

**FACULDADE PATOS DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**BIEL PEREIRA DE MATOS
ROBERVAL ALMEIDA DE SOUZA
SANDERSON GERALDO DE MORAIS**

**CONSTRUÇÃO DE ETA USANDO TÉCNICA
CONSTRUTIVA EM FERROCIMENTO**

**PATOS DE MINAS
2016**

**BIEL PEREIRA DE MATOS
ROBERVAL ALMEIDA DE SOUZA
SANDERSON GERALDO DE MORAIS**

CONSTRUÇÃO DE ETA USANDO TÉCNICA CONSTRUTIVA EM FERROCIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Wagner Marcio Bernardes

**PATOS DE MINAS
2016**

BIEL PEREIRA DE MATOS
ROBERVAL ALMEIDA DE SOUZA
SANDERSON GERALDO MORAIS

CONSTRUÇÃO DE ETA USANDO TÉCNICA CONSTRUTIVA EM
FERROCIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), apresentado à Faculdade Patos de Minas (FPM), como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil – FACULDADE PATOS DE MINAS.

Patos de Minas - MG. - 30 de Maio de 2016.

Professor Wagner Marcio Bernardes
Orientador

Professor Marcelo Malheiro de Queiroz
Examinador

Professora Helenize Maria de Rezende Lima
Examinadora

Aprovado (X)

Reprovado ()

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, em primeiro lugar, a Deus, por ter nos dado força e coragem nos momentos de dificuldades, nos iluminando e dando sabedoria ao longo da nossa caminhada concedendo, pela sua misericórdia, condições de chegarmos até aqui.

Agradecemos à Faculdade Patos de Minas (FPM), pela oportunidade que nos concede de alcançarmos nossos sonhos e objetivos com esta graduação e também a todos os professores que nos acompanharam e nos ensinaram durante toda esta jornada de graduação, desde o primeiro até o último período, em especial ao professor Wagner Marcio Bernardes e à professora Nayara Franciele Lima, orientadores que tiveram paciência e nos ajudaram, dando suporte nesse trabalho de conclusão de curso.

Agradecemos nossas famílias, que mesmo sendo sacrificadas muitas vezes com nossas ausências, tiveram amor, e compreensão e nos apoiaram de maneira incondicional.

Agradecemos à Prefeitura de Guimarães – MG, na pessoa da prefeita Maria da Glória dos Reis, pelo apoio e permissão ao acesso às obras objeto desse trabalho.

Agradecemos à COPASA e aos seus funcionários que, de maneira agradável nos recepcionaram, alimentando a nossa necessidade de conhecimento prático.

Agradecemos aos colegas de sala pelo companheirismo e troca de conhecimentos, bem como a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram com a nossa formação.

A todos, o nosso muito obrigado.

MATOS, Biel Pereira de; SOUZA, Roberval Almeida de; MORAIS, Sanderson Geraldo de. **Construção de ETA Usando Técnica Construtiva em Ferrocimento**. 2016. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Fpm - Faculdade Patos de Minas, Patos de Minas, 2016.

ESTÁ AUTORIZADA INTEGRAL OU PARCIALMENTE A REPRODUÇÃO DESTES TRABALHOS, PARA FINS DE ESTUDO E/OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

RESUMO

O ferrocimento é uma técnica construtiva artesanal, bastante prática e de fácil aplicação. É muito utilizada em construções hidráulicas pela facilidade de impermeabilização, considerada ainda técnica empírica sem comprovação científica ou que tenha Normas Técnicas reguladoras. Porém, utilizando os materiais, cimento, areia lavada, malha de aço e tela (aramado), são obtidos resultados satisfatórios, produto muito resistente, impermeável e de alta durabilidade. Este trabalho apresenta de modo geral como são construídas as unidades utilizando a técnica ferrocimento, com objetivo de buscar maior conhecimento dessa técnica, divulgar entre o meio construtivo e despertar o interesse de estudantes e futuros profissionais, a fazer uso da mesma. A Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, já vem fazendo uso dessa técnica em construções de Estações de Tratamento de Água (ETA) há um bom tempo, as mesmas encontram-se em operação atualmente em várias cidades do estado de Minas Gerais, focado o estudo na construção de uma (ETA), na cidade de Guimarães - MG. Chega ao resultado pela falta de estudos técnicos da necessidade de avançar no conhecimento e experimentos, para viabilizar por meio de estudos científicos a normatização da técnica com base em estruturas de ferrocimento.

Palavras-chave: Técnica construtiva. Estação de Tratamento de Água. Ferrocimento.

ABSTRACT

The ferrocement is a traditional construction technique, very practical and easy to use, widely used in hydraulic constructions for ease of sealing, still considered empirical technique without scientific evidence or has regulatory technical standards, but using concrete, washed sand, mesh steel and fabric (wireframe), get good results, very sturdy product, waterproof and high durability. This paper presents a general way the units are constructed using the ferrocement technique, with aims to seek greater knowledge of this technique, spread between constructive environment and arouse the interest of students and future professionals to make use of it. - COPASA, is already making use of this technique in water treatment plants construction (ETA) for a long time, they are currently in operation in several cities in the state of Minas Gerais, focusing on the study in building a (ETA) in the city of Guimarães – MG. Comes to the result by the lack of technical studies of the need to advance the knowledge and experiments, to enable through scientific studies the technique of regulation based on ferrocement structures.

Keywords: constructive technique. water treatment station. ferrocement.

LISTA DE FIGURAS

Figuras 01	Projeto.....	16
Figura 02	Chegada da água bruta para tratamento.....	17
Figura 03	Vista frontal do sistema.....	17
Figuras 04 e 05	Areia e cimento.....	18
Figuras 06 e 07	Malha de aço e tela.....	19
Figuras 08 e 09	Movimentação de terra.....	20
Figuras 10 e 11	Compactação de taludes.....	21
Figuras 12 e 13	Base solo cimento	21
Figuras 14 e 15	Forma e armação para concreto convencional.....	22
Figuras 16 e 17	Concretagem.....	22
Figuras 18 e 19	Armação da estrutura ferrocimento.....	23
Figuras 20	Ilustração do ferrocimento.....	24
Figuras 21 e 22	Argamassagem do ferrocimento.....	25
Figura 23 e 24	Acabamento do ferrocimento.....	25
Figuras 25 e 26	Cura do ferrocimento.....	26
Figuras 27 e 28	Interligações.....	27
Figuras 29 e 30	Espessura das paredes dos reservatórios.....	27
Figuras 31 e 32	Análises no laboratório da FPM.....	28
Figuras 33	Gráfico de resistência em fck.....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	08
1.1	Problemática.....	08
1.2	Objetivo Geral.....	08
1.3	Objetivo Específico.....	08
1.4	Justificativa.....	09
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	10
2.1	Origem do ferrocimento.....	10
2.2	Desenvolvimentos do ferrocimento pela COPASA-MG.....	12
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1	Etapas da construção.....	16
4.1.1	<i>Etapa inicial.....</i>	16
4.1.2	<i>Materiais.....</i>	18
4.1.3	<i>Movimentação de terra.....</i>	20
4.1.4	<i>Compactação e definição dos taludes.....</i>	20
4.1.5	<i>Base em solo cimento.....</i>	21
4.1.6	<i>Forma e Armação para base.....</i>	21
4.1.7	<i>Concretagem da base.....</i>	22
4.2	Técnica construtiva ferrocimento.....	23
4.2.1	<i>Armação da estrutura ferrocimento.....</i>	23
4.2.2	<i>Argamassagem.....</i>	24
4.2.3	<i>Acabamento.....</i>	25
4.2.4	<i>Cura.....</i>	26
4.2.5	<i>Interligações dos tanques.....</i>	26

4.2.6	<i>Espessura das paredes</i>	27
4.3	Análises em Laboratório	28
4.3.1	<i>Cálculos</i>	29
4.3.1.1	<i>Rompimento com (07) sete dias</i>	29
4.3.1.2	<i>Rompimento com (14) quatorze dias</i>	29
4.3.1.3	<i>Rompimento com (21) vinte e um dias</i>	29
4.3.1.4	<i>Rompimento com (28) vinte e oito dias</i>	29
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

1.1 Problemática

O Brasil está passando por um período de recessão em várias áreas da economia, sendo a área da construção civil uma delas, fazendo-se necessário estudos e pesquisas para apresentar soluções mais econômicas capazes de atender às obras de instalações hidráulicas e saneamento básico. Nesse contexto, a técnica construtiva em ferrocimento traz benefício para a construção civil por apresentar custo inferior em comparação à obra construída em concreto armado convencional.

1.2 Objetivo Geral

Acompanhar a construção pela COPASA, de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), utilizando a técnica construtiva em ferrocimento, avaliando o passo a passo da obra, no município de Guimarães – MG.

1.3 Objetivos específicos

- Difundir, no meio acadêmico, esta técnica construtiva da área da engenharia civil, proporcionando aos futuros alunos um aprendizado rápido, podendo vir a aplicar o conhecimento no dia-a-dia no exercício de suas profissões futuras.
- Divulgar a técnica construtiva em ferrocimento, como uma forma simples de construção apresentando resultados satisfatórios, com pouco uso de materiais e mão-de-obra.
- Mostrar a iniciativa e a importância dos procedimentos adotados pela COPASA MG, para o tratamento da água para consumo humano, objetivando a redução de custo de material e mão-de-obra.

1.4 Justificativa

A técnica construtiva em ferrocimento, apesar de ser uma das mais antigas a utilizar o aço na sua construção, ainda é uma técnica empírica, sem comprovações científicas ou que tenha Normas Técnicas reguladoras, sendo sua aplicação um tanto quanto artesanal, não exigindo mão-de-obra qualificada, não é difundida ou ensinada nas instituições de ensino, sendo muitas vezes vista com preconceito por ser tão simples, mostrando-se, porém, bastante eficaz.

O ferrocimento é uma técnica construtiva, e mesmo sendo um modelo artesanal possibilita a construção em paredes de espessura finas, em formato de cascas. No entanto, com essa formação geométrica se torna ideal com duas curvaturas, que se assemelham e possuem as mesmas características da casca do ovo, características estas que proporcionam grande resistência quando submetidas às ações dos esforços externos.

Dessa forma, esse estudo apresenta uma técnica simples, eficiente e econômica de construção que poderá ser utilizada em vários setores, destacando a aplicação do ferrocimento em construções de grandes e pequenos portes como reservatórios de água, silos, piscinas, ETA, Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), obras civis no formato casca de ovo, lajes, pisos, canaletas para esgotamento de águas pluviais em rodovias, obras ornamentais e similares etc, uma gama enorme de aplicação. Destacando, por ser de grande importância, como solução construtiva alternativa, oferecendo para a sociedade civil e poder público, soluções simples, eficientes e de baixo custo.

Construir utilizando o ferrocimento é uma técnica muito antiga e alguns empreendimentos podem e devem utilizar essa técnica, pois a mesma gera economia ao produto final. A economia pode vir em forma de tempo e de recurso financeiro, pois dependendo da obra, como um reservatório para água com capacidade de até 200m³, a economia é significativa em relação às outras técnicas construtivas utilizados atualmente. Se comparado ao método convencional, o valor do produto acabado trará benefícios para muitas pessoas que utilizarão essa técnica de construção.

O ferrocimento é utilizado por empresas de grande porte como a COPASA, servindo de incentivo para as Prefeituras, Organização Não Governamental (ONG) sociais, entre outros. Acredita-se, portanto, que muitos outros seguimentos da

sociedade e, mesmo o cidadão civil, não o utilizam por falta de conhecimento para adotarem esse método em obras que sejam recomendadas por profissionais técnicos qualificados a partir da sua indicação e orientação.

Justifica-se o uso de construções com a técnica ferrocimento devido ao baixo custo de materiais e a não exigência de mão-de-obra qualificada, possibilitando o uso com poucos materiais de construção como areia, cimento, tela de aço, barras de aço CA-50 ou CA-60 e arame. Em relação à mão de obra, um pedreiro e um servente são habilitados para a execução dos serviços.

Mesmo apresentando vantagens construtivas, esse método ainda é pouco utilizado, portanto surge o interesse em avançar nos conhecimentos, com o escopo de incentivar a sua aplicação a partir dos conhecimentos adquiridos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1- Origem do Ferrocimento

O relato a seguir apresenta obras escritas a respeito do ferrocimento, podendo ser encontradas nas referências, conforme pesquisas para entendimento do tema proposto.

O ferrocimento surgiu no século IXX, na França. O primeiro documento, escrito em 1855, de autoria de Joseph Louis Lambot (1814-1887), intitula-se “Ferciment-Succedané Du Bois de Construction”. O ferrocimento surgiu como opção para ser substituto da madeira nas edificações, devido ao preço elevado da madeira e de outros materiais similares, a motivação do uso do ferrocimento se tornou cada vez maior. (1)

O ferrocimento teve sua primeira patente em 1855, atribuída ao francês Joseph Louis Lambot. Do texto da patente consta que se tratava de “um aperfeiçoado material de construção a ser usado como substituto da madeira em construções navais e arquitetônicas e também para finalidades domésticas, onde a umidade deve ser evitada”. (2, 3)

Fazendo uso do ferrocimento como material possibilitou Lambot a construir vários utensílios domésticos e objetos de maior porte como vasos para plantas, reservatórios de água e pequenos barcos. Apesar de que, durante quase cem anos,

quase nada se construiu com o ferrocimento, somente pequenas embarcações e artefatos de menor importância, merece destaque como grande e honrosa exceção, a impermeabilização da primeira cúpula geodésica, que fora construída em 1922 em Jena, Alemanha Oriental. No ano de 1943, o engenheiro italiano Pier Lougi Nervi com estudos experimentais do professor Guido Oberti, da Escola Politécnica de Milão voltou a estudar a técnica de construção fazendo uso do ferrocimento, a partir desses estudos foram construídas obras de maior porte que possibilitaram a divulgação da ideia no mundo. (2)

No Brasil, no ano de 1960, a Escola de Engenharia de São Carlos, deu os primeiros passos para estudar o material e a técnica de construção. Com essa iniciativa formaram o denominado “Grupo de São Carlos”, com destaque para os professores Dante A. O. Martinelli e João Bento de Hanai, os quais focaram os estudos e os conduziram no uso industrial desse tipo de material, onde foi denominando “Argamassa Armada”.

São amplamente conhecidas no Brasil as aplicações da técnica ferrocimento e dos materiais utilizados principalmente pelas obras projetadas e construídas pelo arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé) – com grande destaque para as passarelas, os CAICs, obras de canalizações, e muitas outras não citadas. (2)

A Universidade Federal do Ceará, em 1982, deu início a um novo projeto denominado “Projeto Ferrocimento”, sob a orientação e iniciativa do professor Alexandre Diógenes, com foco na exploração e execução de obras artesanais. (3)

Para a execução da técnica de construção em ferrocimento procede-se da seguinte forma: iniciam-se com a montagem do aramado utilizando ferros de construção CA 50 ou CA 60 com bitolas menores, mas em maior quantidade para facilitar a modelagem da peça. Devem ser entrelaçados nos dois sentidos (horizontal e vertical) e amarrados com arame recozido de forma a dar firmeza na estrutura do esqueleto da peça que se deseja construir. Para definir os espaçamentos entre os ferros de construção, que podem variar de 5 a 15 cm, é importante observar a peça a ser construída e a posição da colocação dos ferros. É necessário que essa malha de sustentação já tenha o formato da peça desejada. São colocadas sobre a malha de sustentação no mínimo duas telas, de forma que os crivos fiquem desencontrados, em geral pelo lado externo da estrutura. Para peças de porte maior se faz necessário o uso de mais telas. Para execução de peças pequenas, que requer menor grau de responsabilidade, o ideal é usar ferros de construção de bitola

3,4 ou 4,2 mm. O nó de amarração dos aços de construção deve ser feito com arame recozido, garantindo o espaçamento entre eles e evitando que a malha de sustentação se deforme durante a aplicação da argamassa.

Em geral utiliza-se 0,60 Kg (60 gramas) de arame por metro quadrado. As duas telas de crivos pequenos são conhecidas no mercado como “tela de viveiro” e precisam ser bastante esticadas e amarradas na malha de sustentação. As amarrações das telas devem ser realizadas com arame similar ao das telas ou com arame recozido se for necessário, em caso de maior resistência.

Após moldada a peça, aplica-se a argamassa no traço 1:2 (cimento/areia lavada). A qualidade da argamassa depende tanto das características dos componentes, como do seu preparo correto e manuseio adequado. A argamassa é aplicada de forma direta sobre o aramado, sem o uso de fôrmas, nesse caso, é preciso utilizar um anteparo, podendo ser algo que se tenha disponível no local, desde um pedaço de papelão ou mesmo o próprio papel do saco de cimento, o ideal é que seja qual for o anteparo utilizado o mesmo esteja envolvido com plástico por ser de paredes lisas, facilitando a aplicação. A argamassa deve ser comprimida e vibrada com força, com a colher de pedreiro ou por outra ferramenta contra esse anteparo, certificando que a mesma fique bastante compactada eliminando os vazios no interior da parede argamassada. É desejável que duas pessoas façam o serviço, uma segura o anteparo outra aplica a argamassa, sempre de baixo para cima, em faixas horizontais de no máximo 30 cm. A aplicação da argamassa pode iniciar de dentro para fora ou de fora para dentro, esta decisão não altera o resultado. Terminada a argamassagem, é preciso esperar pelo menos 12 horas para aplicar uma segunda camada, e proceder ao acabamento final da obra. A peça recém-fabricada, obrigatoriamente, deverá ser mantida úmida, molhar várias vezes ao dia suficiente para manter a úmida e/ou em imersa em água durante a primeira semana, depois da primeira semana, com menos intensidade de umidade até cerca de vinte e oito dias, tempo ideal para ocorrer a cura da argamassa. (4) (5) (6)

2.2 Desenvolvimentos do ferrocimento pela COPASA-MG

Foi no final do ano de 1990 que surgiu a ideia do uso do ferrocimento na COPASA- MG, e se deu por meio de contatos da superintendência de apoio técnico,

em busca de soluções alternativas para diversos problemas de engenharia ligados ao saneamento. (7)

Algumas ações foram implementadas no sentido de divulgar nos setores de interesse da empresa o pensamento existente de aprofundar no conhecimento e uso do ferrocimento. Em fevereiro de 1991, o engenheiro Pedro Paulo Lessa Batista Júnior, então funcionário da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) proferiu uma palestra sobre o tema ferrocimento, para os engenheiros das áreas de projetos, obras e operações.

No mês de julho do mesmo ano, o engenheiro Pedro Paulo de Lessa Junior, ministrou um curso com foco na prática sobre a “Introdução ao Ferrocimento”, tendo a participação de um público variado como engenheiros, técnicos e encarregados de obra. A empresa teve a primeira oportunidade de testar a utilização do ferrocimento, ainda no final do mesmo ano, no local denominado Sá Fortes, no município de Antônio Carlos – MG. Na ocasião foi firmado um convênio entre a COPASA – MG e a prefeitura de Antônio Carlos - MG, esse convênio previa a execução de um reservatório com capacidade para cem mil litros. A referida obra foi concluída em março do ano de 1992. A partir dessa obra outras mais foram sendo executadas, como por exemplo, quando no mesmo ano, na cidade de São Domingos do Prata - MG., foi construído um reservatório com capacidade para cinquenta mil litros.

Merece destaque também outra aplicação dessa técnica, quando em janeiro de 1992, foram construídas na Comunidade de Nova Esperança, distrito de Montes Claros - MG, mais de cento e cinquenta reservatórios domiciliares, com capacidade para duzentos e cinquenta litros. A referida comunidade foi beneficiada pelo Piloto do Programa Nacional de Saneamento Rural (PPNSR). A realização dos trabalhos de construção dos reservatórios foi de competência da própria comunidade, cabendo à COPASA dar um treinamento e inspecionar as atividades. O resultado dessa parceria foi de grande valia, pois os reservatórios, além de custo baixo, ficaram com excelente qualidade, sendo que o centro comunitário foi transformado temporariamente em indústria de reservatórios. Os mesmos, depois de concluídos e acabados, eram levados pelos próprios usuários e instalados em suas residências, adotando como base para sustentação dos reservatórios a alvenaria e madeiras, tanto na base como nas cruzetas para sustentação.

Ao longo da duração do Programa de Parceria em Saneamento Rural (1994), sob a coordenação e orientação do engenheiro José Maurício Resende, houve a

construção de diversas unidades de ETAs, com capacidade de vazão de três, cinco, oito e doze litros por segundo, construções estas no interior do Estado de Minas Gerais. Considerando o resultado positivo em todas elas, muitas foram construídas com a utilização de mão-de-obra das prefeituras empregando a tecnologia da COPASA - MG. (2) (3)

Como resultado do avanço e desenvolvimento da COPASA-MG em projetos de ETAs, especificamente os projetos que foram construídos adotando a tecnologia ferrocimento estudada e desenvolvida pelo professor Marcos Rocha Viana, proporcionaram a obtenção de obras com técnicas construtivas simples e custos baixos, gerando economia para a empresa. Hoje o professor Marcos Rocha Viana ocupa a função de assessor especial da presidência da COPASA-MG.

O uso da técnica ferrocimento adotado nesse estudo apresenta espessura reduzida e sem a presença de fôrmas e possibilita ótimo acabamento com boa aparência, é indicado para estruturas circulares e que podem ter o acúmulo de água, porque possui boa estanqueidade, razão para uso na construção dessa ETA.

Com os formatos sempre arredondados evitando cantos e concentração em pontos fixos, ficando os esforços distribuídos uniformemente, com a forma circular, melhora a distribuição das cargas na estrutura, com isso, pode ter economia de cimento, aço e outros materiais, além da simplicidade construtiva.

Os diversos diâmetros das unidades da ETA como floculadores, decantador e filtros, podem ser construídos com técnicas mais simplificadas do que as obras tradicionais, facilitando o desenvolvimento da obra além de uma menor quantidade de materiais, como exemplo, não necessita de fôrmas tradicionais em obras de concreto armado e de argamassa armada. Com isso conseguem-se mais uma razoável parcela de economia na obra de ferrocimento.

A técnica do ferrocimento apresenta economia de materiais de construção como cimento, areia e aço e permite que os reservatórios de pequeno porte sejam construídos com maior rapidez. Depois de acabados os recipientes deverão permanecer cheios de água por duas semanas para o período de cura da argamassa.

Em caso de necessidade de reparos, faz-se a retirada dos elementos danificados, em seguida utiliza-se uma malha de ferro (tela de reforço) de armação e tela para sustentação, e uma camada de argamassa de acordo com a espessura

necessária para o reparo, utilizando o traço 1:2 de cimento e areia, após alguns minutos procede-se o acabamento da área reparada.

Na prática, as características do ferrocimento são parecidas com as do concreto armado. A argamassa também é moldável e o aramado do ferrocimento substitui a armadura do concreto armado. A grande diferença é que as peças de ferrocimento são bem mais finas, em média de três centímetros de espessura.

Considerando vantajoso o uso do ferrocimento, a COPASA decidiu adotar essa técnica para construir a ETA com vazão de 30L/s em Guimarães – MG. Porém, ao contrário de outras prefeituras, o processo construtivo será de responsabilidade da COPASA - MG, desde a elaboração dos projetos, construção e tratamento da água.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse Trabalho de Conclusão de Curso pautou-se na prática de acompanhamento da construção de uma ETA com vazão de 30,0L/s com o emprego da técnica construtiva em ferrocimento no município de Guimarães-MG.

Para a realização do trabalho ocorreram visitas *in loco* no canteiro de obras da COPASA - MG, acompanhando a construção da ETA em Guimarães - MG. Acompanhou-se todas as etapas da obra, limpeza do terreno, terraplenagem e movimentação de terra, compactação do solo, preparo da base com solo cimento, colocação da armação e concretagem convencional da base, armação da malha e tela, aplicação de argamassa de cimento e areia, acabamento dos recipientes previstos em projeto. Foram fotografados os processos evolutivos da obra e elaborados relatórios e memoriais fotográficos, sendo usados para esse fim, máquina fotográfica, prancheta-de-mão, papel e caneta. E foram moldados corpos de provas e rompidos no laboratório de materiais de construção da FPM com a utilização de prensa hidráulica, fôrmas para moldagem dos corpos de prova, reservatório de água para manter os corpos de prova durante o período necessário antes do rompimento. Nas atividades no laboratório sempre esteve presente o orientador deste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

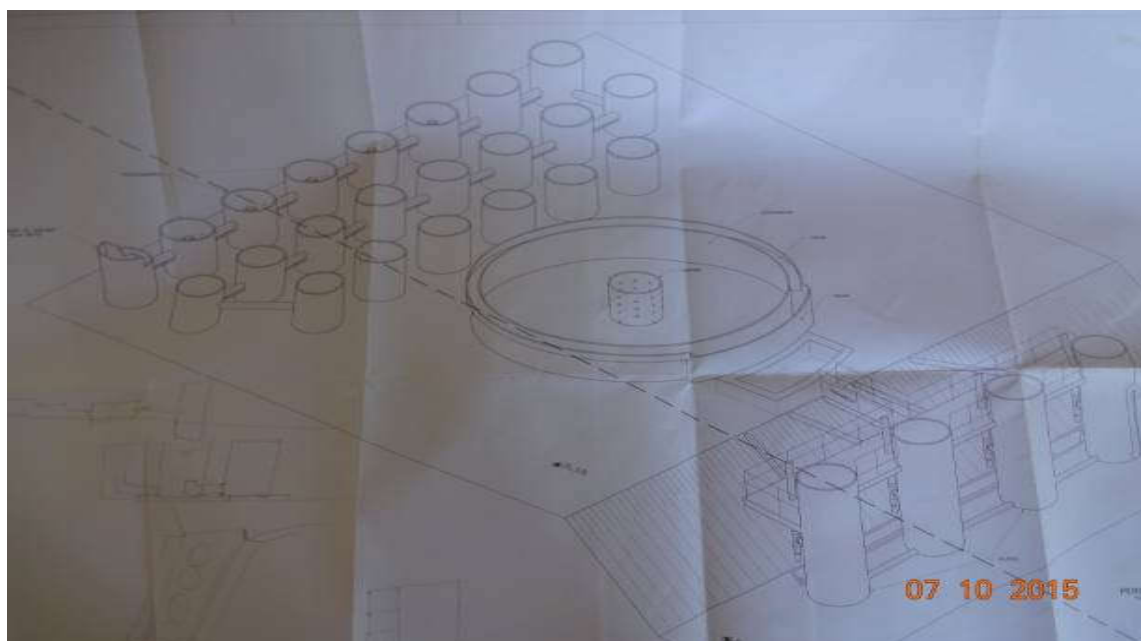
4.1 Etapas da construção

A seguir cada etapa da construção será apresentada e explicada.

4.1.1 Etapa inicial

É necessário nesta etapa o conhecimento detalhado do projeto (Fig. 01), o estudo preliminar do projeto é fase de extrema importância para evitar erros futuros e não causar desperdícios de tempo e material, conhecer os materiais a serem utilizados, e as medidas do terreno, locação da construção no terreno e posicionamento dos taludes entre outros, são passos indispensáveis nesta fase. (08)

Fig. 01: Projeto



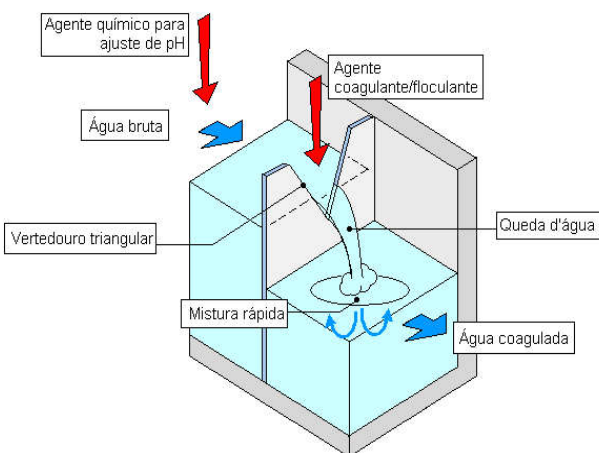
A ETA de Guimarães é do tipo convencional e contém as seguintes unidades:

Câmara de chegada, medição de vazão e mistura rápida; Floculadores; Decantadores; Filtros; Tanque de contato.

Inicialmente a água em sua forma bruta é encaminhada à câmara de formato cilíndrico, possuindo no seu interior um sistema de medição com vazão do tipo vertedouro triangular. Na queda d'água do vertedouro acontece a mistura de forma

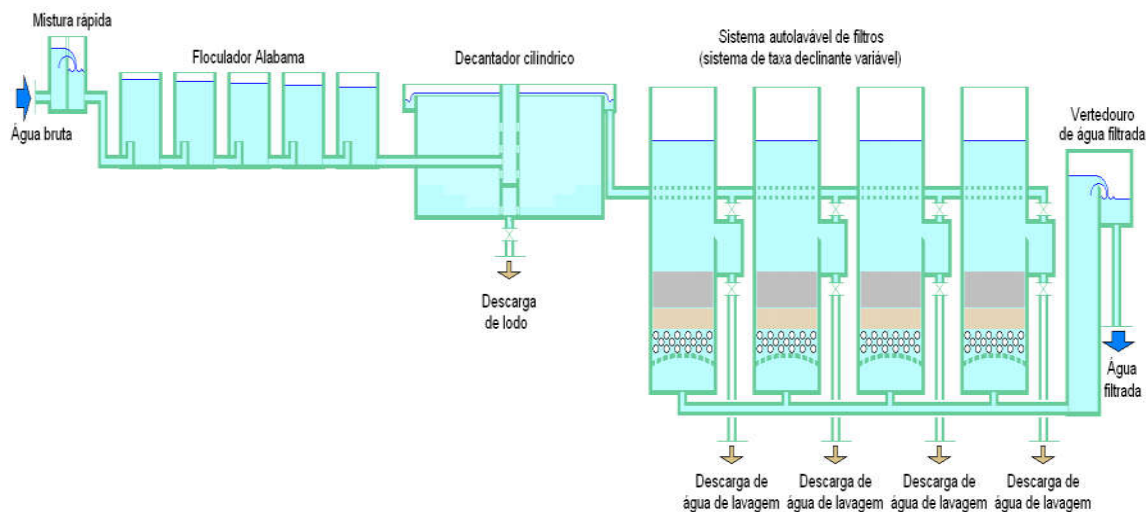
rápida do coagulante/floculante. Caso há necessidade de se alcalinizar previamente a água bruta, procede à aplicação do alcalinizante à montante do vertedouro, na tubulação de chegada de água ainda na forma bruta na câmara. (fig. 02)

Fig. 02- Chegada da água bruta para tratamento



Na sequência, a água já coagulada é direcionada ao floculador, aqui se adotou o do tipo hidráulico de chicanas horizontais e na sequência, de forma imediata para o decantador, em formato circular em planta, tipo convencional, na sequência imediatamente passa pelo processo filtrante, finalizando o processo no vertedouro de água filtrada, conforme sistema de vista frontal (fig. 03).

Fig. 03: vista frontal do sistema



(a) concepção inicial: floculador Alabama e decantador cilíndrico

4.1.2 Materiais

Materiais usados no ferrocimento: água, areia, cimento, malha de aço e tela.

A areia (agregado miúdo) utilizada no ferrocimento será a lavada de rio, passada na peneira com granulação de 2,4 mm, NBR 6502/1995, os grãos deverão ser do formato arredondado e não laminar, resistentes e isentos de pó, impurezas, sobretudo matéria orgânica, deve ser do tipo “de rio grossa”. Não se deve usar areia fina. (09), (fig. 04)

O cimento utilizado é de preferência tipo de alto forno CP III 32 ou cimento comum composto CP II 32 Mpa, que atende as especificações das normas técnicas definidas no Brasil. Encontrado no mercado local, sabendo que o mesmo é colocado no comércio seguindo o controle de qualidade, pouco se preocupa ao comprar, sendo importante verificar se o comércio é confiável, se o cimento é novo, dentro do prazo de validade de trinta dias, condições da embalagem sem rasgos, verificar se o mesmo não está empedrado. (fig. 05).

Fig. 04 e 05: areia e cimento



A brita número 1, encontrada com facilidade no mercado, destaca que este material será utilizado apenas na construção da base, para recebimento posterior da construção em ferrocimento, já que não se utiliza brita para a técnica ferrocimento.

A malha de aço para a estrutura foi composta de armação de aço CA - 50 de diâmetro 4,2 mm, 10 x 10 cm. (fig. 06)

A qualidade da água é importante, porque quando misturada ao cimento, começa-se uma atividade físico-química que dura por muitos anos e é necessário que seja completamente isenta de impurezas para não prejudicar a atividade em

curso. Se não for observado esse fator, com certeza o futuro do ferrocimento será comprometido, sendo indispensável, além de boa qualidade, a dosagem também precisa ser certa no preparo da argamassa. Apesar de não existir estudos científicos sobre a quantidade exata, recomenda-se que pegue um punhado da argamassa na mão e comprima, se não escorrer água e ao abrir a mão não quebrar e as marcas dos dedos ficarem latentes é porque está no ponto para o uso. (12)

As telas utilizadas para construção dos tanques de pequeno porte são do tipo hexagonal trançada em malha de 12,5 mm de arame no 24 BWG (tipo de passarinho) disposta em três camadas, sendo duas externas à malha de aço e uma interna à malha. (fig. 07). Para a construção de grande porte, será utilizada armação com várias camadas de telas amarradas, malha de 5x5 cm, fio 2,5 mm em aço CA - 60 (tela designada EQ 98 utilizada para argamassa armada), mais três camadas de tela hexagonal trançada em malha de 12,5 mm e fio nº 24 BWG. Foram utilizados os mesmos parâmetros, com as mesmas características adotadas do ferrocimento internacional, ou seja, “a fração de volume da armadura e a superfície específica da armadura”. Com essa disposição e distribuição das camadas, possibilitou atender ao mesmo tempo os esforços de tração na parede cilíndrica e atender também os parâmetros característicos do ferrocimento. Considerando os cálculos feitos, a superfície específica mais as camadas de telas soldadas chegam de 0,8 cm² a 1,0 cm² por cm³ o que motivou a incluir mais três camadas de tela hexagonal trançada na face interna do tanque, atingindo assim 1,9 cm² por cm³, atendendo as exigências de projeto e padrões internacionais (5) (6). Na armação das telas foram utilizados ripões de madeira para orientar a moldagem da estrutura.

Fig. 06 e 07: malha de aço e tela



4.1.3 Movimentação de terra

Nesta etapa inicia-se efetivamente os serviços de construção, sendo realizado neste momento a limpeza do terreno com retirada da vegetação, raízes, pedras, todo elemento estranho à terra (fig. 08), na sequência, inicia-se a movimentação de terra e serviços de terraplenagem. Foram necessários empréstimo de aproximadamente 120 m³ de terra para o local, para ajustes do terreno. Sendo utilizado para estes serviços caminhões da prefeitura de Guimarães no transporte e máquina retro escavadeira da COPASA (fig. 09), para a movimentação de terra.

Fig. 08 e 09: movimentação de terra



4.1.4 Compactação e definição dos taludes

Inicia-se a compactação do solo, sendo feito em camadas de aproximadamente dez centímetros de altura por vez, até atingir a altura ideal, formando assim as diferenças de níveis em cada talude, conforme o projeto. Destaca-se nesta fase que o terreno foi compactado na umidade ótima, de acordo com Normas Técnicas pertinentes, em todas as camadas que estão sendo compactadas, até que adquira o grau de compactação necessário (fig. 10). Para a realização destes serviços foram utilizados a retro escavadeira e compactador mecânico, além de ajustes manuais, deixando o terreno preparado para o início da obra (fig. 11).

Fig. 10 e 11: compactação e taludes



4.1.5 Base em solo cimento

Após o preparo do terreno, já compactado, inicia-se a construção da base adotando o solo cimento, que é a mistura de 1:12 (cimento/terra), em camadas com altura de dez centímetros (fig. 12). As ferramentas utilizadas para estes serviços foram betoneira, régua, pá, enxada, colher de pedreiro. Sendo necessária a retirada dos excessos de materiais, delimitando o local da construção. (fig. 13)

Fig. 12 e 13: base solo cimento



4.1.6 Fôrma e Armação para base

Após o término da preparação do terreno inicia a montagem das fôrmas, sendo utilizada madeira para moldar o concreto da base (fig. 14) e em seguida a confecção do radier que é composto de malha de aço 6mm com 20x10 centímetros, aço CA 50 sendo necessária a utilização de apenas uma malha (fig.15).

Fig. 14 e 15: Fôrma e armação para concreto convencional



4.1.7 Concretagem da base

Para a concretagem utilizou-se o traço 1:3:2 (cimento/areia/brita), sendo espalhado, preenchendo a fôrma previamente montada (fig. 16), formando uma laje de dez centímetros de espessura (fig. 17), sendo utilizados as ferramentas convencionais para lançamento do concreto.

Fig. 16 e 17: concretagem



4.2 Técnica construtiva ferrocimento

4.2.1 Armação da estrutura ferrocimento

Após a base pronta, iniciou-se a aplicação da técnica ferrocimento, que consistiu na amarração com arame liso recozido, utilizado nas construções convencionais, entre a tela e a malha de aço. A malha de aço tem a função de dar sustentação à estrutura, utilizando aços de bitolas finas, para facilitar a moldagem da estrutura, sendo organizadas nos sentidos horizontal e vertical, é necessário que a amarração entre elas seja de forma bastante firme, para evitar deformação na estrutura. Deve-se considerar também o espaçamento entre as barras, dependendo da posição e da construção, sendo de suma importância que a malha dê a forma da peça a ser construída. Quanto à tela, foram utilizadas duas telas de malha hexagonal, uma sobrepondo a outra, de maneira que os crivos ficaram desencontrados, diminuindo a abertura entre os vãos, foram utilizadas ferramentas para a amarração como alicate ou torquês (fig. 18).

Trata-se de um processo simples onde a tela foi esticada ao máximo, para garantir maior tração na estrutura, formando os cilindros (fig. 19), os quais foram locados sobre a base de concreto, sendo usados pedaços de ferro fixados na base para alinhar os cilindros dando orientação sobre sua posição, de acordo com a situação no terreno e as medidas estabelecidas em projeto.

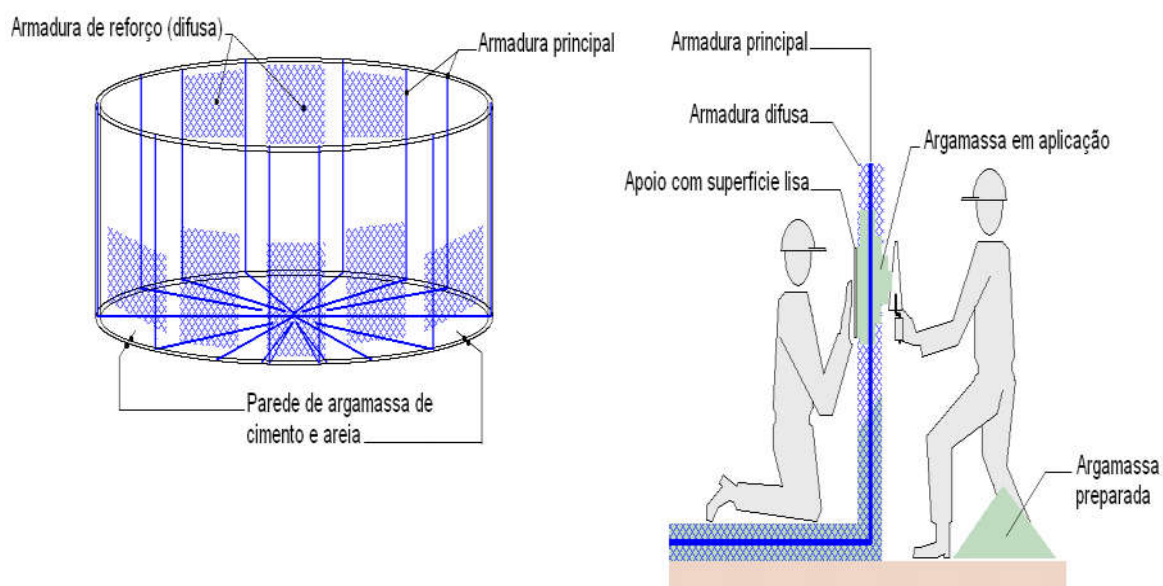
Fig. 18 e 19: Armação da estrutura ferrocimento



4.2.2 Argamassagem

A argamassa preparada no traço 1:2 (cimento/areia), o fator água/cimento igual a 0,5, que na prática sofreu variações devido à umidade da areia. A qualidade da argamassa depende diretamente das características dos componentes, do preparo e manuseio correto e adequado, podendo ser preparada tanto manual ou em betoneira. O ideal é preparar apenas a quantidade que será aplicada em espaço curto de tempo, evitando o endurecimento e a perda da plasticidade. A aplicação foi feita diretamente sobre a malha sem o uso de fôrmas, utilizando-se um anteparo para permitir a compressão da argamassa, sendo necessárias duas pessoas para essa aplicação (fig. 20), sendo feita de fora para dentro e de dentro para fora, nos lados internos e externos dos tanques, sempre de baixo para cima.

Fig. 20: Ilustração do ferrocimento



Nesse caso específico da construção da ETA, utilizou-se um recipiente em aço, desenvolvido pelos funcionários da COPASA, onde foi colocada a argamassa para aplicação e um vibrador de pequeno porte (fig. 21 e 22). Ao terminar a primeira demão, aguardou-se em torno de 12 horas para a aplicação da segunda demão, com objetivo de corrigir irregularidades e complementar a primeira evitando vazios no interior da argamassagem, o que geraria a possibilidade de infiltrações nos tanques futuramente.

Fig. 21 e 22: Argamassagem do ferrocimento



4.2.3 Acabamento

Após a aplicação da segunda camada de argamassa, foi feito o acabamento, utilizando uma esponja úmida sendo passada levemente em toda superfície da peça argamassada, processo comum na construção convencional, permitindo um bom acabamento (fig. 23 e 24). O processo de acabamento é importante na obra para garantir a estanqueidade das peças e como resultado visual da edificação por se tratar de obra artesanal. Sendo utilizadas ferramentas comuns para a aplicação e acabamento como colher de pedreiro e desempenadeira.

Fig. 23 e 24: Acabamento do ferrocimento



4.2.4 Cura

Trata-se de um processo extremamente importante para a vida útil da obra, pois sendo a cura da argamassa de boa qualidade, evita-se as trincas e fissuras e garante o endurecimento adequado da argamassa na estrutura, evitando vazamentos futuros. Para isso se fez necessário o preenchimento total com água dos tanques, após três horas de acabados (fig. 25 e 26), permanecendo cheios por todo período, garantido cura de boa qualidade da argamassa.

Fig. 25 e 26: cura do ferrocimento



4.2.5 Interligações dos tanques

Para as interligações foram utilizados tubos de PVC branco tipo esgoto com diâmetros variados, de acordo com o projeto (fig. 27), revestidos com malha de aço e telas, amarrados com arame recozido, seguindo o mesmo padrão dos tanques, e posteriormente serão revestidos de argamassa. As interligações serão executadas depois de concluídos os tanques, com a abertura da parede destes (fig. 28) utilizando as ferramentas ponteira e marreta, manualmente, ou marteleto mecânico. É feito um reforço externo da armadura nos locais, para prevenir possíveis vazamentos e garantir qualidade no serviço.

Fig. 27 e 28: interligações



4.2.6 Espessura das paredes

Observou-se que a espessura das paredes dos tanques, depois de concluídas as paredes dos reservatórios incluindo acabamentos, foram de 3cm (três) para os floculadores e filtros (fig. 29), e 4cm (quatro) para o tanque grande utilizado para o processo de decantação (fig. 30), atendendo com satisfação o que estava previsto no projeto executivo.

Fig. 29 e 30: Espessura das paredes dos reservatórios



4.3 Análises em laboratório

Durante o período de argamassagem foram colhida argamassa e moldados corpos de provas, medindo 0,10m de diâmetro e 0,20m de comprimento medidas padrão para esse procedimento, conforme a NBR 5738 de dezembro de 2003. (10)

Os corpos de prova ficaram imersos em água durante todos os dias necessários até o cumprimento do período de pega e cura estabelecido para serem rompidos, o objetivo de ficarem imersos em água é simular o ambiente normal em que serão utilizadas as estruturas construídas, ou seja, durante toda vida útil, visto que a argamassa terá contato constante com a água por se tratar de ETA. Os mesmos foram rompidos no laboratório da FPM (fig. 31 e 32), pelos alunos, acompanhados pelo professor e orientador.

O objetivo principal dessa etapa é identificar a resistência à compressão da argamassa utilizada no processo construtivo da referida ETA, sendo os resultados apresentados em fck.

A argamassa com traço de 1:2:0,5 (cimento/areia lavada/água) foi utilizada para moldagem dos corpos de prova que foram colhidos no canteiro das obras no dia 16 de março, pelo aluno Biel. Após três horas de moldados foram mergulhados na água, e cinco dias após foram transportados para as dependências da FPM, os quais imediatamente voltaram a serem mergulhados em água, permanecendo até o dia recomendado para o rompimento.

Fig. 31 e 32: Análises no Laboratório da FPM



4.3.1. Cálculos

Os corpos de provas foram rompidos com 07 dias, 14 dias, 21 dias e 28 dias, sendo adotados os seguintes parâmetros para os cálculos:

- Tensão (T)
- Área (A) = $\pi \times R^2$
- Carga (P)
- f_{ck} = MPa da argamassa
- **T = P/A**

4.3.1.1 Rompimento com (07) sete dias

Carga (P) = 14,74 toneladas

$$T = 14,74 \text{ t} \times 1000 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 / \pi \times 0,05^2$$

$$T = 18.767.550 \text{ Pa ou } 18,76 \text{ MPa} \Rightarrow \mathbf{f_{ck} = 18,76 \text{ MPa}}$$

4.3.1.2 Rompimento com (14) quatorze dias

Carga (P) = 19,06 toneladas

$$T = 19,06 \text{ t} \times 1000 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 / \pi \times 0,05^2$$

$$T = 24.267.945 \text{ Pa ou } 24,26 \text{ MPa} \Rightarrow \mathbf{f_{ck} = 24,26 \text{ MPa}}$$

4.3.1.3 Rompimento com (21) vinte um dias

Carga (P) = 30,29 toneladas

$$T = 30,29 \text{ t} \times 1000 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 / \pi \times 0,05^2$$

$$T = 38.566.426 \text{ Pa ou } 38,56 \text{ MPa} \Rightarrow \mathbf{f_{ck} = 38,56 \text{ MPa}}$$

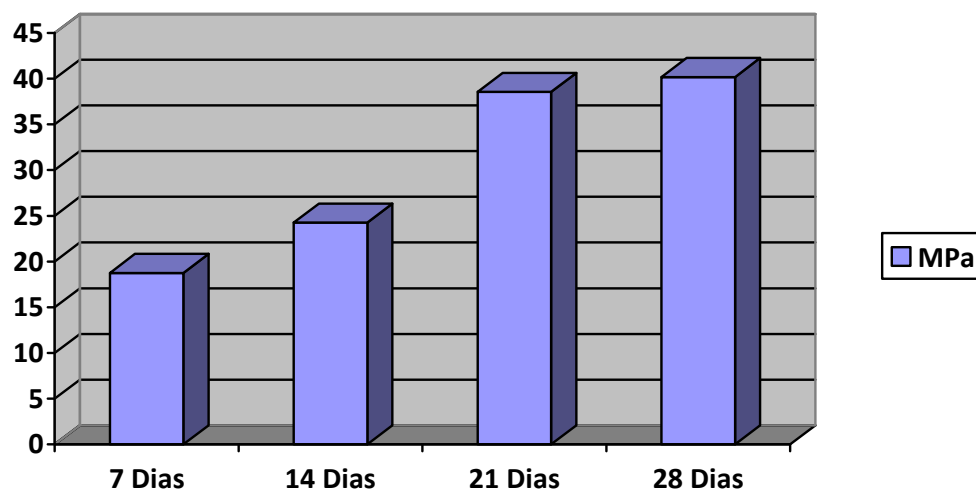
4.3.1.4 Rompimento com (28) vinte oito dias

Carga (P) = 31,56 toneladas

$$T = 31,56 \text{ t} \times 1000 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 / \pi \times 0,05^2$$

$$T = 40.183.440 \text{ Pa ou } 40,18 \text{ MPa} \Rightarrow \mathbf{f_{ck} = 40,18 \text{ MPa}}$$

Fig. 33: Gráfico Resistência em MPa



Através do gráfico pode-se concluir que com sete dias já apresentava uma boa resposta na resistência do material com 46,69% da resistência; com uma crescente para o resultado do dia quatorze, chegando a 60,37%; nesta crescente destaca-se que com vinte e um dias já chegara a 95,96% da resistência em relação aos valores finais apresentado aos vinte e oito dias de 40,18 fck. Considerando que esta resistência final é relativamente alta, atendendo com satisfação ao proposto para a obra.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que a técnica ferrocimento é um método construtivo pouco explorado no meio construtivo, com poucas referências bibliográficas e Normas Técnicas reguladoras específicas, o que dificulta maior aprofundamento desse estudo pela indisponibilidade de fontes para pesquisas, tanto no meio eletrônico quanto impresso, e poucos resultados de estudos anteriores que possibilitem comparações de resultados ou mesmo evoluções da técnica. Esse trabalho objetivou acompanhar a evolução construtiva de uma ETA, no município de Guimarães - MG, com a utilização da técnica ferrocimento, proporcionando mais conhecimentos e fornecendo mais uma fonte de pesquisas que poderá ser utilizada como referência para outros estudos, e dar subsídios a novos trabalhos no meio acadêmico. Destaca-se a importância da iniciativa dada pela COPASA em adotar a técnica construtiva ferrocimento, sendo essa uma empresa de grande relevância na prestação de serviços ao atendimento a uma das necessidades básicas da população que é a água tratada. Como resultado, obteve-se construções de peças com paredes muito esbeltas com baixo consumo de argamassa, com fck considerado satisfatório para a construção proposta, acima de 40 MPa aos vinte e oito dias, sem a necessidade de fôrmas de madeiras e com armações mínimas, apresentando grande resistência à tração, com total estanqueidade, possibilitando alta durabilidade, apresentando um benefício ou ponto positivo importantíssimo que é a economia financeira, além da beleza por se tratar de obras artesanais. Conclui-se que este trabalho é de grande importância para o conhecimento sobre a técnica estudada, somando informações relevantes para a aplicação da técnica de ferrocimento, contribuindo para a divulgação da mesma no meio técnico e acadêmico.

REFERÊNCIAS

- 1- LIMA, Arnaldo Ribeiro Cerqueira. **Ferrocimento Artesanal**. 2015. Disponível em: <<http://tecnologiasapropriadas.com.br/ferrocimento-ultima-versao.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

- 2- BONIFÁCIO, Sávio Nunes. **Estação De Tratamento De Água - Capacidade 150 L/S (540 M³ /H) Em Ferrocimento**. 1997. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/estacao.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

- 3- BONIFÁCIO, Sávio Nunes. **Experiências por Países: Anexo 4**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan3/411387/411387-05A.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

- 4- MYRRHA, Marco Aurélio de Lima; COLLO, Paulo César Marques de. **Construções Rurais com ferro-cimento**. São Paulo: ABCP, 1994. 34 p.

- 5- HOMEM, Antônio Cloves Fonseca. **Ferrocimento: Técnicas de Construção**. Viçosa - MG: Imprensa Universitária, 1991. 27 p.

- 6- HANAI, João Bento de. **Construções de Argamassa Armada: Fundamentos tecnológicos para projetos e Construção**. São Paulo: PINI, 1992. 198 p.

- 7- VIANA, Marcos Rocha; MAGALHÃES, Luciana Nunes de. **Estações de Tratamento de Água Construídas de Ferrocimento no Estado de Minas Gerais, Brasil**. 2012. Disponível em: <www.researchgate.net/publication/266079978_ESTACOES_DE_TRATAMENTO_DE_AGUA_CONSTRUIDAS_DE_FERROCIMENTO_NO_ESTADO_DE_MINAS_GERAIS_BRASIL>. Acesso em: 25 nov. 2015.

- 8- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: Projeto de Estação de Tratamento de Água (ETA) para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992. 18 p.

9- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.

10- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003. 06 p.