Tubo 300	Tubo 400	Tubo 600	
Com Cura	1	9,52	7,55	7,56	9,52
	2	8,73	7,47	7,46	8,73
	3	7,64	5,35	7,60	10,55
	4	4,19	7,06	7,66	4,19
Sem Cura	5	7,00	9,84	7,89	7,00
	6	9,51	8,49	6,39	9,51

Fonte: Autoria Própria

A NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO..., 2007), prescreve que o máximo admitido de absorção média dos tubos é de 8 % para águas pluviais. A Tabela 11 mostra que os valores de absorção das amostras retiradas dos tubos, com cura e sem cura, variam bastante, fato este não influenciado pelo tipo de cura que foi empregado nos tubos.

O tubo com diâmetro de 400 mm apresentou resultados satisfatório. Quando a dosagem padrão foi desenvolvida pelo engenheiro contratado pela fábrica, ele aplicou em tubos desta dimensão e a dosagem foi calibrada para este diâmetro, que possivelmente viria a ser o carro chefe de vendas da empresa. Contudo a equipe passou a empregar este traço a todos os diâmetros, não levando em consideração peculiaridades.

Na conformação do macho e da fêmea o tempo de prensagem é controlado pelo operador da prensa, influenciando no empacotamento do concreto nesta região, caso este que impacta diretamente nestes resultados considerando que as amostras foram retiradas aleatoriamente respeitando o proposto pela norma.

6.5 MASSA MÉDIA DOS TUBOS

No processo de conformação do tubo, o êmbolo com as lâminas sobem com uma velocidade pré-determinada através de um contrapeso. Para melhor acabamento no macho e na fêmea, o operador segura o embolo por um maior tempo nestas regiões ocasionando um melhor empacotamento nas extremidades do tubo de concreto.

Para verificar se este processo impacta na variação do empacotamento, gerando aumento da massa e conseqüentemente maior consumo de concreto, foi realizada a pesagem de cada amostra. Pela análise da Tabela 12, a seguir, observa-se pouca variação na massa confirmada pelos desvios padrões calculados, portanto este tempo adicional não influencia no aumento de peso do produto, não gerando aumento no consumo de concreto e também não ocasionando pontos de fragilidade no tubo.

Tabela 12 – Massa Média dos Tubos Conforme o Diâmetro Nominal

Amostra	Massa [Kg]			
	Diâmetro nominal [mm]			
	200	300	400	600
1	58	85	136	285
2	58	88	136	284
3	57	85	153,25	285
4	57	84	137	0
5	56	86	135	0
6	0	84	113,87	
Média	57	85	136	285
Desvio padrão	0,75	1,37	11,44	0,47

Fonte: Autoria Própria

6.6 ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO

As análises de cada etapa e as devidas considerações seguem a sequência proposta seguir.

Etapa 1 - Recebimento e armazenamento dos agregados: os agregados são transportados e colocados nas baias, conforme a Figura 34.



Figura 34 – Baias de Armazenamento dos Agregados

Fonte: Autoria Própria

Devido a capacidade de armazenamento das baias o agregado é consumido ainda com alta umidade, referente ao processo de lavagem promovido pela empresa de britagem, para retirada de material pulverulento. Isso acarreta em quantidade de água adicional no concreto, prejudicando a dosagem.

Etapa 2 – Dosagem do concreto: inicialmente, o concreto utilizado na dosagem provém de um ensaio piloto realizado para os tubos com diâmetro nominal de 400 mm. Atualmente, esse traço é utilizado para todos os diâmetros, variando-se somente a umidade empiricamente conforme a necessidade requerida para cada diâmetro de tubo.

O concreto é dosado em volume sem controle da quantidade de agregado. Conforme Figura 35, observa-se a variação nos arrasamentos dos carrinhos de mão, há ausência de controle de qualidade na fabricação do concreto, além de gerar possíveis patologias nos tubos, acarreta em maiores custos a empresa.



Figura 35 – Carrinhos de Mão Carregados com Agregados
Fonte: Aatoria Própria

Depois do carregamento dos agregados é realizado o enchimento da betoneira com os materiais, juntamente com eles é adicionado o cimento, sem obter algum tipo de controle da quantidade, conhecido no meio profissional como “olhometro”, gerando maiores consumos do aglomerante, ocasionando custos desnecessários. O controle da adição da água é feito pelo operador levando em consideração seus conhecimentos absorvidos durante a vida profissional.

Após o tempo de mistura o concreto é lançado no armazenador da esteira mecânica e assim enviado até o equipamento de compressão radial, ilustrado na Figura 36.



Figura 36 – Esteira Transportadora de Concreto e Equipamento de Compressão Radial
Fonte: Autoria Própria

Etapa 3 – Moldagem dos tubos de concreto

Assim que o concreto é lançado na forma e comprimido pelo equipamento de compressão radial, o conjunto de forma e tubo no estado fresco é transportado para o pátio, onde é feita a armazenagem nas primeiras idades, conforme a Figura 37.



Figura 37 - Transporte do Tubo de Concreto Após Moldagem
Fonte: Autoria Própria

Nesta fase os problemas ocorrem devido à desforma realizada pelos trabalhadores. Observa-se que, quando o molde é retirado do corpo do tubo de concreto, podem ocorrer batidas provenientes do mau posicionamento do trabalhador, ocasionando trincas que só podem ser observadas tempo após o acontecido, acarretando em quebras de tubos conforme o demonstrado na Figura 38.



Figura 38 – Tubos de Concreto Rompidos
Fonte: Autoria Própria

Este problema, quando não manifestados no pátio da indústria, ocorre durante o transporte para as obras, como mostrado na Figura 39, podendo gerar graves acidentes.



Figura 39 – Tubos Rompidos Durante o Transporte
Fonte: Autoria Própria

Item – 4 - Armazenamento após a moldagem: assim que os tubos adquirem resistência suficiente para o transporte eles são levados para o pátio através de empilhadeira, conforme Figura 40.



Figura 40 – Transporte e Empilhamento dos Tubos de Concreto
Fonte: Autoria Própria

Este procedimento, se não realizado com cautela pelo operador da máquina, gera patologias que prejudicam o assentamento e o bom funcionamento do produto na obra, causando a quebra do macho e da fêmea do tubo de concreto, devido ao impacto no transporte e empilhamento. Problemas estes mostrados na Figura 41.



Figura 41 – Machos e Fêmeas Quebrados Durante o Empilhamento para Vários Diâmetros
Fonte: Autoria Própria

7 CONCLUSÃO

Com embasamento nos dados obtidos através dos ensaios e análises realizadas, considerando os objetivos que foram propostos inicialmente, apresentam-se as conclusões e considerações a seguir.

a) Na inspeção visual dos tubos de concreto, podem-se observar algumas inconformidades ocasionadas por outros processos de trabalho que englobam o produto final, como no transporte e manuseio, levando a quebra do macho e da fêmea. Tem-se também o mau empacotamento dos agregados nas extremidades, ocasionado pela má dosagem do concreto que não possui o teor de argamassa necessário para proporcionar o envolvimento do agregado graúdo por completo. Esta patologia pode ser observada no tubo com diâmetro de 600 mm, problema que leva a quebra das extremidades do tubo, prejudicando o bom funcionamento em serviço.

Considerando que o tubo é de junta rígida, o acoplamento nas juntas deve ser perfeito, caso contrário propicia vazamentos na região da emenda. Quando é realizado o cálculo para dimensionamento da tubulação leva-se em consideração o coeficiente de perdas, com estes vazamentos, o dimensionamento fica prejudicado haver controle da quantidade de água que passa através desses locais, onde se encontram o macho e ou a fêmea danificada.

Constatou-se também a presença de bolhas superficiais com diâmetro superior a 10 mm com profundidade acima de 5 mm, não permitido pela norma, esta patologia é ocasionada devido o atrito do concreto com a forma, problema que pode ser resolvido adotando-se melhores desmoldantes em substituição ao óleo diesel utilizado atualmente.

b) Na inspeção dimensional, devido a padronização das dimensões de formas e acessórios, as bitolas dos tubos não apresentaram grandes variações, estando dentro do previsto em norma. Atendendo-se ao caso em que, por motivos técnicos de melhor acabamento das extremidades do tubo de concreto, o êmbolo que comprime o material contra as paredes da forma permanece por mais tempo nesses locais, levando a uma pequena variação diametral nas extremidades do tubo. Este problema pode ser solucionado melhorando a técnica de conformação.

c) Com a intenção de estudar a forma mais barata e eficaz de cura dos tubos de concreto, foi empregado um sistema baseado em não deixar a água presente no concreto evaporar, proporcionando uma melhor hidratação do cimento. Através dessa técnica realizada pelo encamisamento do tubo, com uma camisa plástica, pode-se observar nos resultados no

ensaio que, os envelopados por completo obtiveram uma melhor resistência à compressão em relação aos que foram encamisados somente nas laterais, demonstrando desempenho ainda superior aos que não receberam algum tipo de cura. Comparando os tubos que receberam somente encamisamento lateral com os que não receberam cura, os resultados equipararam-se, demonstrando que não existem diferenças significativas.

Todos os tubos de concreto, exceto o de diâmetro de 600 mm, apresentaram desempenho superior ao exigido em norma, chegando a 53 % nos tubos de 400 mm de diâmetro. Já os tubos com 600 mm de diâmetro apresentaram desempenho inferior ao proposto pela norma de 24 kN, problema que pode ser solucionado dosando-se um concreto específico para este diâmetro, possibilitando assim uma maior resistência a compressão diametral no produto final.

d) A NBR 8890 (ASSOCIAÇÃO..., 2007), prescreve que o máximo admitido de absorção média dos tubos é de 8 % para águas pluviais. O único tubo que apresentou resultados satisfatórios foi o com diâmetro nominal de 400 mm, pois, baseou-se nesse diâmetro para desenvolver o traço padrão que *a posteriori* seria empregado em todos os diâmetros produzidos pela fábrica.

Os resultados das absorções foram bastante variados, esta variação pode ser ocasionada devido os diferentes empacotamentos do concreto para cada diâmetro, problema que pode ser solucionado adotando-se dosagens específica com foco no melhor empacotamento dos agregados e, adotando-se tecnologias no concreto, possibilitando melhor trabalhabilidade, reduzindo-se a quantidade de poros presentes.

Evidenciado no item a) , a presença de bolhas pode ser reduzida contribuindo para a redução da absorção do concreto empregado na fabricação dos tubos. A maior absorção também pode ser ocasionada pela quantidade de água presente no concreto, por não existir controle da umidade do agregado e também da água adicionada, pode-se obter relações entre água e cimento que sejam muito elevadas e, juntamente com esse problema, o aumento no número de poros presentes no concreto.

e) A compactação do concreto proporcionada pelo prensa de compressão radial foi questionada, motivo que levou a realização da pesagem de todos os tubos ensaiados. Os tubos apresentaram a massa média com pouca variação, comprovando que o equipamento apresenta compactação uniforme do concreto em todos os tubos.

Os problemas apresentados acima podem ser solucionados empregando-se técnicas de engenharia que, através de dosagens do concreto para cada diâmetro de tubo, pode-se aumentar o faturamento da empresa na redução do consumo de cimento e no melhoramento

do empacotamento dos agregados, assim enquadrando os tubos nas classes de resistência normativa.

Tem-se também que aperfeiçoar o processo produtivo, melhorando o armazenamento dos agregados, a fim de reduzir a umidade presente, aplicar técnicas de gerenciamento de produção para aperfeiçoar o fornecimento aos clientes, reduzindo custos e aumento a produtividade.

Por fim com um treinamento especializado da equipe aliado a técnicas de engenharia, a empresa em questão possui grande competitividade de mercado necessitando apenas de ajustes técnicos.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de dar continuidade ao trabalho em questão e proporcionar melhores conhecimentos da técnica de produção de tubos de concreto, sugere-se alguns temas de pesquisa, sendo:

- Correlacionar à resistência a compressão de corpos de prova de concreto com a resistência a compressão diametral apresentada para cada diâmetro nominal de tubos;
- Estudo do melhor empacotamento para redução da absorção do concreto empregado nos tubos;
- Produção de concreto seco com fibras de aço aplicado a tubos de concreto.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE PIPE ASSOCIATION. **Concrete Pipe Handbook**. Chicago, Illinois: 1959.

AMERICAN CONCRETE PIPE ASSOCIATION. **Concrete Pipe Handbook**. Vienna, Virginia, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654**: Controle Tecnológico de Matérias Componentes do Concreto. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8890** - Tubo de Concreto de Seção Circular para Águas Pluviais e Esgotos Sanitários – Requisitos e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TUBOS DE CONCRETO. **Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário – Tubos e Aduelas de Concreto – Projetos, especificações e controle de qualidade**. São Paulo, 2008.

AZEVEDO NETTO, JOSÉ M. **Cronologia dos Serviços de Esgotos, com especial menção ao Brasil**. Revista DAE. V20, nº 33, abril, 1959.

BARRETO, Douglas. **Critérios Técnicos para Seleção de Tubos de Concreto para Redes Coletoras de Esgoto e de Drenagem Urbana**. 2003. 123 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental. Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2003.

CHAMA NETO, Pedro J. – **Tubos de concreto – Projetos, dimensionamento, produção e execução de obras**. [?] 2004.

CHAMA NETO, Pedro J. Histórico e Principais Aplicações. In: CHAMA NETO, Pedro J. (Coord.). **Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário**. 1º ed. Ribeirão Preto – SP: Associação Brasileira dos Produtores e Tubos de Concreto – ABTC, 2008.

CHAMA NETO, Pedro J. Produção de Tubos. In: CHAMA NETO, Pedro J. (Coord.). **Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário**. 1º ed. Ribeirão Preto – SP: Associação Brasileira dos Produtores e Tubos de Concreto – ABTC, 2008.

CHAMA NETO, Pedro J. Execução de Obras. In: CHAMA NETO, Pedro J. (Coord.). **Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário**. 1º ed. Ribeirão Preto – SP: Associação Brasileira dos Produtores e Tubos de Concreto – ABTC, 2008.

FERNANDES, I. **Blocos e Pavers: Produção e Controle de Qualidade**. São Paulo: Treino Assessoria e Treinamento Empresariais LTDA, 2008.

FERNANDES, S. J. **Produção de Blocos de Concreto para Alvenaria – Práticas Recomendadas**. ABCP – Boletim Técnico 103. São Paulo, 3º Edição, 1995.

GIAMUSSO, Salvador Eugenio **Manual do Concreto**. 1 ed. São Paulo, 1992.

GIMENEZ, Arlindo, B. Processos de Produção, Problemas e Dificuldades Encontradas na Fabricação de Tubos e Aduelas de Concreto. In: CHAMA NETO, Pedro J. (Coord.). **Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário**. 1º ed. Ribeirão Preto – SP: Associação Brasileira dos Produtores e Tubos de Concreto – ABTC, 2008.

HBM . Disponível em: < <http://www.hbm.com/pt/>>. Acesso em junho de 2014.

JUVAS, K. **Very Dry Precasting Concrete**. Special concretes: Workability and Mixing. Proceeding of the International RILEM Workshop. London, 1993.

MAKITA. Disponível em: < <http://www.makita.com.br/>>. Acesso em junho de 2014.

MENEGOTTI. Disponível em: < <http://www.menegotti.net>>. Acesso em junho de 2014.

NEVILLE, A.M.; GIAMUSSO, S.E. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Desing and Construction of Concrete Sewers**. PCA, Chicago, Illinois, 1968.

APÊNDICE A – Análise visual do tubo de 200 mm

Tabela 13 – Resultados da Análise Visual dos Tubos de 200 mm

Acabamento		Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Tubo 4	Tubo 5	Tubo 6
Item 4.2.1.3	Apresentar arestas vivas bem definidas (Macho e fêmea)	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.1	Superfícies internas e externas regulares e homogêneas	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.2	Retoques com nata de cimento ou com outros materiais	EC	EC	EC	EC	EC	EC
5.2.1.3	Bolhas e furos superficiais com diâmetro superior a 10 mm e profundidade superior a 5mm	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.4	Acabamento da superfície avaliado com o gabarito	EC	EC	EC	EC	EC	EC

EC - Em conformidade com a NBR 8890

NC - Em não conformidade com a NBR 8890

Fonte: Autoria Própria

APÊNDICE B – Análise visual tubo de 300 mm

Tabela 14 – Resultados da Análise Visual dos Tubos de 300 mm

Acabamento	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Tubo 4	Tubo 5	Tubo 6
Item 4.2.1.3 Apresentar arestas vivas bem definidas	EC	EC	EC	NC	NC	NC
Item 5.2.1.1 Superfícies internas e externas regulares e homogêneas	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.2 Retoques com nata de cimento ou com outros materiais	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.3 Bolhas e furos superficiais com diâmetro superior a 10 mm e profundidade superior a 5mm	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.4 Acabamento da superfície avaliado com o gabarito	EC	EC	EC	EC	EC	EC

EC - Em conformidade com a NBR 8890

NC - Em não conformidade com a NBR 8890

Fonte: Autoria Própria

APÊNDICE C – Análise visual do tubo de 400 mm

Tabela 15 – Resultados da Análise Visual dos Tubos de 400 mm

Acabamento	Tubo 1	Tubo2	Tubo 3	Tubo 4	Tubo 5	Tubo 6
Item 4.2.1.3 Apresentar arestas vivas bem definidas	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.1 Superfícies internas e externas regulares e homogêneas	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.2 Retoques com nata de cimento ou com outros materiais	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.3 Bolhas e furos superficiais com diâmetro superior a 10 mm e profundidade superior a 5mm	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.4 Acabamento da superfície avaliado com o gabarito	EC	EC	EC	EC	EC	EC

EC - Em conformidade com a NBR 8890

NC - Em não conformidade com a NBR 8890

Fonte: Autoria Própria

APÊNDICE D – Análise visual do tubo de 600 mm

Tabela 16 – Resultados da Análise Visual dos Tubos de 600 mm

Acabamento	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Tubo 4	Tubo 5	Tubo 6
Item 4.2.1.3 Apresentar arestas vivas bem definidas	EC	EC	EC	NC	EC	EC
Item 5.2.1.1 Superfícies internas e externas regulares e homogêneas	EC	EC	EC	NC	EC	EC
Item 5.2.1.2 Retoques com nata de cimento ou com outros materiais	EC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.3 Bolhas e furos superficiais com diâmetro superior a 10 mm e profundidade superior a 5mm	NC	EC	EC	EC	EC	EC
Item 5.2.1.4 Acabamento da superfície avaliado com o gabarito	EC	EC	EC	EC	EC	EC

EC - Em conformidade com a NBR 8890

NC - Em não conformidade com a NBR 8890

Fonte: Autoria Própria