

UHE ITUTINGA – INJEÇÃO DE MICROCIMENTO EM TUBOS DE SUÇÃO DE UNIDADES GERADORAS

Márcio Pereira WERNECK
Engenheiro Civil – CEMIG Geração e Transmissão S.A.

RESUMO

O presente trabalho oferece uma visão geral a respeito da injeção cimentícia em tubos de sucção de unidades geradoras e tem por objetivo mostrar o pioneirismo na utilização de microcimento.

O microcimento já havia sido aplicado com sucesso em tubos de sucção das unidades geradoras 2 e 4 da usina de Itutinga, usina esta que possui um histórico expressivo de injeções.

Apresenta também uma metodologia simples de como o serviço foi executado, suas etapas e materiais utilizados, bem como o objetivo de colocar a estrutura do tubo de sucção em condições seguras de operação.

ABSTRACT

The present paper offers a general sight about the cement grouting in draft tubes of hydroelectric machines and has a goal to show that Cemig was a pioneer on this technique usage.

The “micro cement” had already been successfully used on the draft tubes of the machines 2 and 4 on Itutinga Power Station, which has a significant historic of grouting.

This article shows also a simple methodology about how the work was done, its stages and used materials to put the draft tube structure in safety conditions of operation.

1. INTRODUÇÃO

A usina hidrelétrica Itutinga está localizada na bacia do Alto Rio Grande, na cachoeira de Itutinga, na divisa dos municípios de Itutinga e Nazareno, no sul do Estado de Minas Gerais, na bacia do Rio Grande. Na figura 1 é mostrada uma vista geral do aproveitamento.



FIGURA 1: Vista aérea do aproveitamento.

Geograficamente situa-se na latitude $21^{\circ}16'$ Sul e longitude $44^{\circ}40'$ Oeste, cuja entrada para a usina está à 53km de São João Del Rei, 40km de Lavras e a aproximadamente 260 Km de Belo Horizonte, conforme mostrado na figura 2.



FIGURA 2: Localização.

A primeira idéia de aproveitamento hidrelétrico da cachoeira de Itutinga surgiu em 1921, quando foi levantado o problema de eletrificação na antiga estrada de Ferro Oeste de Minas.

De 1933 a 1949 foram realizadas as observações fluviométricas e medições diretas da descarga do Rio Grande a jusante da cachoeira de Itutinga. Estas observações foram feitas com a devida regularidade, o que permitiu um estudo mais exato das possibilidades do potencial a ser aproveitado.

Em 1949, tendo em vista a necessidade de levar a produção da indústria da energia elétrica para o Estado, foi confiado a Servix Engenharia Ltda. um ante-projeto mais detalhado para a construção da usina. Em 1951 foi fundada a CEARG – Cia de Eletricidade ao Alto Rio Grande, subsidiária da CEMIG, com a finalidade de construção e exploração do aproveitamento hidrelétrico da bacia do Rio Grande.

Em 08/04/1952 é assinado o contrato com a Companhia Morrison Knudsen do Brasil S.A. e inicia-se a construção da usina que seria feita em duas etapas.

Inaugurada pelo então Governador Juscelino Kubitschek, em 11/04/1955 a primeira etapa da construção é concluída com a operação das unidades 1 e 2 – geração de 25MW.

Na construção da 2ª etapa do projeto de aproveitamento hidroelétrico de Itutinga, foram montadas mais duas unidades geradoras com entrada em operação comercial nas seguintes datas: Unidade 3 - 12,5MW: 17/09/1959 e unidade 4 – 12,5 MW: 24/04/1960.

Em outubro de 1987 entrava em operação a SE Itutinga de 345kV. Sua construção surgiu da necessidade de se elevar a potência e melhorar a tensão no subsistema de transmissão do Sul de Minas que era feito através da Usina Itutinga. Esta SE interliga o sistema de transmissão de FURNAS com o da CEMIG.

Em 1996 foi realizada a parada geral da Usina Itutinga. O objetivo principal foi de conter vazamentos abundantes nas laterais do canal de adução, principalmente na direita hidráulica. Esse trabalho foi feito através da aplicação de uma manta sintética importada da Itália. O período de paralisação (três meses) foi aproveitado para sanar várias pendências eletromecânicas na usina.

A CEMIG, preocupada com a preservação ambiental, deu início a uma grande obra na bacia de dissipação do vertedouro visando eliminar o aprisionamento de peixes que ocorria após as manobras de fechamento das comportas. Foram obturados as fissuras e orifícios nas rochas e foi construído um canal para que os peixes pudessem retornar ao leito do rio.

2. DESCRIÇÃO GERAL DO APROVEITAMENTO

2.1 RESERVATÓRIO

O rio foi desviado através de um canal aberto na margem direita, a fim de construir as estruturas de desvio no seu leito natural.

No bloco correspondente a comporta nº 4 do vertedor, foram deixadas três adufas temporárias com os respectivos dispositivos de fechamento. As adufas, com soleira na cota 810,00, foram dimensionadas para uma vazão de 175m³/s com o nível d'água na cota 815,70m.

Após a conclusão das estruturas de desvio, o rio foi novamente desviado para o seu leito original, passando pelas adufas que, posteriormente, foram fechadas e concretadas para a formação do reservatório.

O reservatório tem uma área inundada de 1,64 km² e um volume total de 11 milhões de m³ conforme figura abaixo:

RESERVATORIO

CARACTERÍSTICAS	
Area inundada	1,64 km ²
Volume total	11,0 milhões m ³
Volume médio útil	6,5 milhões m ³
Nível máximo operativo	886,00 m
Nível mínimo operativo	880,00 m
Nível normal operativo	885,60 m a 885,80
Nível soleira - tomada d'água	876,00 m
Nível soleira - vertedouro	880,00 m
Municípios inundados	
Itutinga	0,40 km ²
Nazareno	1,24 km ²
Varição máxima do reservatório em 24 horas:	60 cm



FIGURA 3: Dados e vista parcial do reservatório.

2.2 BARRAGEM

A barragem de terra tem 253,00m de comprimento por 5,00m de largura de crista na elevação 832,00m.

Seu maciço é formado por um núcleo impermeável de argila, assentado em uma trincheira aberta em terreno natural. As faces de montante e jusante são revestidas de materiais permeáveis (enrocamento) com os taludes respectivamente inclinados de 1:3,5 e 1:3.

O talude de montante é todo revestido por uma camada de enrocamento e o de jusante por grama.

O filtro de fundação é formado por um tapete de pedras graduadas, a jusante do núcleo, até o pé do talude. (não possui filtro vertical e o tapete drenante não tem areia)

A crista é pavimentada com bloquetes de concreto pré-moldado na forma hexagonal e meio-fio com sargeta e drenos de três em três metros.

A barragem de concreto é do tipo gravidade, com fundação sobre rocha sã, provida de tomada d'água e os vertedouros, perfazendo um comprimento total de 297,50m.

A tomada d'água e o vertedor principal são ligados na crista por uma ponte de concreto na cota 830,00m.

BARRAGEM

CARACTERÍSTICAS		
Tipo		Gravidade, com fundação em rocha maciça
Comprimento	Terra	253,0 m
	Concreto	297,5 m
	Total	550,5 m
Altura máxima		25,0 m



FIGURA 4: Dados da barragem e vista de montante.

2.3 VERTEDOUROS

O vertedouro principal cuja soleira encontra-se na cota 822,00m, é provido de cinco comportas de setor, com 6m de altura por 10,50m de largura o que permite uma descarga máxima de 1.640m³/s quando o nível normal do reservatório cota 828,00m não for ultrapassado de 1m.

Cada comporta de setor é movida por um mecanismo próprio de guinchos, montados sobre os pilares da ponte.

O perfil do vertedouro, à jusante, foi determinado em função da altura da lâmina d'água; possui pequenos defletores na saída, com cotas variáveis.

A descarga é feita diretamente sobre o leito rochoso do rio.

À direita do vertedouro principal, encontra-se o vertedouro auxiliar, de descarga livre, com 120,00m de vão e soleira na cota 828,00m.

Seu perfil foi determinado para uma lâmina d'água de um metro de altura; possui pequenos defletores na saída, com cotas variáveis.

Sua capacidade máxima de descarga é de 212m³/s considerando o reservatório na cota 829,00m. Tem como finalidade manter o reservatório no nível de operação durante as grandes cheias. A descarga é feita diretamente sobre a rocha na margem direita.

VERTEDOURO

CARACTERÍSTICAS	
Vertedouro principal	
Tipo	Superfície
Descarga	1.640m ³ /s (cota 829,0 m)
Comporta	tipo setor (05 unidades)
Dimensões	6,0 m (alt.) x 10,5 m (larg.)
Acionamento	guincho montado sobre os pilares da ponte
Largura da ponte	3,0 m
Raio de curvatura	7,976 m
Fabricante	S. Morgan Smith CO.
Comprimento da calha	33,5 m
Vertedouro de limpeza	
Tipo	Superfície
Largura	3,0 m
Soleira	825,0 m
Tipo de comporta	plana metálica
Sistema de suspensão	mecânico manual
Cota da ponte	830, 0 m
Vertedouro auxiliar (crista livre)	
Tipo	Superfície sem comporta
Largura do vão	120,0 m
Cota da soleira	828,0 m
Descarga	212m ³ /s (cota 829,0 m)



FIGURA 5: Dados e vista de jusante do vertedouro em operação.

2.4 TOMADA D'ÁGUA E CANAL DE ADUÇÃO

A tomada d'água, após o canal de adução, tem 51,0m de largura, é dividida em 10 vãos livres de 4,20m, providos de grades de proteção e guias para stop-logs, sendo sua soleira na cota 818,0m.

A limpeza das grades é feita por um equipamento mecânico que se desloca sobre trilhos ao longo da ponte até uma abertura sobre o vertedouro de limpeza.

O canal é formado por muros laterais de concreto gravidade e soleira em rocha. Tem 168,0m comprimento no eixo, 51m de largura inicial reduzindo simetricamente para 30,0m e finalmente seu eixo sofre uma deflexão para a esquerda mantendo largura constante de 41,9m até a câmara de carga.

A soleira do canal tem seu primeiro trecho de 68,24m nivelado na cota 818,0m; um trecho de 40,0m em declive e finalmente um trecho nivelado na cota 815,0m até a câmara de carga. À direita, junto à câmara de carga, cota 815,0m, encontra-se a comporta desarenadora.

Esta comporta, de 0,80m x 0,80m, é movimentada através de um dispositivo manual. Os muros laterais têm a crista na cota 830,0m, exceto um trecho do muro direito, com 103,0m de comprimento e soleira na cota 828,0m, que funciona como vertedouro de descarga livre. Este vertedouro tem 182m³/s de capacidade máxima de descarga com o reservatório na cota 829,0m.

A finalidade deste vertedor é também manter o nível do reservatório no nível normal de operação durante as grandes cheias.

Por conseguinte, com todas as unidades geradoras paradas, a capacidade máxima de descarga da usina é de 2.034m³/s.

TOMADA D'AGUA

CARACTERÍSTICAS	
Canal de Adução	
Comprimento	168,5 m
Largura inicial	51,0 m
Largura final	41,9 m
Profundidade	15,0 m
Comprimento extravasor	103,0 m
Comportas	
Quantidade	04 unidades
Tipo	Vagão com rodas fixas
Acionamento	Guincho motorizado
Conduto Forçado	
Comprimento	51 m
Diametro	4,2 m
Declividade	21°30'



FIGURA 6: Dados e vista de montante do canal de adução.

2.5 CÂMARA DE CARGA

Localizada na extremidade de jusante do canal, é uma estrutura de concreto gravidade, com 43,9m de comprimento por 19,0m de largura na crista na cota 830,0m.

O seu comprimento é dividido em cinco aberturas retangulares independentes, sendo uma para a tomada d'água do grupo de serviço e quatro para tomada d'água para as unidades principais.

Cada abertura, com soleira na cota 815,4m, está ligada ao conduto forçado através de uma transição em concreto. É guarnecida por grades removíveis na entrada, destinadas a proteger as turbinas de materiais carregados pelo rio.

As vazões em cada conduto são controladas por comporta tipo vagão com rodas, acionadas por guincho em monovia. À montante de cada comporta existem as guias para os stop-logs.

Todas as tomadas possuem poços de acesso e aeração para os condutos.

Cada unidade é provida de um "by-pass" com comporta, situada acima da soleira superior da comporta principal que possibilita o enchimento lento do conduto. As monovias são guinchos fixados em uma superestrutura de concreto sobre o teto da câmara de carga.

Esta superestrutura está localizada sobre os poços das comportas e stop-logs, e, tem altura máxima na cota 840,6m. As monovias dos trilhos são presas sob o teto da superestrutura e têm a aba inferior na cota 838,839m,



FIGURA 7: Câmara de carga.

2.6 CONDUTOS FORÇADOS

Da câmara de carga partem cinco condutos, sendo um para o grupo de serviço e quatro para as unidades principais.

O conduto do grupo de serviço tem 1,22m de diâmetro, construído com chapa de aço 3/8" e serve de alimentação para a estação de tratamento d'água da usina.

Os condutos principais são de aço doce, com 4,20m de diâmetro, construídos com chapas de 1/2" com solda em costura e distribuídos simetricamente dois a dois e se dirigem para as unidades na casa de força sob uma inclinação de 21 graus. Cada conduto tem aproximadamente 45,0m de comprimento até a chegada na caixa espiral.

Cada conduto está ancorado apenas em dois pontos: na saída da câmara de carga e na chegada da casa de força, onde a própria fundação da turbina, devidamente adaptada, constitui o maciço de ancoragem.

Para facilitar a dilatação linear de cada conduto, existe uma junta de dilatação, cuja função é facilitada por meio de apoios cilíndricos de aço os quais giram sobre as placas de apoio do mesmo metal, engastadas em prismas de concreto, colocados a distâncias convenientes.



FIGURA 8: Tubulação forçada.

2.7 CASA DE FORÇA

A casa de força é semi-abrigada, constituída de uma estrutura de concreto, localizada junto à margem esquerda do rio. A capacidade instalada é de 52MW. O comprimento é de 65,5m, sua largura é de 24,55m e sua altura é de 18m. A queda útil máxima é de 27,10m e a mínima de 21,20m.

Internamente o edifício é dividido em três elevações principais sendo: galeria de acesso ao tubo de sucção e drenagem na elevação 793,0m, sala das turbinas na elevação 800,71m e o pavimento superior a montante das unidades na elevação 805,5m.

O prédio, no seu pavimento superior, é de arquitetura simples, com fachada principal revestida com litocerâmica e coberto com calhetões de fibro-cimento sobre laje de concreto. Antigamente, existia também instalada nesta usina, uma pequena unidade geradora (grupo de serviço) que foi transferida para a Usina de Pai Joaquim.



FIGURA 9: Casa de força.

2.6 GERADOR

GERADOR

GERADORES 1, 2, 3 e 4	
Fabricante	Westinghouse E.C.
Tipo	Eixo vertical
Potência Nominal	12,5 MW (G1 e G2)
	14,0 MW (G3)
	13,0 MW (G4)
Fator de Potência	0,9
Tensão Nominal	6,9 kV
Corrente nominal	1.130 A (G1 e G2)
	1.230 A (G3 e G4)
Velocidade	225 rpm
Número de pólos	32
Momento de inércia	436,61 tm ²



FIGURA 10: Dados dos geradores e vista externa de um deles.

2.7 TURBINA

TURBINA

TURBINA 1 e 2	
Fabricante	S. Morgan Smith CO.
Tipo	Kaplan
Potência	12,68 MW
Queda	25 m
Rotação	225 rpm
Vazão Máxima	53 m ³ /s



TURBINA 3 e 4	
Fabricante	S. Morgan Smith CO.
Tipo	Hélice
Potência	14,92 MW
Queda	25 m
Rotação	225 rpm
Vazão Máxima	63 m ³ /s



FIGURA 11: Dados e vista das turbinas.

2.8 CANAL DE FUGA

A vazão turbinada é restituída pelo canal de fuga, cuja saída se encontra na elevação 805,5m, ao rio Grande. O nível normal do canal de fuga é 855,00m.



FIGURA 12: Canal de fuga e vista parcial dos geradores.

2.9 SUBESTAÇÃO

A subestação é do tipo externa, com barra simples e está localizada à esquerda da casa de força.

O pátio é em dois níveis, com drenagem superficial e revestido com brita. O seu perímetro é cercado por mureta de concreto com painéis metálicos de tela galvanizada.

Os bancos de transformadores elevadores estão no nível mais baixo – cota 805,5m e os barramentos e outros equipamentos no plano mais alto – cota 810,5m.

Da subestação partem as seguintes linhas de transmissão: duas para São João Del Rei – 138kv, duas para Camargos – 138kv, uma para Lavras – 138kv, uma para Minduri – 138kv e as linhas de 13,8kv que alimentam a vila de operadores e as usinas de Camargos e Itutinga.

TRANSFORMADOR

BANCO DE TRANSFORMADORES ELEVADORES		
Fabricante	SIEMENS	
Potência	2,113 MVA	
Tensão	4,16 / 35,5 KV	
	T21 e T22	T23 e T22
Impedância	10,70%	11,40%
Corrente	758 A	725 A
Volume óleo	14.638 litros	11.696 litros
Peso total	28.026 kg	25.350 kg

AUTOTRANSFORMADOR T25	
Fabricante	ASEA
Potência	6,67/13,3 MVA
Tensão	138/69/13,8 KV
Impedância	11,69%
Volume óleo	12.200 litros
Peso total	31.500 kg



FIGURA 13: Dados e vistas dos transformadores.

3. HISTÓRICO

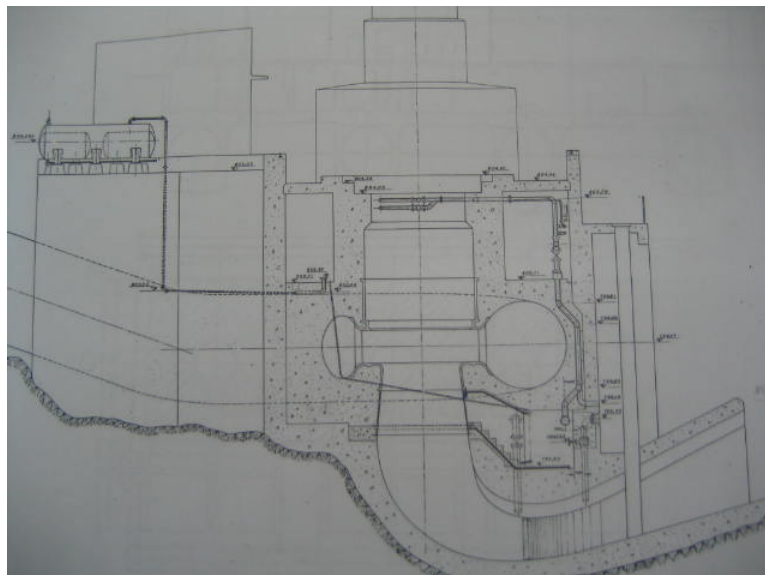


FIGURA 14: Corte da unidade geradora.

O limite de horas de funcionamento teórico para manutenção nos tubos de sucção das unidades geradoras da usina de Itutinga é de 30.000 horas o que corresponde a 3,4 anos.

As últimas paradas ocorreram em: Unidade 1, 04/08/2005; unidade 2, 24/05/2004; unidade 3, 18/10/2004; unidade 4, 23/06/2006.

Na realidade, como as unidades geradoras param, com mais frequência, para intervenções de naturezas eletromecânicas, as horas em atividade para o último ciclo foram: Unidade 1, 6.200 horas; unidade 2, 17.170 horas; unidade 3, 11.264 horas e unidade 4, 489 horas. Um dos motivos do número reduzido de horas na unidade 4 é em função de que ela trabalha grande parte do tempo como síncrono, consumindo energia e gerando reativos para o sistema.

4. INSPEÇÃO NO TUBO DE SUÇÃO

A inspeção no tubo de sucção começa pela montagem dos andaimes, que é realizada pela equipe de manutenção mecânica da usina e segue com a parte burocrática que é o preenchimento dos formulários de Permissão para Trabalho (PT) e Análise de Risco que são entregues à operação da usina para acompanhamento e análise respectivamente.

Chegando ao interior do tubo de sucção, começa-se com uma inspeção visual para verificar possíveis trincas e/ou fissuras e retorno de água por poros na chaparia. Em seguida utiliza-se martelo de ponta redonda para fazer o “bate-choco”.

Divide-se a área da sucção em quatro partes iguais para facilitar o mapeamento das cavidades e segue-se com batidas na mesma intensidade, sentindo os ocos entre o concreto e a chaparia.



FIGURA 15: “Bate-choco” na chaparia da sucção.

5. MAPEAMENTO DOS CHOCOS

Os mecanismos de deterioração do concreto podem ser físicos, químicos ou biológicos, sendo que sua velocidade e intensidade dependem principalmente da estrutura de seus poros e microfissuras, do grau de permeabilidade do concreto, do microclima da superfície (umidade ambiente, gases corrosivos presentes na atmosfera, etc.), da qualidade dos cobrimentos, do posicionamento das armaduras, etc.

O mapeamento é realizado com giz, delimitando-se todas as áreas ocas nos quatro quartos. Em seguida conferem-se as áreas marcadas calculando o volume total de material que será gasto na injeção.



FIGURA 16: Área mapeada.

6. EXECUÇÃO DOS FUROS PARA INJEÇÃO

Os furos de 16mm são executados por uma outra gerência da CEMIG que é acionada logo após o mapeamento dos chocos. O posicionamento é definido em função do som escutado e são feitos dois em cada área. Um bem perto da base para injeção e outro na parte superior da figura para drenagem. Quando existem poros na chaparia, estes são selados nesta etapa.



FIGURA 17: Detalhe do furo de 16mm.

7. EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS

7.1 FIXAÇÃO DOS BICOS

É feito um lixamento da chaparia para limpeza e facilitar a aderência dos bicos que são fixados com massa plástica e ficam na mesma posição por 24 horas. Usa-se um extensor metálico para não danificar a ponta do bico.



FIGURA 18: Bico sendo fixado no furo de 16mm.

7.2 PREPARO DA MISTURA

A relação água/microcimento (Centricrete FB, fabricado pela MC-Bauchemie Brasil) deve ser de 0,4. Além disto, o aditivo (Centricrete aditivo do mesmo fabricante) é colocado na proporção de 2% (partes em peso) em relação ao componente pó. O pó deve ser adicionado à água e misturado até a obtenção de um produto homogêneo. Recomenda-se o uso de misturadores mecânicos e a mistura deve ser realizada por pelo menos 10 minutos.



FIGURA 19: Misturador mecânico.

7.3 INJEÇÃO DO MICROIMENTO

O produto deve ser injetado com uma pressão máxima de 10 bar. Em Itutinga foi injetado a 4,5 bar e observado o tempo de trabalhabilidade que era de 30 minutos. Depois de misturado o produto peneirado foi constantemente agitado para evitar a decantação e facilitar a passagem da mistura pela bomba de injeção. Antes da injeção foi injetada água para fazer a limpeza e o umedecimento do substrato. O excesso de água foi retirado injetando-se ar sob pressão. O tamponamento dos furos, após a injeção, foi feito com cunhas de madeira.



FIGURA 20: Detalhe da máquina à direita.

8. CONCLUSÕES

Realizou-se outro “bate-choco” 24 horas depois da execução da injeção para confirmar o completo preenchimento;

Os resultados foram dentro do esperado alcançando um preenchimento total dos vazios;

O serviço foi executado conforme estabelecido em especificação técnica;

O material utilizado já havia sido aplicado em outra unidade com sucesso.

9. ANÁLISE CRÍTICA DA TAREFA

Os microcimentos são alcalinos, portanto a pele e os olhos devem ser protegidos durante o manuseio do produto. Todos os trabalhos foram executados com o uso de roupa protetora e equipamentos de proteção individuais necessários à execução da tarefa tais como botina com solado de segurança, capacete, protetor auricular, luvas e óculos. Observou-se todas as normas de segurança não sendo relatado nenhum incidente.



FIGURA 21: Uso de Equipamentos de proteção individual.

10. PALAVRAS-CHAVE

Sucção, microcimento, injeção, unidade geradora.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Relatórios internos da CEMIG e arquivados na GA/SM, Gerência de Segurança de Barragens e Manutenção Civil, listados a seguir:

- [1] PEREIRA, R.G., MENDES, D.M., ROCHA, O.D. (1986) - Inventário Civil – Usina Hidrelétrica de Itutinga, Relatório Final – Belo Horizonte, MG.

- [2] VIERIA, E.C.F., WERNECK, M.P. (2003) – Avaliação do comportamento das estruturas civis – Belo Horizonte, MG.
- [3] WERNECK, M.P. (2006) - Relatório Final de Obras – Usina de Itutinga – Injeção de Microcimento na sucção da Unidade 4 – Belo Horizonte, MG.