

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Marcelino Blacene Sella

**REÚSO DE ÁGUAS CINZAS: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE
DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA EM RESIDÊNCIAS**

Porto Alegre
julho 2011

MARCELINO BLACENE SELLA

**REÚSO DE ÁGUAS CINZAS: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE
DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA EM RESIDÊNCIAS**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Gino Roberto Gehling

Porto Alegre
julho 2011

MARCELINO BLACENE SELLA

**REÚSO DE ÁGUAS CINZAS: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE
DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA EM RESIDÊNCIAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2011

Prof. Gino Roberto Gehling
Dr. pela Universitat Politecnica de Catalunya
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Carmen Maria Barros de Castro (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Luiz Augusto dos Santos Ercole (UFRGS)
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Gino Roberto Gehling (UFRGS)
Dr. pela Universitat Politecnica de Catalunya

Dedico este trabalho à minha família, meus pais Edilson e Ivone, e aos meus irmãos Francisco e Alessandra, que sempre estiveram ao meu lado, especialmente durante o período do meu Curso de Graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Gino Roberto Gehling, orientador deste trabalho, por todo o tempo e atenção dedicados.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt pelo apoio, cobrança, disponibilidade e pelos ensinamentos repassados.

Agradeço aos meus pais Edilson e Ivone pelo apoio, dedicação e pela oportunidade de formação.

Agradeço aos meus irmãos, Francisco e Alessandra, pela paciência e compreensão durante toda a Graduação.

Agradeço aos meus amigos, por todo apoio e companheirismo durante a Graduação.

A simplicidade é o último grau de sofisticação.

Leonardo da Vinci

RESUMO

SELLA, M, B. **Reúso de águas cinzas:** avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências. 2011. 72 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Atualmente o aumento da demanda e a diminuição da oferta de água com qualidade é um dos problemas que vêm atingindo, principalmente, as grandes concentrações urbanas. O aumento da poluição dos mananciais e o crescimento populacional desordenado são alguns dos itens que contribuem para esse panorama. Nesse contexto aparece a necessidade de estímulos a práticas, programas e políticas que auxiliem na conservação da água. A promoção de atividades conservacionistas como desenvolvimento de fontes alternativas para abastecimento de água, o reúso de águas residuárias, a recarga artificial de aquíferos, o aproveitamento de águas da chuva, entre outros, são algumas alternativas. Quanto ao reúso de águas residuárias, existe a possibilidade de utilização das águas cinzas. Dentro dessa perspectiva, enquadra-se esse trabalho, que apresentará um estudo sobre a viabilidade da implantação de um sistema para a reutilização das águas cinzas provenientes de chuveiros, máquinas de lavar roupas e lavatórios, em descarga de bacias sanitárias, lavagem de calçadas e irrigação de jardins. Essa análise será feita com base em uma edificação hipotética, de dois pavimentos, com dez pessoas como usuários, na cidade de Porto Alegre. Foram definidos os sistemas de coleta, de distribuição e de tratamento, e com isso, foi realizada uma estimativa de custos de implantação e de manutenção do sistema. Por fim, foi determinado o período de retorno, de 11,91 anos, para o capital investido no sistema de reúso das águas cinzas nessa residência.

Palavras-chave: águas cinzas; período de retorno; reúso de água;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama das etapas de pesquisa.....	16
Figura 2: formas potenciais de reúso de água	19
Figura 3: exemplo de projeto de separação de esgotos	22
Figura 4: exemplo de reúso de águas cinzas	24
Figura 5: esquema do sistema de reúso.....	25
Figura 6: fluxograma do sistema de reúso.....	26
Figura 7: produção e demanda de águas cinzas.....	35
Figura 8: corte longitudinal de um tanque séptico.....	39
Figura 9: filtro anaeróbio	40
Figura 10: reator anaeróbio e filtro anaeróbio.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: classificação e reúsos previstos	21
Quadro 2: características de águas cinzas de diversas fontes.....	29
Quadro 3:sólidos suspensos e compostos de nitrogênio.....	30
Quadro 4: compostos de enxofre, de fósforo, DBO e DQO.....	30
Quadro 5: parâmetros microbiológicos.....	31
Quadro 6: distribuição do consumo de água em edificações.....	34
Quadro 7: faixas prováveis de remoção de poluentes.....	37
Quadro 8: parâmetros de qualidade e limites para reúso em descargas sanitárias.....	43
Quadro 9: estimativa de consumo mensal interno de água.....	45
Quadro 10: estimativa de consumo mensal externo de água.....	45
Quadro 11: oferta de água cinza na residência considerada.....	46
Quadro 12: estimativa de consumo de água de reúso na residência.....	46
Quadro 13: estimativa da demanda crítica mensal na residência.....	47
Quadro 14: estimativa da economia de água na residência.....	48
Quadro 15: dimensionamento dos ramais de descarga.....	49
Quadro 16: dimensionamento das caixas sifonadas.....	50
Quadro 17: dimensionamento dos tubos de queda.....	50
Quadro 18: dimensionamento dos coletores de água cinza.....	51
Quadro 19: comprimento equivalente de conexões.....	54
Quadro 20: dimensões do conjunto reator e filtro, em metros.....	56
Quadro 21: remoção de sólidos e compostos nitrogenados no sistema de tratamento proposto.....	58
Quadro 22: remoção de fósforo, DBO, DQO e compostos de enxofre no sistema de tratamento proposto.....	58
Quadro 23: remoção de coliformes no sistema de tratamento proposto.....	59
Quadro 24: custos do sistema de coleta e distribuição das águas cinzas tratadas.....	61
Quadro 25: custos do sistema de tratamento proposto.....	62
Quadro 26: custos de manutenção para o sistema proposto.....	64
Quadro 27: economia de água em reais.....	65
Quadro 28: comparação de parâmetros de controle para o reúso de água.....	67

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

BS: bacia sanitária

CAC: coletor de água cinza

CT: coliformes totais

DBO: demanda bioquímica de oxigênio

DEC: decantador secundário

DMAE: Departamento Municipal de Água e Esgoto

DN: diâmetro nominal

DQO: demanda química de oxigênio

EACB: elevatória de água cinza bruta

EACT: elevatória de água cinza tratada

ETAC: estação de tratamento de água cinza

FBAS: filtro biológico aerado submerso

FIESP: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

FT: filtro terciário

MO: matéria orgânica

PNCDA: Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água

Prosab: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

RAC: reator anaeróbio compartimentado

RSAP: reservatório superior de água potável

RSP: reservatório superior de água potável

RSR: reservatório superior de água de reúso

Sinapi: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SNF: composto de enxofre, de nitrogênio e de fósforo

TJ: torneira de jardim

TQAC: tubo de queda de água cinza

UFES: Universidade Federal do Espírito Santo

UHC: Unidades Hunter de Contribuição

USP: Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 MÉTODO DE PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	14
2.2.1 Objetivo principal	14
2.2.2 Objetivos secundários	14
2.3 HIPÓTESE.....	15
2.4 PRESSUPOSTO.....	15
2.5 DELIMITAÇÕES	15
2.6 LIMITAÇÕES	15
2.7 DELINEAMENTO	16
3 REÚSO DE ÁGUA	18
3.1 TIPOS DE REÚSO	18
3.2 REÚSO DE ÁGUAS CINZAS.....	21
3.2.1 O sistema de reúso	23
3.2.1.1 O sistema de distribuição.....	26
3.2.1.2 O sistema de coleta.....	27
3.2.2 Aspectos qualitativos das águas cinzas	27
3.2.2.1 Características físicas	31
3.2.2.2 Características químicas	31
3.2.2.3 Características microbiológicas	33
3.2.3 Aspectos quantitativos das águas cinzas	33
3.3 TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS.....	35
3.3.1 Tanque séptico	38
3.3.2 Filtro anaeróbio	39
3.3.3 Filtro de areia	40
3.3.4 Desinfecção	41
3.4 AVALIAÇÃO DO PERÍODO DE RETORNO	42
3.5 NORMAS, RECOMENDAÇÕES E PADRÕES VIGENTES	42
4 EDIFICAÇÃO ESTUDADA	44
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	44
4.2 ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ÁGUA DA EDIFICAÇÃO.....	44
4.2.1 Estimativa de oferta de água cinza	45

4.2.2 Estimativa de consumo de água de reúso.....	46
4.2.3 Estimativa da economia de água.....	48
5 PROJETO DO SISTEMA DE REÚSO.....	49
5.1 PROJETO DO SISTEMA DE COLETA DAS ÁGUAS CINZAS.....	49
5.2 PROJETO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS TRATADAS.....	52
5.3 PROJETO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZAS.....	54
6 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS.....	60
6.1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO.....	60
6.2 CUSTOS DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO.....	63
6.3 DETERMINAÇÃO DO PERÍODO DE RETORNO.....	64
7 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	66
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE A.....	73
APÊNDICE B.....	76
APÊNDICE C.....	84

1 INTRODUÇÃO

Observa-se uma crescente importância do tema **reúso de águas cinzas** no contexto das construções sustentáveis. A busca por soluções tecnológicas que visam um melhor aproveitamento dos recursos naturais, maior conforto e economia nas construções, não para de aumentar, objetivando sempre atingir o mínimo impacto e a máxima integração com o ambiente. Em especial, a preocupação com o aumento da demanda de água tratada, tem feito com que o reúso da água ganhe a cada dia maior destaque.

É de fundamental relevância o desenvolvimento de tecnologias e soluções alternativas, uma vez que a o aumento populacional faz com que a demanda pelos recursos hídricos aumente dia após dia. Mesmo que a água seja um recurso renovável, o uso irresponsável pode comprometer a sua disponibilidade quantitativa e qualitativa. Nesse contexto, o incentivo ao uso racional da água é uma forma de prevenir sua escassez.

Basicamente, a idéia deste trabalho será analisar a viabilidade econômica e técnica da implantação de um sistema que capte as águas cinzas, águas utilizadas em lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar roupas, para o reaproveitamento em situações menos nobres, como irrigação de jardins, lavagem de calçadas e descargas de bacias sanitárias. Analisar-se-á o sistema necessário para o sucesso da idéia, através de estimativas do consumo de água, potável e de reúso, e dos investimentos em materiais e equipamentos, viabilizando assim a determinação do período de retorno para o investimento inicial.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: relacionando a demanda de água, os custos de implantação e manutenção e a economia proporcionada pelo sistema de reutilização de águas cinzas, qual será o período de retorno do capital investido para a edificação estudada?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a determinação do período de retorno do capital investido em um sistema de reutilização de águas cinzas para uma edificação unifamiliar em Porto Alegre.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) desenvolvimento de um projeto de reúso de águas cinzas;
- b) determinação da demanda e da disponibilidade de água de reúso;
- c) verificação dos custos de implantação e de manutenção desse sistema.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que a implantação de um sistema para reutilização de águas cinzas para a edificação estudada em Porto Alegre tem período de retorno de 10 anos.

2.4 PRESSUPOSTO

Como pressupostos da pesquisa, admite-se que:

- a) as composições de preços consultadas no Sinapi são válidas e corretas;
- b) as informações técnicas e procedimentos de dimensionamentos da NBR 7.229/93, da NBR 13.969/97, da NBR 5.626/98 e da NBR 8.160/99 são adequadas para as instalações propostas neste estudo.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho está delimitado a uma edificação residencial com dois pavimentos unifamiliar em fase de projeto, a ser ocupada por dez pessoas, na cidade de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) o destino da água reutilizada, que é usada apenas para descargas de bacias sanitárias, irrigação de jardins e lavagem de calçadas;
- b) o caráter teórico do estudo desenvolvido, que está baseado em estimativas de estudos semelhantes já realizados e em normas técnicas.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, representadas na figura 1, e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) projeto do sistema;
- c) dimensionamento do sistema;
- d) avaliação dos custos de implantação e manutenção;
- e) crítica dos resultados;
- f) considerações finais.

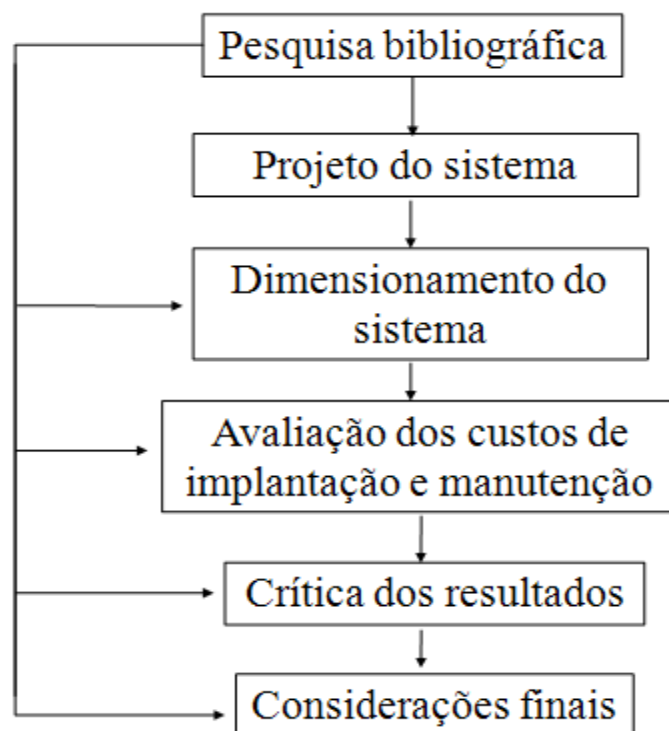


Figura 1: diagrama das etapas de pesquisa

Realizou-se a **pesquisa bibliográfica** para um maior entendimento sobre o assunto e conhecer as técnicas e materiais mais utilizados em sistemas para reutilização de águas cinzas. De posse das informações obtidas, foi possível realizar o **projeto das instalações** que fazem parte do processo de reutilização, necessário para a estimativa de custos. Com base em normas em

técnicas e informações técnicas de fabricantes de materiais pertinentes ao processo, foi realizado o **dimensionamento do sistema** para seu correto funcionamento. Na etapa de **avaliação dos custos de implantação e manutenção**, foi realizada uma estimativa de custos do projeto sugerido. Nessa etapa também foi avaliada a economia que o sistema garante ao usuário. Com os resultados alcançados, a avaliação do processo de reutilização de águas cinzas tornou-se viável e foi realizada a **crítica dos resultados**.

Por fim, a questão de pesquisa foi respondida, determinando-se o período de retorno do capital investido e verificando-se a hipótese . **Considerações finais** acerca dos benefícios e cuidados para utilização do processo de reutilização de águas cinzas em residências são expostas.

3 REÚSO DE ÁGUA

Segundo Bazzarella (2005, p. 25), a água é um recurso natural renovável, graças ao ciclo hidrológico, mas de volume finito. Para Lima (2005, p. 89), o problema da escassez de água no Planeta pode ser justificado por dois fatores: a gestão deficiente combinada com a má distribuição dos recursos hídricos, sendo o primeiro fator devido ao homem e o segundo à natureza.

Por definição, “Reúso da água é a reutilização da água, que, após sofrer tratamento adequado, destina-se a diferentes propósitos, com o objetivo de se preservarem os recursos hídricos existentes e garantir a sustentabilidade.” (FERNANDES et al., 2006, p. 20). É destacado, ainda, que o conceito de reúso planejado da água já existe e é aplicado com sucesso em vários países, e que a racionalização e a reutilização dos recursos hídricos pode dar uma contribuição significativa. Ainda sobre esse item, tem-se o conceito de substituição de fontes, que segundo Hespanhol (2003, p. 412), apresenta-se como uma opção muito boa para atender demandas que não necessitam de água de primeira qualidade.

São consideradas fontes alternativas de água, aquelas que: não sofrem cobrança, não oferecem água com a mesma qualidade que as fornecidas por concessionárias e não estão sob concessões dos órgãos públicos. Fontes como poços artesianos ou captação direta dos corpos d’água requerem autorizações legais. Com isso, no âmbito urbano, a escolha da fonte alternativa deve priorizar o menor impacto ambiental ao meio ambiente, tentando fugir de intervenções diretas nos mananciais e de ofertas de água feitas pelos órgãos públicos.

3.1 TIPOS DE REÚSO

Sobre o item tipos de reúso, Hespanhol (2003, p. 413) faz algumas observações acerca disso, ou seja, “As possibilidades e formas potenciais de reúso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais.”. O autor ainda avalia que fatores relacionados ao processo de reúso, como os custos de implantação, de manutenção, de

operação, a exigência de tratamento, a qualidade da água e também parâmetros de segurança que venham a ser adotados, dependerão e estão intimamente ligados ao destino que se dará a água reutilizada. Como sugestões de reutilização de efluentes é apresentada a figura 2.

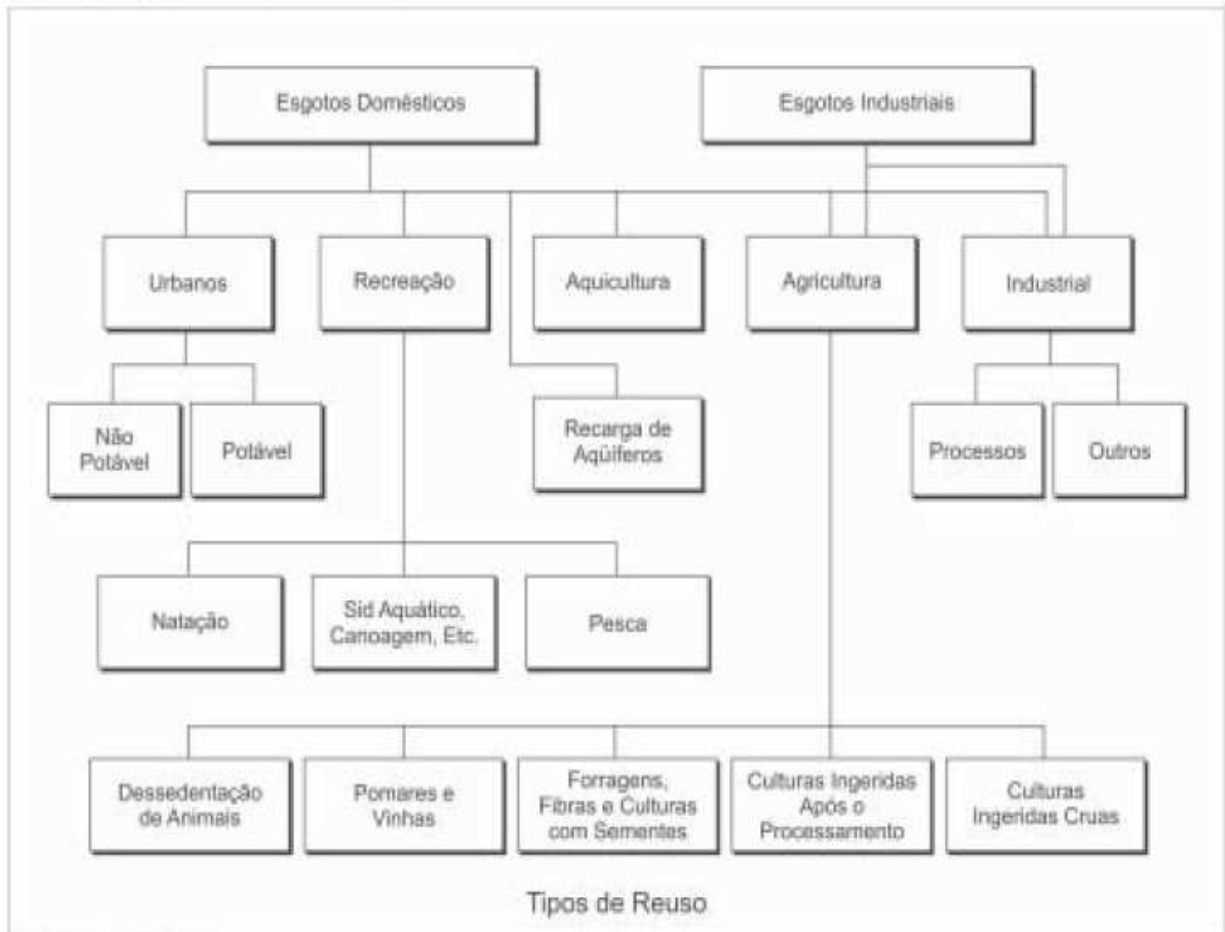


Figura 2: formas potenciais de reúso de água
(HESPANHOL¹, 1997 apud HESPANHOL, 2003, p. 414)

De acordo com Westerhoff² (1984 apud MAY; HESPANHOL, 2006, p. 2), os tipos de reúso das águas podem ser classificados em:

- a) reúso indireto não planejado: ocorre quando a água já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada;

¹ HESPANHOL, I. Esgotos como Recurso Hídrico: parte I. **Engenharia**: revista do Instituto de Engenharia, São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, v. 55, n. 523, p. 45-58, 1997.

² WESTERHOFF, G. P. Un update of research needs for water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3., 1984, San Diego, California. **Proceedings**...p. 1731-1742.

- b) reúso planejado: ocorre quando o reúso é resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta ou indireta;
- c) reúso direto planejado: ocorre quando os efluentes, após devidamente tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local de reúso;
- d) reúso indireto planejado: ocorre quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são despejados de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico.

Dentro dos esgotos domésticos urbanos, usos para fins não potáveis devem prevalecer, já que nesse caso as necessidades de qualidade da água são mais flexíveis. Hespanhol (2003, p. 415) destaca as seguintes possibilidades para os efluentes tratados:

- a) irrigação de vegetações;
- b) reservas para sistemas de proteção contra incêndios;
- c) descarga de vasos sanitários em edifícios públicos, comerciais e industriais;
- d) emprego na construção civil;
- e) lavagem de automóveis e trens;
- f) peças decorativas, como chafarizes, fontes, quedas d'água, espelhos d'água, etc.

A NBR 13.969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 21) manifesta que:

No caso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens etc.

O quadro 1 apresenta a classificação e os reúsos previstos pela NBR 13.969/97.

Classe	Uso previsto	Turbidez	Coliformes fecais (NMP/100 mL)	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	pH	Cloro residual (mg/L)
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem contato direto do usuário com a água	Inferior a 5	Inferior a 200	Inferior a 200	Entre 6 e 8	Entre 0,5 e 1,5
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	Inferior a 5	Inferior a 500	-	-	Superior a 0,5
Classe 3	Reúso em descargas dos vasos sanitários	Inferior a 10	Inferior a 500	-	-	-
Classe 4	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastos para gados e outros cultivos	-	Inferior a 500	-	-	-

Quadro 1: classificação e reúso previstos (adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 22)

3.2 REÚSO DE ÁGUAS CINZAS

De acordo com o Manual da FIESP (BRASIL et al., 2005, p. 58), “Água cinza para reúso é o efluente doméstico que não possui contribuição da bacia sanitária e pia de cozinha, ou seja, os efluentes gerados pelo uso de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas.”. A figura 3 exemplifica um projeto para captação e separação dos efluentes de uma edificação.

Bazzarella (2005, p. 36) expõe o conceito de saneamento ecológico, que visa a separação dos efluentes de diferentes aparelhos, com a intenção de minimizar ou reutilizar esse material. A autora ainda cita Otterpohl³ (2001 apud BAZZARELLA, 2005, p. 37), de forma a classificar as águas cinzas como sendo os efluentes de lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar roupas

³ OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey: the new colors of sanitation. **Water** 21. v. 5, p. 37-41, Oct. 2001.

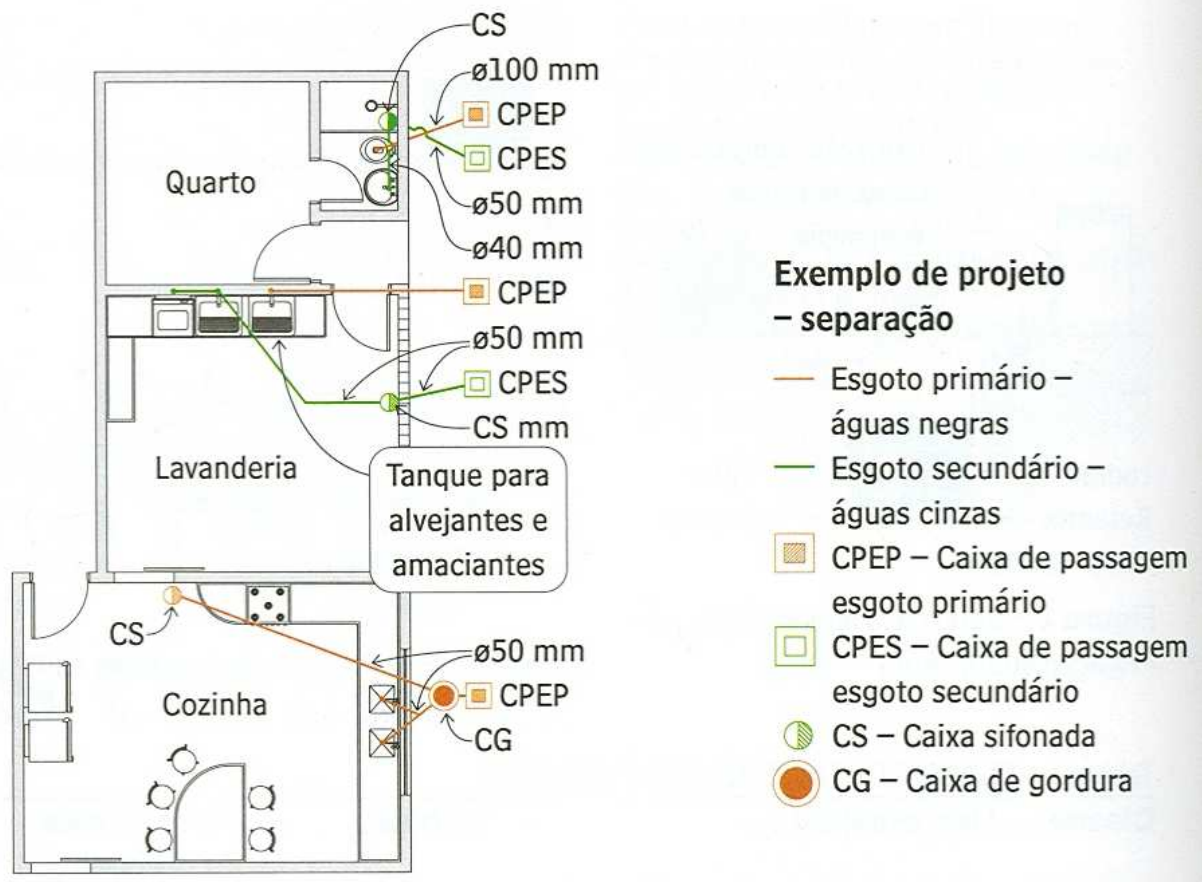


Figura 3: exemplo de projeto de separação de esgotos (VIGGIANO, 2005, p. 78)

Quanto à implantação do sistema vale destacar que (FERNANDES et al., 2006, p. 21):

O reúso da água em edificações é perfeitamente possível, desde que seja projetado para este fim, respeitando todas as diretrizes a serem analisadas, ou seja, evitar que a água reutilizada seja misturada com a água tratada e não permitir o uso da água reutilizada para consumo direto, preparação de alimentos e higiene pessoal.

A reutilização de águas cinzas tratadas em residências contribui reduzindo o consumo residencial de água potável, reduzindo também o volume de contaminantes do solo e dos corpos d'água. Em alguns casos, principalmente em edificações de grande porte, a prática do reúso apresenta-se como uma alternativa mais atrativa, em termos econômicos, do que a utilização de águas pluviais (ALVES et al., 2009, p. 274).

3.2.1 O sistema de reúso

Sobre o sistema de reúso (BRASIL et al., 2005, p, 50), alguns cuidados básicos merecem destaque:

- a) o sistema hidráulico deve ser identificado e totalmente independente do sistema de abastecimento de água potável;
- b) todos os pontos de acesso à água de reúso devem ter acesso restrito, e devem ser identificados adequadamente;
- c) as pessoas que trabalharem em atividades inerentes ao sistema de reúso devem receber instruções;
- d) os reservatórios de armazenamento devem ser específicos.

Basicamente, o sistema necessário para o aproveitamento desses efluentes constitui-se, segundo May e Hespanhol (2006, p. 4), de:

- a) coletores: um sistema de condutores, tanto verticais como horizontais, que possibilite o transporte do efluente do chuveiro, do lavatório e da máquina de lavar, até o sistema de armazenamento;
- b) armazenamento: composto por um ou mais reservatórios que irão armazenar o conteúdo proveniente dos coletores;
- c) tratamento: esse dependerá da qualidade que a água coletada deverá receber, para atender às necessidades do seu destino.

A figura 4 ilustra, em corte, o sistema de reúso de águas cinzas.

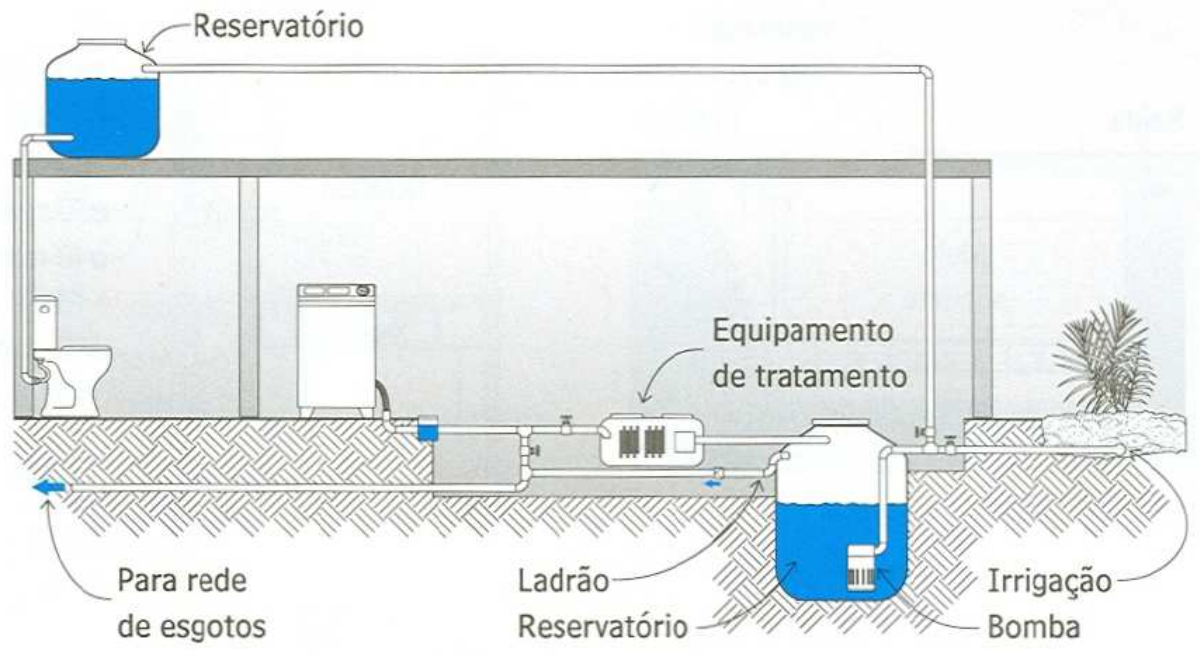


Figura 4: exemplo de reúso de águas cinzas (VIGGIANO, 2005, p. 77)

Segundo Brasil et al. (2005, p. 73-74), o sistema de coleta e uso de águas cinzas está associado aos seguintes itens:

- a) verificação dos pontos de coleta e pontos de uso;
- b) levantamento das vazões disponíveis;
- c) dimensionamento do sistema que captará e transportará os efluentes;
- d) dimensionamento do reservatório que abrigará as águas;
- e) definição do tratamento que será necessário, relacionado ao uso que a água terá;
- f) tratamento da água;
- g) dimensionamento do sistema de distribuição do efluente já tratado.

O esquema básico do sistema de reúso de águas cinzas é representado na figura 5.



Figura 5: esquema do sistema de reúso (BRASIL et al., 2005, p. 74)

Ainda referente ao processo de reúso de água, Bazzarella (2005, p. 77-78), descreve o sistema implantado experimentalmente na UFES (Universidade Federal do Espírito Santo):

- a) o RSP (reservatório superior de água potável) recebe água potável, a armazena e depois atende a lavatórios e chuveiros;
- b) o efluente proveniente desses aparelhos é então encaminhado à EACB (elevatória de água cinza bruta);
- c) a água cinza é bombeada para a estação de tratamento, no primeiro momento ela passa pelo RAC (reator anaeróbico compartimentado), onde acontecem reações de estabilização de MO (matéria orgânica) e sedimentação; ainda no RAC, ocorre a digestão anaeróbia do lodo aeróbio e do lodo terciário que são recirculados, do decantador e do filtro terciário respectivamente;
- d) segue para o FBAS (filtro biológico aerado submerso);
- e) passa pelo DEC (decantador secundário);
- f) em sequência pelo FT (filtro terciário);
- g) saída da estação de tratamento, a água cinza vai para a desinfecção, que ocorria dentro da EACT (elevatória de água cinza tratada);
- h) agora clorada, a água pronta para ser reutilizada é bombeada para o RSR (reservatório superior de água de reúso), e daí distribuída para os vasos sanitários e para os mictórios.

O diagrama desse sistema aparece na figura 6.

- c) estima-se a vazão;
- d) determina-se o diâmetro do tubo;
- e) calcula-se a velocidade da água;
- f) calcula-se a perda de carga unitária;
- g) são verificadas as diferenças de cota, definindo sinal positivo para trechos de descida e sinal negativo para trechos de subida;
- h) avalia-se a pressão disponível;
- i) definem-se os comprimentos reais e equivalentes da tubulação;
- j) calcula-se a perda de carga total nos trechos;
- k) determina-se a pressão dinâmica disponível nos pontos de consumo.

3.2.1.2 O sistema de coleta

Assim como no sistema de distribuição, o sistema de coleta das águas cinzas deve obedecer às recomendações de uma norma, nesse caso deve atender à NBR 8.160. Essa estabelece exigências e recomendações referentes ao projeto, execução e manutenção dos sistemas de esgoto, garantindo assim a higiene, a segurança e o conforto aos usuários (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999, p. 1).

O dimensionamento dos componentes do sistema de esgoto deve ser realizado pelo método hidráulico ou pelo método das Unidades Hunter de Contribuição (UHC) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999, p. 15).

3.2.2 Aspectos qualitativos das águas cinzas

Um aspecto de extrema importância para que o sistema de reutilização de efluentes tenha sucesso, é a avaliação da qualidade da água cinza. Nesse sentido, tem-se que (ERIKSSON⁴ et

⁴ ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n.1, p. 85-104, 2002.

al., 2002 apud ALVES et al., 2009, p. 275; NEW SOUTH WALES⁵, 2000 apud ALVES et al., 2009, p. 274):

A composição das águas cinzas dependerá das fontes escolhidas, da proporção de mistura entre as fontes utilizadas e da forma com que a água é utilizada em cada local. Tem influência direta de características regionais e preceitos culturais dos usuários como: a localidade e ocupação da residência, a faixa etária dos usuários, o estilo de vida, a classe social, o uso de produtos de limpeza, medicamentos e cosméticos, o horário de uso da água, etc.

Os Manuais da FIESP (BRASIL et al., 2005, p. 51) e do PROSAB (ALVES et al., 2009, p. 223) esclarecem as principais características esperadas para a reutilização de água em bacias sanitárias:

- a) boa condição organoléptica, ser isenta de mau cheiro e ser cristalina e incolor;
- b) não deve ser abrasiva;
- c) não propiciar manchas às superfícies com as quais mantém contato;
- d) não deve agredir as características dos metais sanitários;
- e) não pode favorecer contaminações, nem bacteriológicas, nem infecciosas e nem virais;
- f) ser sanitariamente segura em casos de respingos no usuário;
- g) não provocar incrustações nas tubulações, nas louças e nas peças sanitárias;
- h) não originar espumas durante a descarga;
- i) não permitir a produção de biofilme na louça sanitária, em curtos períodos de tempo, menos de 48 horas.

O quadro 2 exemplifica características físicas, químicas e orgânicas de algumas fontes em residências.

⁵ NEW SOUTH WALES. New South Wales Department of Health. **Greywater reuse in sewerred single domestic premises**. Sidney, Austrália, 2000.

Tipos de água Cinza											
Parâmetros	Siegrist et al. (1976)*			Christova-Boal et al. (1998)			Almeida et al. (1999)				
	Chuveiro/ Banheira	Pia de Cozinha	Lava Louças	Lava Roupas	Enxague de roupa	Banheiro	Lavanderia	Banheira	Lavatório	Chuveiro	Pia de Cozinha
Físicos	mg/l exceto onde indicado										
Temperatura (°C)	29	27	38	32	28						
Turbidez (NTU)						60 - 240	50 - 210				
ST	250	2410	1500	1340	410						
SST	120	720	440	280	120	54	181	200	200	235	
Químicos	mg/l exceto onde indicado										
pH						6,4 - 8,1	9,3 - 10				
Condutividade (µS/cm)						82 - 250	190 - 1400				
Alcalinidade						24 - 43	83 - 200				
DBO5	170	1460	1040	380	150	76 - 200	48 - 290				
DQO						210	298	501	501	644	
Óleos e Graxas						37 - 78	8,0 - 35				
Cloreto						9,0 - 18	9,0 - 88				
Nutrientes	mg/l exceto onde indicado										
N-total	17	74	40	21	6						
NTK						4,6 - 20	1,0 - 40				
NH4-N	2	6	4,5	0,7	0,4	<0,1 - 15	<0,1 - 1,9	1,1	0,3	1,2	0,3
NO3-N	0,4	0,3	0,3	0,6	0,4			4,2	6	6,3	5,8
NO3 & NO2						<0	0,10 - 0,31				
P-total	2	74	68	57	21	0,11 - 1,8	0,062 - 42				
PO4-P	1	31	32	15	4			5,3	13,3	19,2	26
Microbiológicos	por 100 ml exceto onde indicado										
Coliformes Totais	70-8200					85 - 8,9x10 ⁵	190 - 1,5x10 ⁵	500-2,4 x 10 ⁵	2,3 x 10 ⁵	3,3 x 10 ⁵	
Coliformes Fecais	1-2500					9 - 1,6x10 ⁴	35 - 7,1x10 ³	170-3,3 x 10 ³	110 - 1,09x10 ³		
Criptosporidium						nd	nd	nd	nd		
Salmonela						nd	nd	nd	nd		

Quadro 2: características de águas cinzas de diversas fontes (ERIKSSON⁶ et al., 2002 apud BAZZARELLA, 2005, p. 40)

⁶ ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n.1, p. 85-104, 2002.

Para a composição das características das águas cinzas consideradas neste trabalho, foram formados os quadros a seguir baseados nas pesquisas de Bazzarella (2005). O quadro 3 apresenta valores médios de sólidos suspensos e compostos nitrogenados obtidos por Bazzarella para cada aparelho.

Local	SST (mg/L)	Nitrogênio Amoniacoal (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	NTK (mg/L)
Lavatório	146	0,5	0,03	0,57	5,6
Chuveiro	103	0,8	0,03	0,46	3,4
Máquina de lavar roupas	53	1,5	0,11	0,46	3,6

Quadro 3: sólidos suspensos e compostos de nitrogênio (adaptado de BAZZARELLA, 2005, p. 102-104)

Valores médios de fósforo total, de compostos de enxofre, DBO e DQO são expostos no quadro 4.

Local	Fósforo total (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)
Lavatório	0,6	265	653	0,11	112,4
Chuveiro	0,2	165	582	0,09	162,1
Máquina de lavar roupas	14,4	184	521	0,11	355,4

Quadro 4: compostos de enxofre, de fósforo, DBO e DQO (adaptado de BAZZARELLA, 2005, p. 106-110)

Os parâmetros coliformes fecais e E. Coli presentes nas águas cinzas são apresentados no quadro 5.

Local	CT (NMP/100 mL)	E. Coli (NMP/100mL)
Lavatório	1,35E+02	1,01E+01
Chuveiro	3,95E+04	2,63E+04
Máquina de lavar roupas	5,37E+00	2,73E+01

Quadro 5: parâmetros microbiológicos (adaptado de BAZZARELLA, 2005, p. 115)

3.2.2.1 Características físicas

Os itens de maior importância são a turbidez, a cor, a temperatura e a concentração de sólidos dissolvidos. A temperatura pode contribuir para o desenvolvimento de microorganismos, enquanto a turbidez e a concentração de sólidos podem dar informações importantes quanto a possíveis entupimentos nas tubulações que transportam os efluentes, visto que as partículas sólidas e colóides presentes poderiam gerar esse problema no sistema (BAZZARELLA, 2005, p. 40). Isso aconteceria porque os colóides poderiam se combinar com surfactantes, presentes em detergentes e sabões, estabilizando-se na fase sólida, devido à adsorção do surfactante na superfície do colóide (ERIKSSON⁷ et al., 2002 apud BAZZARELLA, 2005, p. 40).

3.2.2.2 Características químicas

As características químicas, segundo Eriksson⁸ et al. (2002 apud BAZZARELLA, 2005, p. 41-43), podem subdividir-se quanto ao composto presente, assim:

- a) compostos orgânicos;
- b) compostos nitrogenados e fosforados;
- c) compostos de enxofre;
- d) demais componentes.

⁷ ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n.1, p. 85-104, 2002.

⁸ opus citatua.

Os compostos orgânicos estão relacionados aos valores de DBO e de DQO (demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio, respectivamente) indicam o grau de depleção do oxigênio devido à degradação da MO (matéria orgânica) presente no esgoto. Ligado a isso está a produção de compostos de enxofre. Espera-se que os níveis de DQO das águas cinzas assemelhem-se aos níveis presentes em esgotos domésticos convencionais, enquanto que os valores de DBO tendem a ser menores (ERIKSSON⁹ et al., 2002 apud BAZZARELLA, 2005, p. 41).

Em algumas regiões o costume de urinar durante o banho existe, nessas condições, níveis mais altos de compostos nitrogenados são esperados. Já os compostos fosforados estão ligados ao uso de detergentes (ERIKSSON¹⁰ et al., 2002 apud BAZZARELLA, 2005, p. 41-42).

Quanto aos compostos de enxofre, cabe destacar a ocorrência de gás sulfídrico, gerador de maus odores. Esse gás pode aparecer, pois em ambientes anaeróbios, o sulfato é reduzido a sulfeto durante a oxidação de compostos orgânicos (ERIKSSON¹¹ et al., 2002 apud BAZZARELLA, 2005, p. 42).

Dentre os demais componentes, o pH está associado ao pH da água fornecida pelo abastecimento público, mas produtos químicos podem alterar esses valores. A alcalinidade e a dureza podem, assim como a turbidez e a concentração de sólidos dissolvidos, dar indicações sobre possíveis problemas com entupimentos das tubulações. Óleos e gorduras são importantes, podendo ser parâmetro crítico de controle do sistema de tratamento (ERIKSSON¹² et al., 2002 apud BAZZARELLA, 2005, p. 42-43).

⁹ ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n.1, p. 85-104, 2002.

¹⁰ opus citatua.

¹¹ opus citatua.

¹² opus citatua.

3.2.2.3 Características microbiológicas

Outra questão importante são as características microbiológicas, e destaca-se que (JAMRAH¹³ et al., 2007 apud ALVES et al., 2009, p. 275):

As águas cinzas normalmente contêm organismos patogênicos, dentre eles, bactérias, vírus e parasitas, em concentrações menos elevadas do que em esgotos domésticos convencionais, mas elevadas o suficiente para causar riscos à saúde humana [...].

Atividades como tomar banho e lavar as mãos, podem prover os efluentes de microorganismos patogênicos, podendo, durante a fase de estocagem, ocorrer uma proliferação acentuada desses agentes indesejáveis. Essas manifestações reforçam, segundo Eriksson¹⁴ et al. (2002 apud ALVES et al., 2009, p. 275), a importância dos sistemas de desinfecção e de armazenamento.

3.2.3 Aspectos quantitativos das águas cinzas

Quanto aos aspectos quantitativos das águas cinzas, segundo Santos (2002, p. 8-12), as quantidades demandadas e produzidas estão relacionadas com o consumo de água que ocorre na residência. Esse por sua vez, pode variar de acordo com a região, com os costumes e com o clima do lugar analisado. Ainda de acordo com Santos (2002, p. 12), “Características do subsistema de coleta, como a vazão específica dos aparelhos sanitários, associados à realidade de seus usos (frequência e duração do uso), permitem estimar a vazão diária a ser coletada.”

O Decreto 9.369/88 de Porto Alegre apresenta o valor mínimo de 200 litros por habitante, que deve ser considerado como expectativa de consumo diário de água (PORTO ALEGRE, 1988, p. 12).

¹³ JAMRAH, A.; AL-FUTAISI, A.; PRATHAPAR, S.; AL HARASSI, A. Evaluating greywater reuse potential for sustainable water resources management in Oman. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 137, n. 1-3, p. 315-327, Jun. 2007.

¹⁴ ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n.1, p. 85-104, 2002.

Quanto à estimativa das vazões em cada ponto de consumo de uma residência em relação ao consumo total de água, admite-se o quadro 6, que apresenta o resultado obtido três pesquisas realizadas no Brasil.

Aparelho sanitário	Deca	USP	PNCDA
Vaso sanitário	14%	29%	5%
Chuveiro	47%	28%	55%
Lavatório	12%	6%	8%
Pia de cozinha	15%	17%	18%
Tanque	-	6%	3%
Máquina de lavar roupas	8%	9%	11%

Quadro 6: distribuição do consumo de água em edificações
(adaptado de GONÇALVES; JORDÃO, 2006, p. 15)

Com relação ao consumo de água nas áreas externas, como pisos e jardins, pode-se admitir um consumo de 3 L/m²/dia nos jardins, e para a lavagem de pisos 4 L/m²/dia. Quanto à frequência desses consumos, são estimadas que essas atividades externas ocorram só oito dias por mês (PHILIPPI et al., p. 126).

O resultado de um estudo realizado por Jefferson¹⁵ et al. (1999 apud BAZZARELLA, 2005, p. 49), demonstra que a produção e a demanda de águas cinzas assemelham-se em volume, mas diferem um pouco na distribuição temporal ao longo do dia, conforme figura 7.

¹⁵ JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

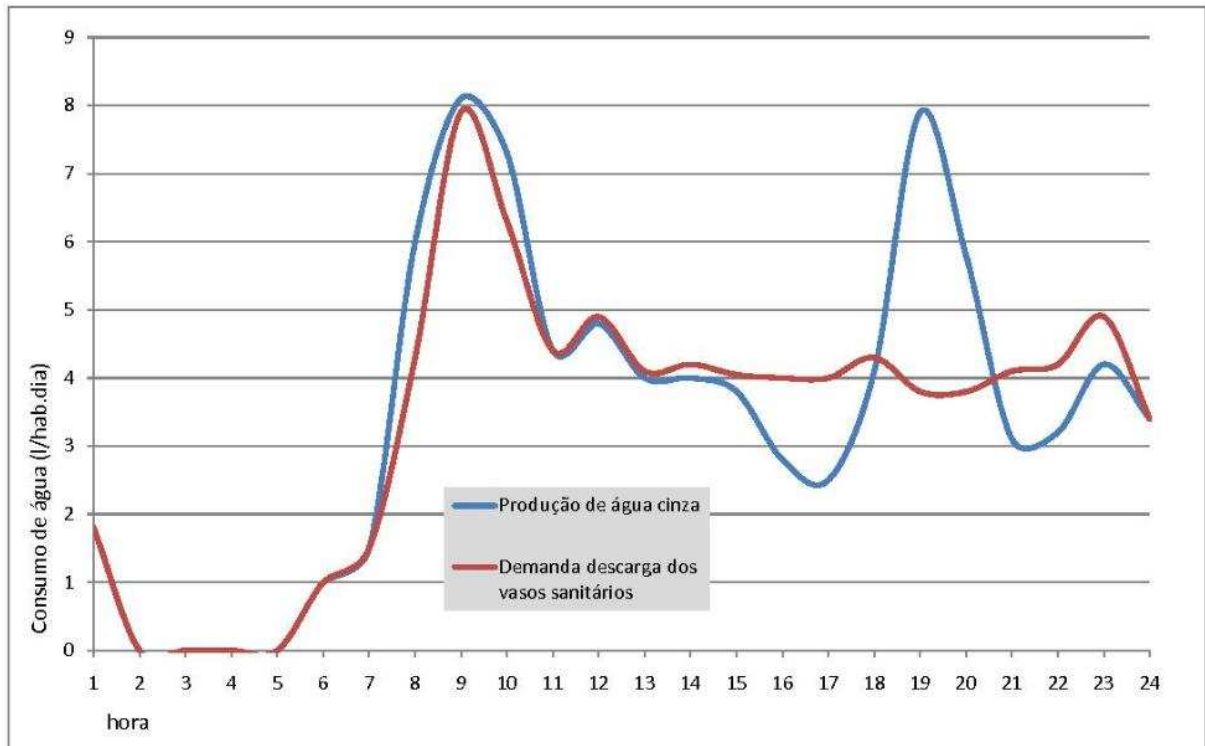


Figura 7: produção e demanda de águas cinzas
(adaptado de JEFFERSON¹⁶ et al., 1999 apud BAZZARELLA, 2005, p. 49)

3.3 TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS

Os efluentes que terão como destino algum reúso, devem passar por um tratamento, para que possam atender às expectativas dos usuários e principalmente para que não comprometam a saúde desses. Visto isso, alternativas de tratamento devem ser estudadas. Uma associação de etapas de tratamento das águas cinzas para reutilização em vasos sanitários é apresentada (BRASIL et al., 2005, p. 69):

- a) primeiramente deve passar por um dos dois tratamentos abaixo,
 - sistema físico-químico: coagulação, floculação e decantação ou flotação;
 - sistema aeróbio de tratamento biológico de lodos ativados;
- b) sistema físico: sedimentação e filtração simples através de decantador e filtro de areia;

¹⁶ JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

- c) processo de desinfecção;
- d) por fim, caso seja necessário, executar a correção do pH.

Um sistema experimental foi construído em um contêiner, para a caracterização das águas cinzas. O contêiner possuía 13,8 m² e continha dois ambientes, um banheiro masculino e outro feminino, cada um deles com dois chuveiros, um vaso sanitário e um lavatório. Uma máquina de lavar foi instalada, adicionalmente, ao banheiro feminino (MAY; HESPANHOL, 2006, p. 4).

O sistema de tratamento construído para o experimento de May e Hespanhol (2006, p. 6) foi o seguinte:

[...] tanque de equalização, tratamento biológico aeróbio (bio disco), reservatório de decantação secundária, sistema de filtração e sistema de desinfecção com cloro. O sistema de tratamento biológico aeróbio consiste em fornecer artificialmente oxigênio para o meio, onde os microorganismos aeróbios são predominantes e fazem a remoção da carga orgânica.

Esse sistema funcionava em cinco etapas:

- a) o efluente vindo dos chuveiros, lavatórios e da máquina de lavar era encaminhado ao reservatório de equalização;
- b) posteriormente ele era dirigido ao tratamento biológico (biodisco), para que ocorra a degradação da matéria orgânica;
- c) em seguida ele passava para o reservatório de decantação secundária, a sedimentação acontece em forma de lodo, formado pelo material orgânico já degradado;
- d) após isso ele continua até o sistema de filtração para retirada das partículas sólidas ainda dispersas;
- e) por último a água cinza é encaminhada para a desinfecção, por adição de cloro.

Uma sequência possível para tratamento das águas cinzas pode ser composta primeiramente por um tanque séptico, em seguida um filtro anaeróbio, filtração terciária ou outra barreira física e por fim um processo de desinfecção (CHERNICHARO et al., 2006, p. 86). Outro trabalho experimental desenvolvido em Florianópolis consistia em um sistema para

tratamento e reúso das águas cinza geradas em uma residência unifamiliar (MAGRI et al., 2008, p. 2). O processo de tratamento era composto por:

- a) caixa receptora das águas cinza;
- b) filtro anaeróbio de brita;
- c) filtro aeróbio de areia;
- d) reservatório.

Ainda segundo o sistema desenvolvido por Magri et al. (2008, p. 9-10), vale destacar que esse não foi eficiente na remoção dos indicadores microbiológicos observados, sendo sugerida a integração de uma unidade de desinfecção ao fim do processo. Os autores ainda avaliam que a combinação do filtro anaeróbio com o filtro de areia é uma opção viável em termos de tratamento de águas cinzas, exceto quanto aos parâmetros microbiológicos.

A NBR 13.969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 6) apresenta as faixas prováveis de remoção de poluentes, considerando os tratamentos citados em conjunto com o tanque séptico. Os valores limites inferiores são referentes à temperaturas inferiores a 15°C e os valores superiores são referentes à temperaturas superiores a 25°C, sendo que condições operacionais e de manutenção também interferem nesses percentuais de remoção. O quadro 7 mostra os prováveis valores para remoção de poluentes pelo filtro anaeróbio e pelo filtro de areia quando associados ao tanque séptico, indicados pela Norma.

Parâmetro	Filtro Anaeróbio (%)	Filtro de Areia (%)
DBO	40 a 75	50 a 85
DQO	40 a 70	40 a 75
SNF	60 a 90	70 a 95
Sólidos Sedimentáveis	70 ou mais	100
Nitrogênio Amoniacal	-	50 a 80
Nitrato	-	30 a 70
Coliformes Fecais	-	99 ou mais

Quadro 7: faixas prováveis de remoção de poluentes
(adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 6)

3.3.1 Tanque séptico

Os tanques sépticos são muito atraentes por suas características de construção e operação simples. Não exigem técnicas construtivas nem equipamentos sofisticados e sua operação não requer intervenções constantes. É um reator resistente às variações qualitativas do afluente e tem bom desempenho frente a presença de sólidos sedimentáveis. Nos tanques sépticos são desempenhadas simultaneamente as funções de decantação, sedimentação e flotação dos sólidos do esgoto, e também acontecem a desagregação e digestão dos sólidos sedimentados e do material flutuante (ANDRADE NETO et al., 1999a, p. 117, 119).

Para orientações sobre dimensionamento de tanques sépticos é possível seguir a NBR 7.229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 1) que trata sobre projeto, construção, operação e manutenção de tanques sépticos. A referida Norma apresenta a equação de dimensionamento do volume útil do tanque, que deve atender à equação 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 4):

$$V = 1000 + N(CT + KLf) \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

V = o volume útil, em litros;

N = o número de pessoas ou unidades de contribuição;

C = a contribuição de despejos, em litro/pessoa por dia;

T = o período de detenção, em dias;

K = a taxa de acumulação de lodo digerido, em dias;

Lf = a contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa por dia.

A figura 8 apresenta um corte longitudinal de um tanque séptico.

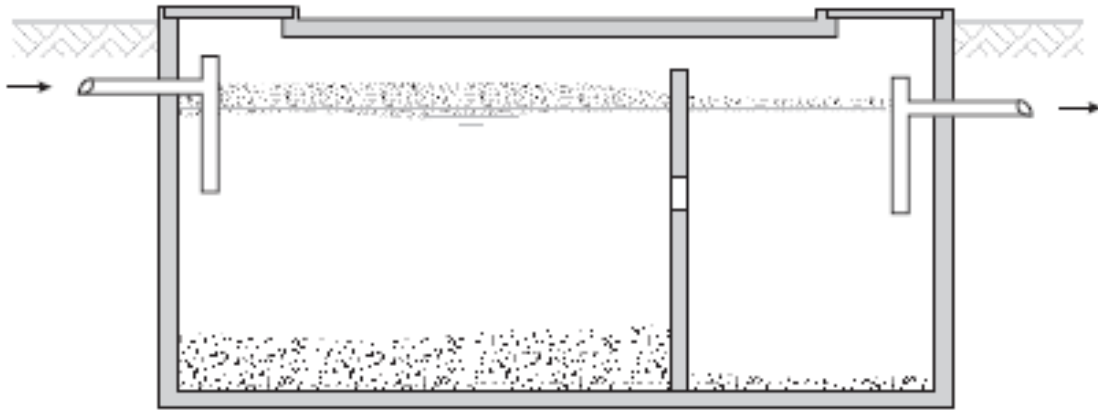


Figura 8: corte longitudinal de um tanque séptico
(ANDRADE NETO et al., 1999a, p. 120)

3.3.2 Filtro anaeróbio

Basicamente, o filtro anaeróbio pode ser definido como um reator biológico onde o esgoto é depurado através de microorganismos anaeróbios presentes nos espaços vazios e na superfície do material inerte que constitui o material filtrante (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 4). Quanto à caracterização do funcionamento dos filtros anaeróbios, pode-se avaliar que (ANDRADE NETO et al., 1999b, p. 142):

A retenção de sólidos de pequenas dimensões até partículas muito finas e coloidais, por contato com o material suporte recoberto por biofilme e por sedimentação forçada nos interstícios, a ação metabólica dos microorganismos do biofilme e do lodo retido nos interstícios, sobre a matéria dissolvida, constituem os principais fenômenos que agem na depuração dos esgotos.

Para o dimensionamento dos filtros anaeróbios a NBR 13.969 apresenta a equação 2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 4):

$$V_u = 1,6NCT \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

V_u = o volume útil do leito filtrante, em litros;

N = o número de contribuintes;

C = a contribuição de despejos, em litros x habitantes/dia;

T = o tempo de detenção hidráulica, em dias.

Abaixo é apresentada a figura 9 que mostra a disposição de um filtro anaeróbio.

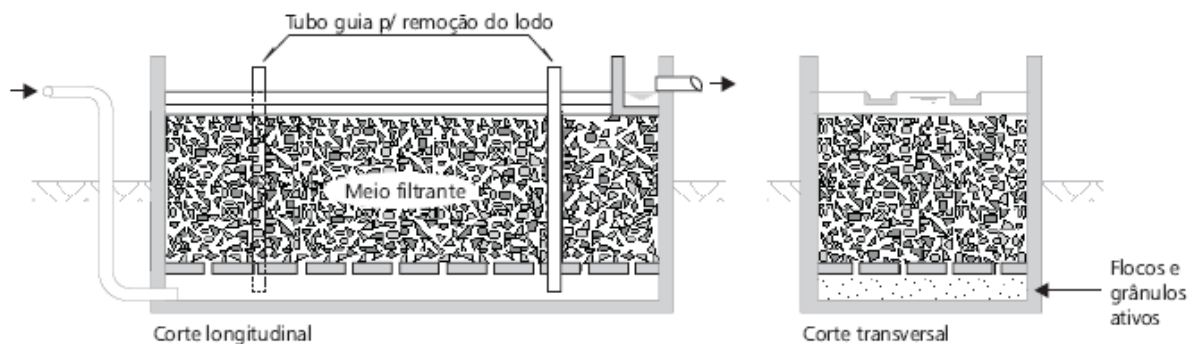


Figura 9: filtro anaeróbio (ANDRADE NETO et al., 1999b, p. 144)

3.3.3 Filtro de areia

O filtro de areia é descrito na NBR 13.969 que caracteriza esse instrumento como sendo a “[...] filtração do esgoto através da camada de areia, onde se processa a depuração por meio tanto físico (retenção), quanto bioquímico (oxidação), devido aos microorganismos fixos nas superfícies dos grãos de areia, sem necessidade de operação e manutenção complexas.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 11).

O processo de tratamento de esgotos por filtros de areia é caracterizado por elevada remoção de poluentes, com operação intermitente. É avaliado ainda que se o reaproveitamento do

efluente tratado for atrativo, o filtro de areia pode ser usado como unidade de polimento dos efluentes dos processos anteriores (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 11). Uma qualidade bastante atrativa do filtro de areia é que seu efluente não apresenta cor e nem odor (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 6)

Para o dimensionamento dos filtros, devem ser adotados valores relacionados às temperaturas locais. A taxa de aplicação para o cálculo da área superficial deve ser de 100 L/m² por dia, para os efluentes vindos diretamente do tanque séptico e quando a temperatura média mensal do esgoto for inferior a 10°C, essa taxa deve ser reduzida para 50 L/m² por dia. A composição do meio filtrante pode ser feita com areia com diâmetro efetivo na faixa de 0,25 mm até 1,2 mm, e coeficiente de uniformidade inferior a 4, ou pode ser feita com pedra britada ou pedregulho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 12).

A NBR 13.969/97 indica também os cuidados necessários para a manutenção dos filtros de areia. É recomendada a raspagem e a remoção do material depositado na superfície do filtro, juntamente com uma camada do material filtrante com cerca de 2 a 5 cm. Essa camada retirada do material responsável pela filtração deve ser imediatamente repostada por outra com características idênticas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 12).

3.3.4 Desinfecção

A desinfecção é uma etapa de fundamental importância. Segundo a NBR 13.969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 16), “Todos os efluentes que tenham como destino final corpos receptores superficiais ou galerias de águas pluviais, além do reúso, devem sofrer desinfecção.”.

São apresentadas duas alternativas de cloração, o processo de gotejamento de hipoclorito de sódio e o processo que utiliza pastilhas de hipoclorito de cálcio, sendo que essas alternativas não necessitam de muitos cuidados operacionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 16).

O tempo de detenção hidráulica para contato deve ser de no mínimo 30 min e o esgoto clorado deve permanecer com uma concentração de pelo menos 0,5 mg/L de cloro residual livre (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 16).

3.4 AVALIAÇÃO DO PERÍODO DE RETORNO

O período de retorno para o investimento inicial necessário à separação das águas cinzas, será determinado admitindo-se uma taxa de juros compostos, incidindo sobre o valor anual economizado em relação à conta de água proveniente da concessionária, economia essa devido à utilização do sistema (GEHLING, 2008, p. 5-6).

Será considerado também o percentual de reajuste do preço da água fornecida pela concessionária. Essa atualização de valores ocorre anualmente, sendo que o último reajuste aplicado pelo DMAE foi de 9,6% (PORTO ALEGRE, 2011b).

3.5 NORMAS, RECOMENDAÇÕES E PADRÕES VIGENTES

De acordo com o Manual da FIESP, a escolha das fontes alternativas de água deve levar em consideração não só os custos de implantação, mas também os custos envolvidos devido à descontinuidade do fornecimento e principalmente à necessidade de garantia da qualidade da água oferecida, sempre privilegiando a saúde pública, dos usuários diretos e indiretos. O manejo e a gestão inadequadas desse processo de reúso podem expor os usuários e as atividades ligadas à essa água em risco (BRASIL et al., 2005, p, 50):

Utilizar água não proveniente da concessionária traz o ônus de alguém se tornar “produtor de água” e portanto responsável pela gestão qualitativa e quantitativa deste insumo. Cuidados específicos devem ser considerados para que não haja risco de contaminação a pessoas ou produtos ou de dano a equipamentos.

No Brasil, atualmente dois bons documentos que balizam padrões de qualidade para reúso, que é claro, variam de acordo com o fim desejado, são o Manual da FIESP e a NBR 13.969 do ano de 1997. Anderson¹⁷ (2001 apud BAZZARELLA, 2005, p. 62) ressalta que:

O reúso de água requer medidas efetivas de proteção à saúde pública e ao meio ambiente, e ambas devem ser tecnicamente e economicamente viáveis. Existem diversos países com diferentes níveis de desenvolvimento e quantidade de água disponível. Assim, é interessante que normas sejam feitas sob medida para se ajustar o equilíbrio entre disponibilidade, tecnologia e risco.

O quadro 8 apresenta limites estabelecidos pelos dois documentos citados anteriormente, para reúso em descarga de bacias sanitárias.

Parâmetros	Manual da FIESP (BRASIL et al., 2005, p. 54)	NBR 13.969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 22)
pH	6,0 - 9,0	-
Cor (UH)	≤ 10	-
Turbidez (NTU)	≤ 2	< 10
Óleos de graxas (mg/L)	≤ 1	-
DBO (mg/L)	≤ 10	-
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	Não detectáveis	< 500
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes	-
Nitrato (mg/L)	≤ 10	-
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20	-
Nitrito (mg/L)	≤ 1	-
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,1	-
SST (mg/L)	≤ 5	-
SDT (mg/L)	≤ 500	-

Quadro 8: parâmetros de qualidade e limites para reúso em descargas de bacias sanitárias

¹⁷ ANDERSON, J. Prospect for international guidelines for water recycling. **Water** 21. p. 16-21, Aug. 2001.

4 EDIFICAÇÃO ESTUDADA

O primeiro passo para a realização deste trabalho foi a definição de um projeto arquitetônico de uma edificação compatível com a possibilidade de ocupação por uma família composta por dez pessoas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A residência definida para este estudo consiste em uma casa, hipotética, localizada na cidade de Porto Alegre, de dois pavimentos, de alto padrão e construída em alvenaria.

A casa possui sete banheiros, dois no térreo e cinco no segundo pavimento, e também um lavabo. No térreo existem uma dependência de empregada, despensa, depósito, área de serviço, sala de estar, sala de jantar, cozinha e externamente existe um espaço gourmet, uma varanda e a garagem. O segundo piso conta com cinco suítes, duas sacadas e um *home office*.

O projeto arquitetônico está no Apêndice A do trabalho.

4.2 ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ÁGUA DA EDIFICAÇÃO

Para a constituição da estimativa de consumo de água da residência em estudo, foi consultado o Decreto n. 9.369/88 da Prefeitura de Porto Alegre, cidade onde a edificação está situada. Segundo o documento, para o cálculo do consumo de água em uma residência, deve-se considerar que cada pessoa demandará 200 litros por dia (PORTO ALEGRE, 1988, p. 12). Assim, pode-se criar o quadro 9.

Número de habitantes	10
Consumo per capita (L/hab/dia)	200
Consumo diário (L/dia)	2000
Consumo interno mensal (L)	62000

Quadro 9: estimativa de consumo mensal interno de água

Considerando um consumo de água de 3 L/m²/dia, para rega de jardins e gramados, e 4 L/m²/dia para lavagem de calçadas, sendo que essas duas atividades possuem uma estimativa de 8 utilizações por mês (PHILIPPI et al., p. 126), foi construído o quadro 10.

Local	Área (m ²)	Consumo mensal (L)
Pisos	160	5120
Jardins	248	5952
	Total	11072

Quadro 10: estimativa de consumo mensal externo de água

Com os dados levantados, pode-se destacar que a estimativa de consumo de água total na residência, somando os consumos internos e externos, é de 73.072 litros ou 73,07 m³ por mês.

4.2.1 Estimativa de oferta de água cinza

Estudos realizados demonstram como é a distribuição da demanda de água em uma casa. Assim, utilizando os percentuais de distribuição da água em uma residência, definidos por três pesquisas feitas no Brasil, foi realizado o cálculo da média desses percentuais para cada aparelho. No quadro 11, são apresentados os valores estimados de água cinza que são produzidos na residência.

Consumo interno total (L/mês)		62000				
Aparelho sanitário	Deca *	USP *	PNCDA *	Média	Consumo mensal (L/mês)	Consumo diário (L/dia)
Chuveiro	47%	28%	55%	43,33%	26866,67	866,67
Lavatório	12%	6%	8%	8,67%	5373,33	173,33
Máquina de lavar roupas	8%	9%	11%	9,33%	5786,67	186,67
Total					38026,67	1226,67

(fonte: * GONÇALVES; JORDÃO, 2006, p.15)

Quadro 11: oferta de água cinza na residência considerada

Pode-se perceber no quadro 11 que o maior consumo de água potável em uma residência ocorre com a demanda do chuveiro, sendo esse o maior contribuinte para a oferta de águas cinzas para reúso. De fato, segundo as estimativas, se apenas a captação das águas provenientes dos chuveiros fosse realizada no sistema de reúso, a demanda mensal total de água dos vasos sanitários e dos usos externos poderia ser atendida.

4.2.2 Estimativa de consumo de água de reúso

Para a elaboração do consumo de água de reúso foram relacionadas as demandas de água dos pontos que podem ser abastecidos com água com menor exigência de qualidade, ou seja, foram relacionados os vasos sanitários e as áreas externas à residência, jardins e calçadas.

A demanda de água dos vasos sanitários é melhor distribuída durante o mês, enquanto que a utilização nos pontos externos da residência são mais pontuais, não acontecem todos os dias, conforme já citado. A atividade de rega de jardins e lavagem de calçadas pode ser estimada em apenas 8 utilizações durante o mês. A seguir o quadro 12 apresenta a estimativa de consumo de água de reúso.

Tipo de uso	Consumo mensal (L/mês)
Pisos	5120
Jardins	5952
Bacia sanitária	9920,00
Total	20992,00

Quadro 12: estimativa de consumo de água de reúso na residência

Pode-se concluir com o quadro 12, que a demanda total de água cinza é de aproximadamente 21 m³ por mês.

É importante também que a determinação da demanda diária de água cinza seja realizada. O quadro 13 traz a quantidade de água requisitada em um único dia. Para o vaso sanitário, o volume mensal demandado foi dividido por 31 dias, enquanto que o volume mensal de água requerido para os usos externos foi dividido por 8 dias. Assim, a representação da demanda crítica, que representa a soma da demanda diária do vaso sanitário e da demanda de um dos dias em que as atividades externas são realizadas, é apresentada abaixo.

Tipo de uso	Consumo crítico (L/dia)
Pisos	640
Jardins	744
Bacia sanitária	320,00
Total	1704,00

Quadro 13: estimativa da demanda crítica mensal na residência

De acordo com o quadro 13, é possível observar que a oferta de água cinza em apenas um dia apresentada no quadro 11, não é capaz de suprir a demanda dos vasos sanitários e dos usos externos. O sistema de reservação da habitação deve regularizar essa situação de incompatibilidade entre oferta e demanda de águas cinzas.

4.2.3 Estimativa da economia de água

A quantidade de água economizada durante um mês, pode ser avaliada como sendo a própria estimativa de água de reúso, calculada no item anterior. O quadro 14 apresenta os valores do consumo de água sem reúso e também os valores do consumo de água com o sistema de reúso.

Tipo de instalação	Consumo de água da concessionária (m ³ /mês)
Sem sistema de reúso	73,07
Com sistema de reúso	52,08
Economia	20,99

Quadro 14: estimativa da economia de água na residência

Observando o quadro 14 conclui-se que a economia de água na residência em estudo seria de aproximadamente 21 m³ mensais, ou 29 % do consumo da mesma casa sem o sistema de reutilização de águas.

5 PROJETO DO SISTEMA DE REÚSO

Uma edificação que pretende implantar o reúso das águas cinzas deve executar a separação dos efluentes de interesse, direcioná-los para o sistema de tratamento, encaminhá-los para o sistema de reservação e então oferecer essa água aos pontos da casa onde ocorrerá a utilização efetiva das águas servidas. Desta forma, a execução de um projeto básico para o sistema de águas cinzas é necessário para que a estimativa de custos possa ser realizada. Nesse contexto, projetou-se o sistema de coleta, de tratamento e de distribuição das águas cinzas.

5.1 PROJETO DO SISTEMA DE COLETA DAS ÁGUAS CINZAS

Para a realização do projeto do sistema que captaria as águas cinzas, foram seguidas as orientações contidas na NBR 8.160 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999). Como ponto inicial para o projeto, foram relacionados todos os aparelhos que contribuem com águas servidas. Com o Número de Unidades Hunter de Contribuição de cada aparelho, tem-se o diâmetro nominal dos seus respectivos ramais de descarga, conforme o quadro 15.

Aparelho	Número de UHC	Diâmetro Nominal do ramal de descarga (mm)
Chuveiro de residência	2	40
Lavatório de residência	1	40
Máquina de roupas	3	50

Quadro 15: dimensionamento dos ramais de descarga
(baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999)

Apresentadas as contribuições dos aparelhos sanitários, podemos dimensionar as caixas sifonadas de cada cômodo. O quadro 16, traz o número de UHC que chega em cada caixa e o respectivo diâmetro nominal de saída.

Caixa sifonada	Número de UHC	DN da caixa (mm)	DN de saída (mm)
Banheiro	3	100	50
Lavabo	1	100	50
Área de serviço	3	100	50

Quadro 16: dimensionamento das caixas sifonadas
(baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999)

Na sequência foram dimensionados os ramais de esgoto, que saem das caixas sifonadas. Todos os ramais de esgoto foram dimensionados com diâmetro nominal de 50 mm, já que o limite máximo de 6 UHC não foi excedido em nenhum caso. A inclinação recomendada para o diâmetro de 50 mm é de 2%.

A próxima etapa no dimensionamento do sistema de coleta das águas cinzas, é determinar o diâmetro dos tubos de queda. Foram projetadas quatro tubulações, o TQAC1 (tubo de queda de água cinza), o TQAC2, o TQAC3 e o TQAC4. A seguir, o quadro 17 apresenta o número de UHC que chega em cada tubo e o seu respectivo diâmetro.

Tubo de queda	Número de UHC	Diâmetro nominal (mm)
TQAC1	3	50
TQAC2	6	50
TQAC3	3	50
TQAC4	3	50

Quadro 17: dimensionamento dos tubos de queda
(baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999)

Pode-se observar que o diâmetro de 50 mm atende à orientação da Norma, sendo ainda o mesmo diâmetro dos ramais de esgoto que chegam até os tubos de queda, tornando o projeto ainda mais simples.

No térreo, os tubos de queda TQAC1 e TQAC4 recebem ainda a contribuição de um banheiro e do lavabo, respectivamente. A ligação deles pode ser feita por meio de uma junção a 45° de mesmo diâmetro, 50 mm. Após essa conexão no térreo, o limite indicado para os tubos de queda de 10 UHC não é excedido, permitindo o uso da mesma bitola para a sequência da tubulação.

No final dos tubos de queda, no pavimento térreo, é necessário que o diâmetro da tubulação aumente de 50 mm para 100 mm, possibilitando a ligação dos tubos com as caixas de inspeção, que deve ser feita com curvas longas de 90° ou com duas curvas de 45°, assim a sobrepressão pode ser atenuada, além de dificultar a formação de espumas.

O transporte dos esgotos no térreo é feito horizontalmente. A Norma recomenda que o dimensionamento dos coletores e subcoletores seja feito considerando apenas o aparelho de maior descarga de cada banheiro (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999, p. 17), assim foram consideradas apenas a contribuição dos chuveiros, nos banheiros, e do lavatório, no lavabo. No caso da área de serviço, foi computado apenas a contribuição da máquina de lavar roupas. O quadro 18, apresenta os coletores de água cinza do térreo, informando o número de UHC que cada um transporta, o seu diâmetro e a inclinação necessária.

Coletor	Número de UHC	Diâmetro nominal (mm)	Inclinação (%)
CAC1	4	100	1
CAC2	8	100	1
CAC3	10	100	1
CAC4	3	100	1

Quadro 18: dimensionamento dos coletores de água cinza
(baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999)

Todas as caixas sifonadas foram ventiladas. Analisando as recomendações e tabelas referentes ao dimensionamento da ventilação do sistema de esgoto, a definição dos diâmetros dos tubos de ventilação e das distâncias máximas dos desconectores à esses foi simples.

O diâmetro adotado para todos os ramais de esgoto da edificação foi de 50 mm. Para a edificação em estudo o diâmetro nominal de 40 mm é aceitável, já que essa tubulação pode atender até 12 UHC. A conexão do tubo de ventilação com os ramais de esgoto devem ser feitas com um tê e uma redução de 50 mm para 40 mm. As colunas de ventilação que devem ser instaladas, em nenhum caso ultrapassam 12 UHC, assim o diâmetro de 40 mm foi escolhido.

Para o caso do barrilete de ventilação apenas no trecho de saída é preciso a utilização de diâmetro de 75 mm, pois é necessário atender a demanda de 22 UHC. O restante do barrilete pode ser de 40 mm, pois esse é dividido, atendendo com um ramo um lado da edificação que soma 10 UHC e com outro ramo o outro lado que soma 12 UHC. As conexões do barrilete com os ramais de ventilação podem ser feitas com tês ou junções. O projeto de coleta das águas cinzas está no Apêndice B.

5.2 PROJETO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS TRATADAS

O projeto do sistema de distribuição das águas cinzas tratadas inicia com a definição clara dos pontos onde essas serão utilizadas.

Os efluentes tratados serão utilizados em torneiras de jardim, designadas pela abreviatura TJ e numeradas de 1 a 5, e nas bacias sanitárias dos banheiros e do lavabo, abreviadas por BS e numeradas de 1 a 7. As torneiras de jardim são localizadas na parte externa da casa, e ficam a 50 cm de altura em relação ao seu piso adjacente, no entanto, no esquema vertical do Apêndice B, as torneiras são cotadas em relação ao piso interno pronto do térreo. As bacias sanitárias têm seus pontos de abastecimento a 30 cm de altura em relação ao piso interno pronto.

Analisando as recomendações da NBR 5626 foi realizado o dimensionamento das tubulações para água cinza. O processo usado para o cálculo das tubulações nesse trabalho foi descrito no item 3.2.1.1 desse trabalho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Com o projeto em mãos, todos os trechos que são alimentados por água cinza tratada foram identificados por letras. Usando o esquema vertical e o projeto de distribuição das águas cinzas tratadas foram computados os comprimentos e as distâncias percorridas vertical e horizontalmente pela tubulação. De posse desses dados, a alimentação de uma planilha de cálculo e dimensionamento das tubulações foi iniciada.

O peso atribuído às bacias sanitárias e às torneiras foram 0,3 e 0,4, respectivamente. Para a estimativa das vazões utilizou-se a equação abaixo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 28).

$$Q = 0,3\sqrt{\sum P} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

Q = a vazão estimada na seção, em litros por segundo;

$\sum P$ = o somatório dos pesos que a seção considerada alimenta.

Para o cálculo da perda de carga unitária na tubulação, foi usada a equação em sequência (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 29).

$$J = 8,69 \times 10^6 \times Q^{1,75} \times d^{-4,75} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

J = a perda de carga unitária, em quilopascals por metro;

Q = a vazão da seção considerada, em litros por segundo;

d = o diâmetro interno do tubo, em milímetros.

Para a definição dos valores de comprimento equivalente para algumas peças e conexões da tubulação, foi usado o quadro 19.

	Joelho 90°	Joelho 45°	Tê 90° passagem direta	Tê 90° saída de lado	Tê 90° saída bilateral	Registro gaveta aberto
DN 20 (mm)	1,2	0,5	0,8	2,4	2,4	0,2
DN 25 (mm)	1,5	0,7	0,9	3,1	3,1	0,3
DN 32 (mm)	2	1	1,5	4,6	4,6	0,4

Quadro 19: comprimento equivalente de conexões (adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS¹⁸, 1982 apud MACINTYRE, 1986, p. 33)

Após a etapa de cálculo das tubulações de distribuição foi constatado que para o início dos sistemas de distribuição a tubulação indicada é de 32 mm, no segundo pavimento a distribuição da água nos pontos de consumo devem ser executados com tubos de 25 mm e no pavimento térreo a bitola de 20 mm é suficiente.

A planilha completa utilizada para dimensionar as tubulações do sistema de distribuição está no Apêndice C.

5.3 PROJETO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZAS

Para a composição do sistema de tratamento das águas cinzas produzidas na residência, foi definido, com base na revisão bibliográfica, que a composição de um tanque séptico seguido de um filtro anaeróbio, um filtro de areia e uma etapa de desinfecção pode atender às necessidades.

O tanque séptico e o filtro anaeróbio podem ser construídos no próprio local ou ainda podem ser adquiridos já prontos para instalação. A opção por utilizar esses dois elementos pré-fabricados foi adotada pela facilidade de instalação e economia de tempo. Existem opções de sistemas prontos que podem ser em fibra de vidro ou ainda em concreto. Com isso foram consultadas alternativas disponíveis para compra.

O sistema escolhido para implantação na residência foi a associação de um reator anaeróbio e um filtro anaeróbio, esse conjunto, em fibra de vidro, tem capacidade para 1600 L/dia.. O filtro deve ser preenchido com material filtrante constituído por brita número 4. A instalação desses equipamentos pode ser descrita assim:

¹⁸ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: instalações prediais de água fria: procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

- a) escavação do terreno até a largura e profundidade necessárias;
- b) compactação manual do fundo da escavação;
- c) execução de lastro de concreto, com espessura de 7 cm;
- d) execução das conexões de esgoto necessárias na entrada e na saída dos equipamentos;
- e) preenchimento dos espaços vazios entre o equipamento e o terreno natural com areia ou terra;
- f) execução de acabamento na superfície, verificando as aberturas para inspeção e manutenção.

A seguir a figura 10 mostra o modelo de reator e filtro anaeróbio escolhido.

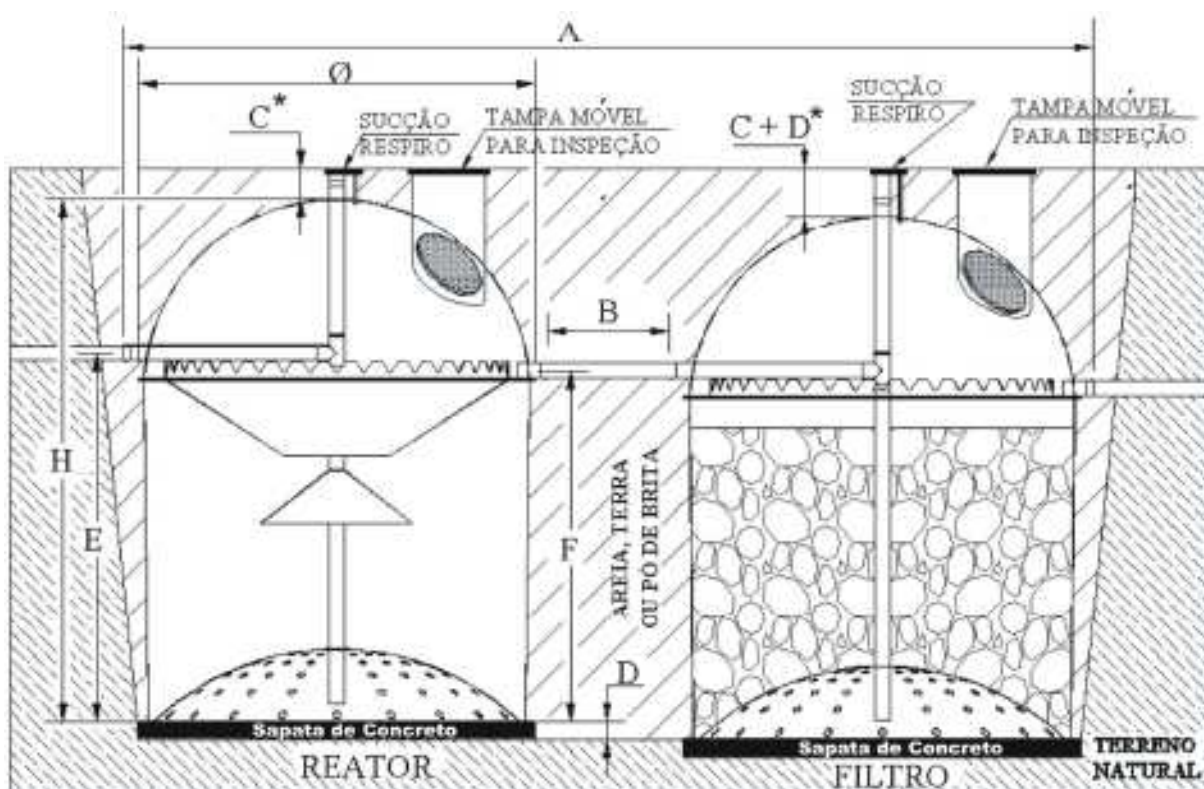


Figura 10: reator anaeróbio e filtro anaeróbio
(BAKOF INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE FIBERGLASS LTDA, [2011])

O quadro 20 a seguir contém as dimensões adotadas para o modelo com capacidade de tratamento de 1600 L/dia.

A	B	C*	D	E	F	ø	H	C+D*
3,60	0,60	0,30	0,06	1,37	1,26	1,00	1,68	0,36

Quadro 20: dimensões do conjunto reator e filtro, em metros
(BAKOF INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE FIBERGLASS LTDA, [2011])

Um detalhe muito importante é o desnível entre os fundos do reator e do filtro, o primeiro deve estar 6 cm mais alto que o segundo. Antes do preenchimento dos espaços entre o equipamento e o terreno natural deve ser realizado um teste de estanqueidade para assegurar a integridade e perfeita vedação das conexões. O fabricante do sistema indica que o enchimento do equipamento com água e posterior repouso de 24 horas é suficiente para a verificação.

Com relação ao filtro de areia, optou-se pela construção no local. Ele deve ser construído em alvenaria de tijolos maciços e devidamente impermeabilizado, para que não ocorram infiltrações no terreno. O material filtrante deverá ser areia média que tem seus grãos com diâmetro na faixa de 0,42 mm e 1,2 mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, p. 28).

A vazão considerada para o cálculo do filtro de areia deve ser superior a vazão diária estimada de águas cinzas, dessa forma foi considerada uma vazão de 1500 L/dia. O volume e a área superficial do filtro foram calculados com uma taxa de aplicação de 100 L/m².dia e a altura da camada de areia definida foi de 70 cm. A equação 5 abaixo, relaciona esses parâmetros e a vazão aplicada de águas cinzas:

$$A = Q / T_a \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

A = a área superficial necessária, em m²;

Q = a vazão de águas cinza considerada, que é de 1500 L/dia;

T_a = a taxa de aplicação de efluente adotada, que é de 100 L/m².dia.

A aplicação dessa equação resulta em uma área superficial necessária de 15 m², dimensão que em muitas residências tornaria inviável a escolha pelo filtro de areia convencional. O filtro

terá 2,15 metros de largura e 7 metros de comprimento. Na base do leito de areia deverá ser disposta a tubulação de drenagem, essa deve ter diâmetro de 100 mm, essa tubulação deve ser envolvida por uma camada de brita 1 com aproximadamente 15 cm de espessura. Para facilitar a coleta de água, o fundo do filtro deve ter uma declividade de 1 %. É importante ressaltar que foi considerado que o lençol freático está a uma profundidade segura para todas as escavações e instalações.

O sistema de cloração adotado foi o processo de pastilhas de hipoclorito de cálcio. Assim como foi proposto por Bazzarella (2005, p. 85-86), optou-se pela cloração realizada por um clorador flutuante de pastilhas de 200 gramas. O aparelho pode ser posicionado dentro do reservatório inferior de água cinza tratada. Deseja-se que a água fique em contato por no mínimo 30 minutos com o clorador, condição que será atendida e até excedida com essa configuração, uma vez que o reservatório posicionado na sequência do filtro de areia, tem capacidade de 1500 litros e a vazão estimada de água cinza é de aproximadamente 1226 L/dia. A dosagem da cloração deve ser maior do que a adotada por Bazzarella (2005, p. 86), já que essa utilizava a grelha na posição de menor dosagem, pois a vazão tratada pelo sistema de Bazzarella (2005, p. 131) era de aproximadamente 200 L/dia, sendo em torno de 6 vezes menor que a vazão teórica do presente trabalho.

Quanto à eficiência desse sistema de tratamento podem ser usados os valores percentuais de remoção apresentados no quadro 7 deste trabalho. Para efeito de cálculo, foi considerado que o reator anaeróbico se comporta como um tanque séptico. Esses valores de remoção devem ser aplicados sobre os valores dos parâmetros de controle calculados para a mistura das águas cinzas. Os quadros 21, 22 e 23 apresentam indicativos de remoção estimada dos poluentes. O quadro 21 apresenta as concentrações residuais nas águas tratadas de sólidos suspensos e de compostos nitrogenados. O quadro 22 traz as informações sobre fósforo, DBO, DQO e compostos de enxofre ainda presentes na água tratada. O quadro 23 expõe as concentrações estimadas de coliformes presentes na água após passar pelo sistema de tratamento, exceto cloração. Esses valores de coliformes tendem a diminuir ainda mais após contato com o cloro, na desinfecção. A cloração desenvolvida por Bazzarella (2005, p. 121) conseguiu remover em torno de 2 logs de E. Coli e até 4 logs de CT.

		Concentrações nos efluentes dos pontos de coleta de água cinza*				
Local	Volume diário (L)	SST (mg/L)	Nitrogênio Amoniacoal (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	NTK (mg/L)
Lavatório	173,33	146	0,5	0,03	0,57	5,6
Chuveiro	866,67	103	0,8	0,03	0,46	3,4
Máquina de lavar roupas	186,67	53	1,5	0,11	0,46	3,6
Mistura	1226,67	101,47	0,86	0,04	0,48	3,74
Remoção estimada**	Filtro Anaeróbio	70%	-	60%	-	60%
	Filtro de Areia	100%	50%	70%	30%	70%
Concentrações finais estimadas na água cinza tratada		0,00	0,43	0,01	0,33	0,45

(* dados obtidos em BAZZARELLA, 2005, p. 102-104.

** dados obtidos em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 6)

Quadro 21: remoção de sólidos e compostos nitrogenados no sistema de tratamento proposto

		Concentrações nos efluentes dos pontos de coleta de água cinza*				
Local	Volume diário (L)	Fósforo total (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)
Lavatório	173,33	0,6	265	653	0,11	112,4
Chuveiro	866,67	0,2	165	582	0,09	162,1
Máquina de lavar roupas	186,67	14,4	184	521	0,11	355,4
Mistura	1226,67	2,42	182,02	582,75	0,10	184,49
Remoção estimada**	Filtro Anaeróbio	60%	40%	40%	60%	60%
	Filtro de Areia	70%	50%	40%	70%	70%
Concentrações finais estimadas na água cinza tratada		0,29	54,61	209,79	0,01	22,14

(* dados obtidos em BAZZARELLA, 2005, p. 106-110.

** dados obtidos em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 6)

Quadro 22: remoção de fósforo, DBO, DQO e compostos de enxofre no sistema de tratamento proposto

		Concentrações nos efluentes dos pontos de coleta de água cinza*	
Local	Volume diário (L)	CT (NMP/100 mL)	E. Coli (NMP/100mL)
Lavatório	173,33	1,35E+02	1,01E+01
Chuveiro	866,67	3,95E+04	2,63E+04
Máquina de lavar roupas	186,67	5,37E+00	2,73E+01
Mistura	1226,67	2,79E+04	1,86E+04
Remoção estimada**	Filtro Anaeróbio	-	-
	Filtro de Areia	99%	99%
Concentrações finais estimadas na água cinza tratada		2,79E+02	1,86E+02

(* dados obtidos em BAZZARELLA, 2005, p. 115.

** dados obtidos em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, p. 6)

Quadro 23: remoção de coliformes no sistema de tratamento proposto

6 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS

A avaliação dos custos é de grande importância dentro dos objetivos deste trabalho. Para que a determinação do período de retorno para o capital investido no sistema de reúso de águas cinzas possa ser determinado, é preciso relacionar os custos de implantação e também de manutenção. Assim, para melhor entendimento dessa questão, devem ser considerados os custos de implantação bem como os de operação e manutenção do sistema, o que permitirá explicitar o período de retorno.

6.1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Os custos de implantação envolvem as tubulações de esgoto e de distribuição das águas cinzas tratadas, a aquisição do sistema conjugado de reator anaeróbio e filtro anaeróbio, o clorador, a bomba para recalque, os reservatórios, inferior e superior, o material para construção do filtro de areia e a mão-de-obra envolvida. São considerados também os acessórios necessários para as instalações. Para a constituição da estimativa de custos de implantação do sistema escolhido nesse trabalho foram elaborados os quadros 24 e 25.

Observa-se no quadro 24 que as tubulações de esgoto de DN 40 mm e DN 50 mm e a tubulação de distribuição de DN 25 mm são os principais itens dos custos do sistema de distribuição e coletas das águas cinzas. Com o quadro 25 pode-se constatar que os custos do sistema de tratamento proposto têm como principal investimento a construção do filtro de areia e o conjunto de reator anaeróbio e filtro anaeróbio.

Item	Unidade	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
Tubo PVC esgoto predial DN 40mm, inclusive conexões - fornecimento e instalação	m	94	13,55	1273,70
Tubo PVC esgoto predial DN 50mm, inclusive conexões - fornecimento e instalação	m	57	18,36	991,44
Tubo PVC esgoto predial DN 75mm, inclusive conexões - fornecimento e instalação	m	6	25,07	150,42
Tubo PVC esgoto predial DN 100mm, inclusive conexões - fornecimento e instalação	m	35	26,90	807,00
Tubo PVC soldável água fria DN 25mm, inclusive conexões - fornecimento e instalação	m	126	9,75	1228,50
Tubo PVC soldável água fria DN 32mm, inclusive conexões - fornecimento e instalação	m	11	14,06	154,66
Caixa sifonada em PVC 100x100x50mm simples - fornecimento e instalação	un	7	25,39	177,73
Caixa de inspeção em concreto pré-moldado DN 60mm com tampa h= 60cm fornecimento e instalação	un	5	131,99	659,95
Caixa d'água fibra de vidro 1500 litros *	un	2	330,71	661,42
Registro gaveta 1" bruto latão - fornecimento e instalação	un	2	40,18	80,36
Registro gaveta 1/2" bruto latão - fornecimento e instalação	un	1	30,10	30,10
Bomba centrífuga c/ motor elétrico monofásico 1/2 cv bocais 1" x 3/4" Dancor série camw4 mod.114 *	un	1	418,60	418,60
Automático de bóia superior 10.A/250V - fornecimento e instalação	un	2	48,94	97,88
Válvula de retenção vertical ø 20mm (3/4") - fornecimento e instalação	un	1	66,68	66,68
			TOTAL	6798,44

(* dados obtidos em CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2011b)

Quadro 24: custos do sistema de coleta e distribuição das águas cinzas tratadas
(CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2011a)

Item	Unidade	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
Escavação manual de cavas	m ³	30	19,47	584,10
Regularização e compactação manual de terreno	m ²	20	2,14	42,80
Lastro de brita 25mm, espessura 3cm, incluso compactação manual	m ²	20	2,15	43,00
Lastro de concreto espessura 7cm, preparo mecânico, incluso aditivo impermeabilizante	m ²	20	32,40	648,00
Regularização de piso/base em argamassa traço 1:3 (cimento e areia grossa sem peneirar), espessura 5,0cm, preparo mecânico	m ²	20	18,11	362,20
Alvenaria em tijolo cerâmico maciço 5x10x20cm 1/2 vez (espessura 10cm), assentado com argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal e areia)	m ²	18	53,25	958,50
Chapisco traço 1:4 (cimento e areia), espessura 0,5cm, preparo manual, incluso aditivo impermeabilizante	m ²	18	3,45	62,10
Emboço paulista (massa única) traço 1:4 (cimento e areia), espessura 2,0cm, preparo manual, incluso aditivo impermeabilizante	m ²	18	17,01	306,18
Impermeabilização com tinta betuminosa em fundações, baldrames e muros de arrimo, duas demãos	m ²	38	4,95	188,10
Execução de dreno com tubos de PVC corrugado flexível perfurado - DN 100	m	23	14,05	323,15
Reaterro manual de valas	m ³	8	19,47	155,76
Leito filtrante - fornecimento e enchimento c/ brita n. 4	m ³	1	82,27	82,27
Lastro de areia média	m ³	11	61,28	674,08
Conjunto reator anaeróbio + filtro anaeróbio *	un	1	2240,00	2240,00
Clorador flutuante de pastilhas **	un	1	28,00	28,00
			TOTAL	6698,24

(* dados obtidos em JAB COMÉRCIO E REPRESENTAÇÕES, 2011.

** dados obtidos em PROLAZER PISCINAS, 2011)

Quadro 25: custos do sistema de tratamento proposto
(CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2011a)

O preço total estimado do investimento é de R\$ 13.496,68.

Foram utilizados os custos de composições do Sinapi (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2011a) para a maior parte dos itens relacionados. Para a tubulação de PVC soldável de 20 mm não foi encontrada a composição no Sinapi, com isso a metragem necessária para essa bitola foi somada a quantidade de tubo de PVC de 25 mm considerada na estimativa de custos. Consultou-se o site da empresa Prolazer Piscinas para a cotação do clorador flutuante e o conjunto composto por reator anaeróbio e filtro anaeróbio realizou-se uma solicitação de orçamento por email.

6.2 CUSTOS DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO

Para a escolha do sistema de tratamento das águas cinzas foi considerado, entre outros fatores, o processo de manutenção e operação. O sistema escolhido não demanda muitas intervenções.

Quanto ao processo de desinfecção pode-se estimar que as pastilhas de cloro de 200 gramas devem ser repostas todo mês, mas é recomendado que seja feita uma inspeção semanal no clorador, assim a integridade do sistema de cloração pode ser garantida. Essa estimativa foi baseada na experiência de Bazzarella (2005, p. 86), que realizava a reposição do cloro a cada dois meses de operação.

O cálculo do consumo energético referente à bomba que recalca a água cinza tratada até o reservatório superior pode ser feito relacionando o consumo diário estimado e o preço da tarifa de energia elétrica. Utilizando o manual da bomba CAM-W4C da marca Dancor (DANCOR SA INDÚSTRIA MECÂNICA, 2009), estima-se que para recalque até 18 metros a vazão da bomba é de 2,7 m³/h, resultando assim em 0,56 horas de funcionamento por dia, com isso relaciona-se esse tempo ao consumo energético da bomba que é de cerca de 0,37 kWh. A tarifa da companhia de energia é de aproximadamente 0,32 R\$/kWh (COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2010). Com isso o custo energético mensal estimado da bomba é de R\$ 2,03.

Outro custo inerente ao sistema é a manutenção do filtro de areia. Nesse deve ser feita a troca da camada superficial da areia com uma espessura de aproximadamente 5 cm, totalizando em torno de 1 m³ de areia média ao preço unitário de R\$ 61,28 (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2011a, p. 136). Esse serviço é estimado que seja feito com periodicidade de 12 meses. A cloração deve ser feita com pastilhas de 200 gramas de hipoclorito de cálcio, popularmente chamadas de pastilhas de cloro, ao preço de R\$ 7,81 a unidade (LOJAS TAQI, 2011).

Com esses itens de manutenção e operação elencados acima, foi criado o quadro 26, que traz os custos anteriormente citados divididos por mês.

Item	Custo mensal (R\$)
Manutenção da cloração	7,81
Energia da bomba de recalque	2,03
Manutenção filtro de areia	5,11
Total	14,95

Quadro 26: custos de manutenção para o sistema proposto

6.3 DETERMINAÇÃO DO PERÍODO DE RETORNO

Agora a determinação do período de retorno do investimento pode ser realizada. Tem-se que o valor do investimento inicial para a implantação do sistema de reúso é de R\$ 13.496,68. O valor dos custos de manutenção são estimados em R\$ 14,95 mensais e a economia de água é de 20,99 m³/mês.

Para o cálculo da economia mensal de água em reais pesquisou-se qual o valor da tarifa no site do DMAE (PORTO ALEGRE, 2011a), no qual é declarado que a equação abaixo governa o cálculo do serviço de água:

$$V = PB \times 0,2711 \times C^{1,43577} \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

V = o valor mensal da conta de água, em R\$;

PB = o preço básico da água, que é de 2,21 R\$/m³ (PORTO ALEGRE, 2011b);

C = o consumo mensal de água em m³.

Relacionando o consumo de água mensal e o valor da conta de água gerada por esses consumos, foi elaborado o quadro 27.

Tipo de instalação	Consumo de água da concessionária (m ³)	Valor conta de água (R\$/mês)
Sem sistema de reúso	73,07	284,07
Com sistema de reúso	52,08	174,69
Economia	20,99	109,38

Quadro 27: economia de água em reais

Fazendo a simples subtração do custo de manutenção do que é economizado por mês tem-se R\$ 94,43 de economia efetiva mensal ou R\$ 1.133,16 anualmente.

Para que o período de retorno seja definido, foi considerado que uma taxa de juros de 8% (GEHLING, 2008, p.6) é aplicada sobre o valor anual economizado, que é de R\$ 1.133,16, sendo um fator redutor para que essa parcela anual seja trazida para o tempo presente. Aplicou-se também o reajuste anual da tarifa de água de 8%, valor ligeiramente inferior aos 9,6% do último reajuste aplicado pelo DMAE, que agiu como fator responsável por um aumento do preço da água. Logo, aplicando-se simultaneamente essas duas taxas ao valor economizado, uma que o reduz e a outra que o aumenta, a simples divisão do valor do investimento inicial por essa parcela de economia anual proporcionada pelo reúso das águas cinzas, resultará em uma aproximação do período de retorno do montante investido, conforme a equação abaixo.

$$n = P/U \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

n = o número de anos;

P = o valor do investimento inicial, que é de R\$ 13.496,68;

U = o valor da parcela de economia anual, de R\$ 1.133,16.

A aplicação da equação resulta em 11,91 anos como período de retorno, ou seja, considerando as taxas já descritas e o montante inicial congelado no tempo presente, até o décimo segundo ano o investimento inicial é pago pela economia que esse propicia.

7 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Após o cálculo do período de retorno para o capital investido na implantação do sistema de reutilização das águas cinzas, é conveniente que seja feita uma comparação dos resultados obtidos para a edificação até aqui estudada. Essa comparação pode ser feita com apenas uma modificação que incluiria a residência em um outro contexto, por exemplo, a casa poderia estar localizada na cidade de São Paulo.

No caso da mudança da residência para a capital paulista, adota-se a tarifa cobrada pela Sabesp, concessionária que atende a região. A tarifa aplicada para o quadro de consumo da residência em estudo seria de R\$ 6,10 por metro cúbico (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010), não existindo uma equação para o cálculo do valor da conta de água, é realizada apenas uma simples multiplicação do consumo de água pelo valor unitário do metro cúbico de água. Com isso, é avaliado que a economia na conta seria de R\$ 128,03 por mês. Adotando os mesmos valores para os custos de implantação e de manutenção do sistema de reúso das águas cinzas, R\$ 13.496,68 e R\$ 14,95 respectivamente, chega-se a uma economia efetiva mensal de R\$ 113,08 e ao período de retorno de 9,95 anos.

Um tempo de quase 12 anos determinado para Porto Alegre como período de retorno é relativo. Dependendo das características culturais e sociais dos usuários ele pode ser considerado elevado demais ou aceitável. Para a residência em hipótese nesse trabalho, pode-se considerar que esse tempo é aceitável, visto que uma edificação com suas características, grande área e padrão alto, poderia absorver bem um gasto extra para implantação de um sistema de reúso de água.

Intuitivamente pode-se concluir também que, quanto maior a demanda de água, maior será a economia que um sistema de reúso poderá propiciar e assim, mais atrativa será essa prática. Sistemas de reúso que sirvam condomínios, tanto horizontais quanto verticais, vêm ganhando espaço nos empreendimentos novos, e por atenderem vazões maiores são mais viáveis economicamente.

A qualidade da água cinza tratada também é um importante fator. Os resultados para qualidade do líquido tratado que foram estimados, indicam que a expectativa indicada na

NBR 13.969/97, que cita a turbidez e os coliformes fecais como parâmetros de controle para o reúso de água, é satisfeita. Segundo as projeções realizadas, os resultados estimados para coliformes são inferiores aos 500 NMP/100mL, indicados pela norma. Quanto às referências contidas no Manual da FIESP, a água cinza tratada deste trabalho não conseguiria satisfazer todas as indicações, principalmente em relação aos coliformes fecais. O Manual indica que esses devem ser não detectáveis, no entanto as estimativas realizadas neste trabalho indicam a presença de E. Coli e de coliformes totais. O quadro 28 compara os valores estimados neste trabalho com as recomendações do Manual da FIESP.

Parâmetros	Manual da FIESP (BRASIL et al., 2005, p. 54)	Concentrações estimadas na água cinza tratada
DBO (mg/L)	≤ 10	54,61
Nitrato (mg/L)	≤ 10	0,33
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20	0,43
Nitrito (mg/L)	≤ 1	0,01
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,1	0,29
SST (mg/L)	≤ 5	0

Quadro 28: comparação de parâmetros de controle para o reúso de água

Pode-se observar que algumas condições são satisfeitas ao contrário dos resultados de DBO e fósforo total.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água é um elemento fundamental para a vida, e a crescente escassez das fontes e mau uso desse vem preocupando cada vez mais a sociedade. Campanhas são lançadas, produtos são desenvolvidos e tecnologias são estudadas para que esse problema seja abrandado.

O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de avaliar, ainda que hipoteticamente, a viabilidade de implantação de um sistema de reutilização das águas cinzas em uma residência unifamiliar, habitada por dez pessoas. Avaliou-se a economia que o sistema proporcionaria e relacionando esse aos custos de implantação e manutenção foi determinado o período de retorno para o investimento. Analisando os resultados foi constatado que esse tempo seria de quase 12 anos para a cidade de Porto Alegre.

A qualidade da água cinza tratada pelo sistema definido nesse trabalho tem limitações, e suas características restringem as possibilidades de uso dessa. Com relação aos cuidados inerentes ao sistema de reúso das águas cinzas, pode-se citar que todos os pontos onde essa água é ofertada devem ser devidamente sinalizados e de preferência de acesso restrito. No caso das torneiras de jardim, devem existir também pontos que ofertem água potável, para realização de atividades que exijam uma água de melhor qualidade. Devem ser destacadas algumas pessoas do local, para que à essas sejam delegadas as funções de fiscalização e de manutenção do sistema, de modo que elas advirtam e orientem sobre os riscos da utilização das águas cinzas tratadas. É preciso ter um cuidado especial junto às pessoas que não fazem parte da rotina diária da residência, já que essas podem não ter quaisquer informações sobre o sistema de reúso.

A possibilidade de preservar um recurso que tende a ser cada vez mais precioso não deve ser pensado apenas do ponto de vista econômico. Dessa forma, meios de incentivo e políticas públicas capazes de viabilizar a difusão de práticas, que preservem a água e que façam com que as construções rumem à sustentabilidade devem ser desenvolvidas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, W. C.; KIPERSTOK, A.; ZANELLA, L.; PHILIPPI, L. S.; SANTOS, M. F. L.; VALENTINA, R. S. D.; OLIVEIRA, L. V.; GONÇALVES, R. F. Tecnologias de conservação em sistemas prediais. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 219-294. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosab5_tema%205.pdf>. Acesso em: 20 set. 2010.
- ANDRADE NETO, C. O.; ALÉM SOBRINHO, P.; MELO, H. N. S.; AISSE, M. M. Decanto-Digestores. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999a. p. 117-138. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosabcamposfinal.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2010.
- ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS, J. R.; ALÉM SOBRINHO, P.; CHERNICHARO, C. A. L.; NOUR, E. A.. Filtros Anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999b. p. 139-154. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosabcamposfinal.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- _____. **NBR 13.969**: tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <http://www.engenhariaambiental.unir.br/admin/prof/arq/NBR_13969_-_1997_-_Tanques_Septicos_-_Unidades_Tratamento_Complementar_Disposicao_Final_dos_Eflue.pdf>. Acesso em: 20 set. 2010.
- _____. **NBR 5.626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. **NBR 8.160**: sistemas prediais de esgoto sanitário - projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.
- BAKOF INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE FIBERGLASS LTDA. Manual de Instalação. Frederico Westphalen, RS, [2011]. Disponível em: <http://www.bakof.com.br/manuais/manual_instalacao_reator_filtro_plastico_reforcado_fibra_vidro.pdf>. Acesso em: 5 maio 2011.
- BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Disponível em: <http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/Bazzarella_BB_2005.pdf>. Acesso em: 20 set. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: Prol, 2005. Disponível em:

<www.gerenciamento.ufba.br/Downloads/manual_agua.pdf>. Acesso em: 20 set. 2010.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Custos Composições Sintéticos: Porto Alegre. [Brasília], 2011a. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/download/asp/ent_hist.asp?download=36727>. Acesso em: 5 maio 2011.

_____. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Preços Insumos: Porto Alegre. [Brasília], 2011b. Disponível em:

<http://www1.caixa.gov.br/download/asp/ent_hist.asp?download=36784>. Acesso em: 5 maio 2011.

CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; VON SPERLING, M.; MONTEGGIA, L. A. Tratamento de Esgotos e Produção de Efluentes Adequados a Diversas Modalidades de Reúso da Água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 63-110. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Esgoto-Prosab%20-%20final.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2010.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Comunicado 07/10: tarifas de água e esgoto. São Paulo, 2010. Disponível em:

<http://www2.sabesp.com.br/agvirtual2/tarifas/Comunicado%2007-2010.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2011.

COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Tabela de Tarifas: convencional. Porto Alegre, 2010. Disponível em:

<http://www.cee.com.br/pportal/cee/archives/Tabela_Convencional_2010.pdf>. Acesso em: 5 maio 2011.

DANCOR SA. INDÚSTRIA MECÂNICA. Centrífuga de Aplicações Múltiplas: CAM-W4C. 2009. Disponível em: <http://www.dancor.com.br/products/cat/cam-w4c_cat.pdf>. Acesso em: 12 maio 2011.

FERNANDES, V. M. C.; FIORI, S.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 19-30, 2006. Disponível em:

<<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/viewFile/3676/2042>>. Acesso em: 20 set. 2010.

GEHLING, G. R. A emissão superficial zero de efluentes líquidos em condomínios litorâneos. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13., 2008, Belém. **Trabalhos técnicos ...**. Rio de Janeiro: ABES, 2008. 1 CD-ROM.

GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P. Introdução. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 1-28. Programa de

Pesquisa em Saneamento Básico. Disponível em:

<<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Usos%20%20C3%81gua%20-%20final.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2010.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, n. especial, p. 411-437, 2003.

JAB COMÉRCIO E REPRESENTAÇÕES. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <ggehling@iph.ufrgs.br> em 20 maio 2011.

LIMA, J. G. O paradoxo da água. **Veja**, São Paulo: Abril, ano 38, n. 1926, p. 88-92, 12 out. 2005.

LOJAS TAQI. Cloro Estabilizado em Tablete 200 gramas. [Porto Alegre], 2011. Disponível em: <<http://www.taqi.com.br/product.aspx?idproduct=11781&idDept=144100745>>. Acesso em: 23 maio 2011.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1986.

MAGRI, M. E.; FENELON, F. R.; RABELO, L.; ROSSETO, T. S.; PHILIPPI, L. S. Reúso de águas cinzas tratadas em descarga de vaso sanitário e rega de jardim. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13., 2008, Belém. **Trabalhos técnicos ...**. Rio de Janeiro: ABES, 2008. 1 CD-ROM.

MAY, S ; HESPANHOL, I. Caracterização e Tratamento de Águas Cinzas para Consumo não Potável em Edificações. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta Del Leste. **Anais...** Punta Del Leste : Asociación Interamericana de Ingeniería Ambiental, 2006. p. 7

PHILIPPI, L. S.; VACCARI, K. P.; PETERS, M. R.; GONÇALVES, R. F. Aproveitamento da Água de Chuva. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. p. 73-152. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Usos%20%20C3%81gua%20-%20final.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2010.

PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Água e Esgotos. Decreto n. 9369, de 29 de dezembro de 1988. Regulamenta a Lei Complementar n. 170, de 31/12/87, alterada pela Lei Complementar n. 180, de 18/08/88 que estabelece normas para instalações hidrossanitárias e serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Porto Alegre, 1988**. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/cip9369-decreto.pdf>. Acesso em: 15 maio 2010.

_____. Departamento Municipal de Água e Esgotos. Fórmula de cálculo do serviço de água. **Porto Alegre, 2011a**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=177>. Acesso em: 23 maio 2011.

_____. Departamento Municipal de Água e Esgotos. Preço do m³ e Tarifa Social. **Porto Alegre, 2011b**. Disponível em:

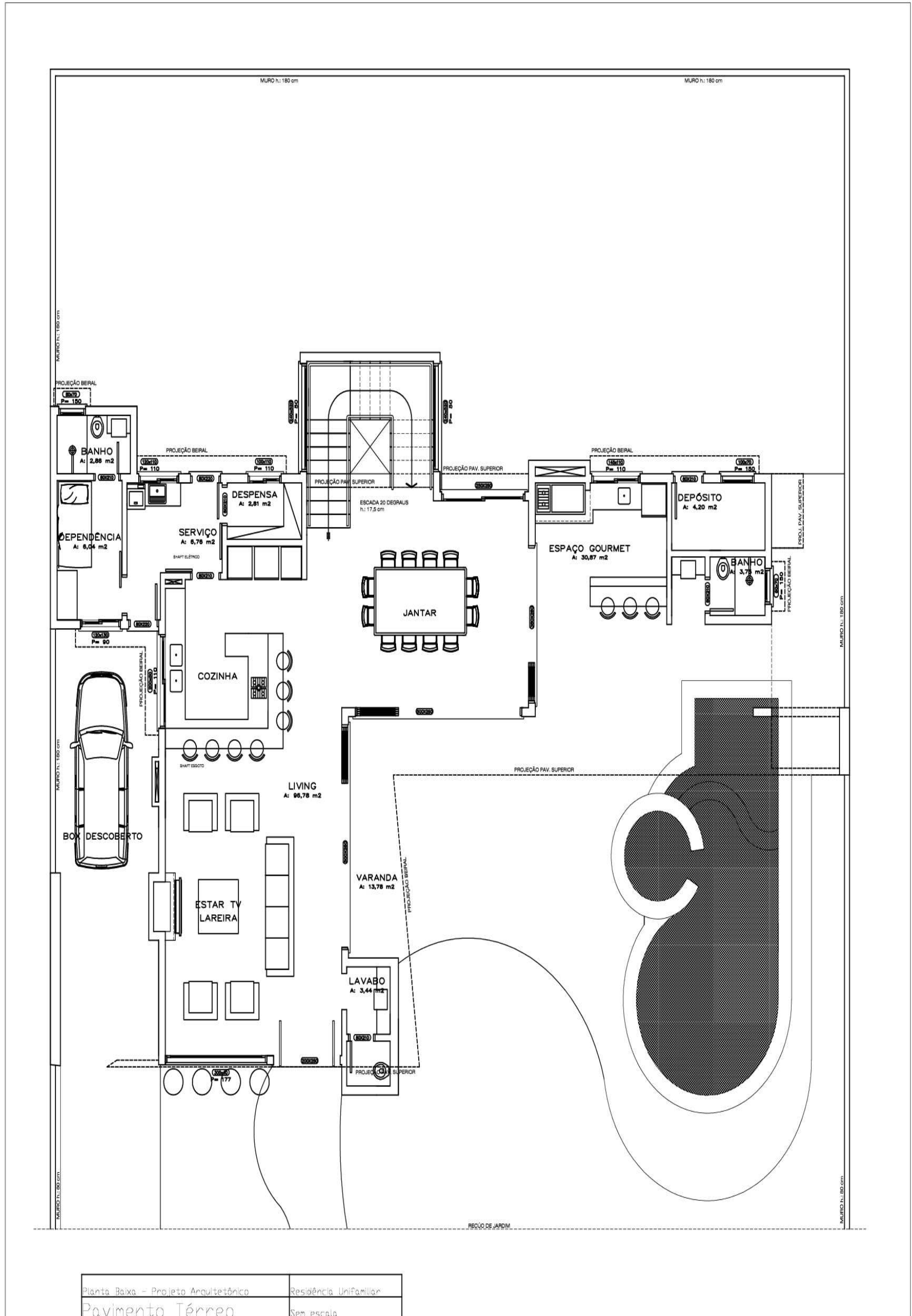
<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?reg=1&p_secao=177>. Acesso em: 23 maio 2011.

PROLAZER PISCINAS Catálogo de produtos: clorador flutuante. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://www.prolazer.com.br/det_produto.php?uId=104>. Acesso em: 5 maio 2011.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 7-18, 2002. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc11030.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2010.

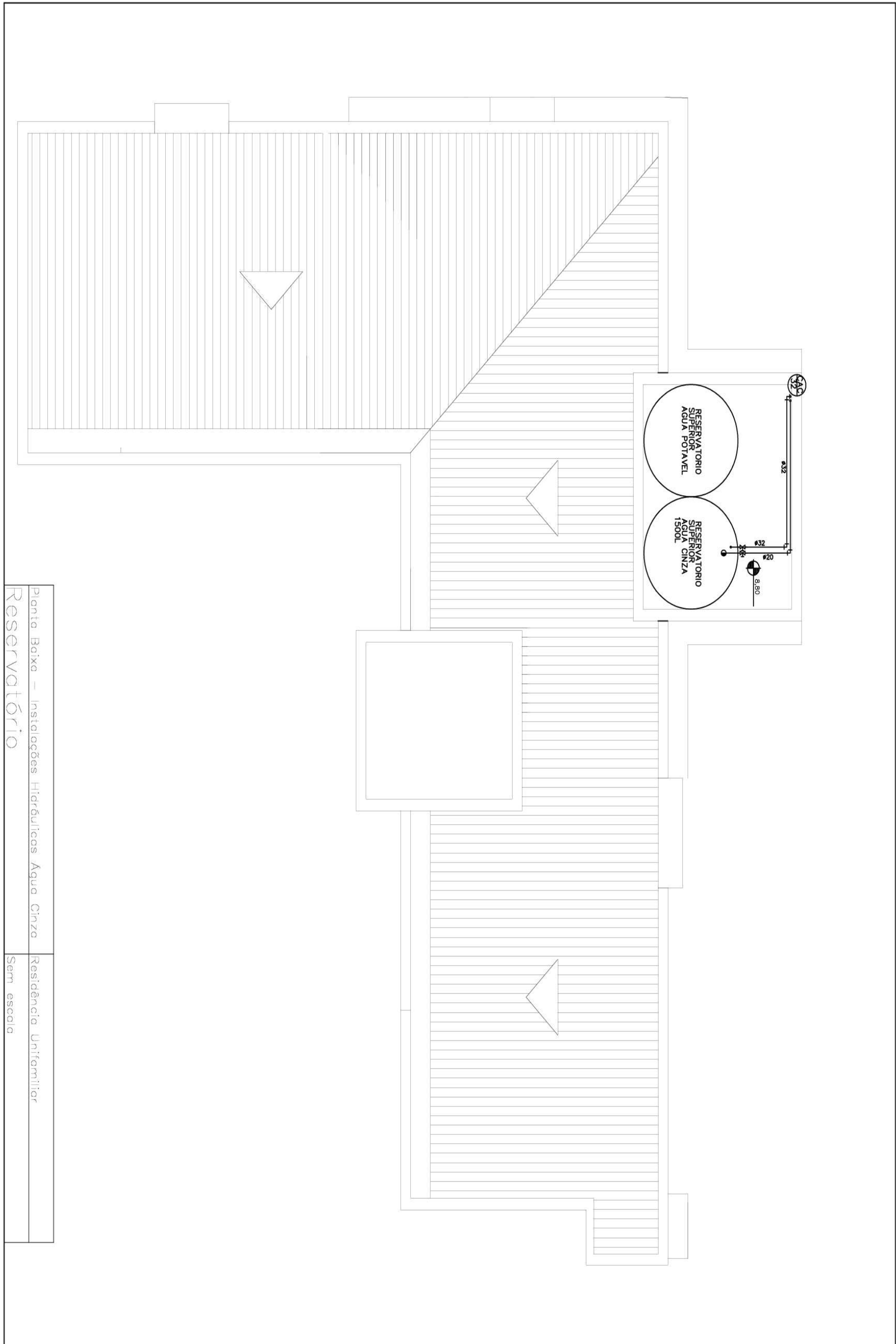
VIGGIANO, M. H. S. Sistemas de reuso das águas cinzas. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 13, n. 98, p. 76-79, maio 2005.

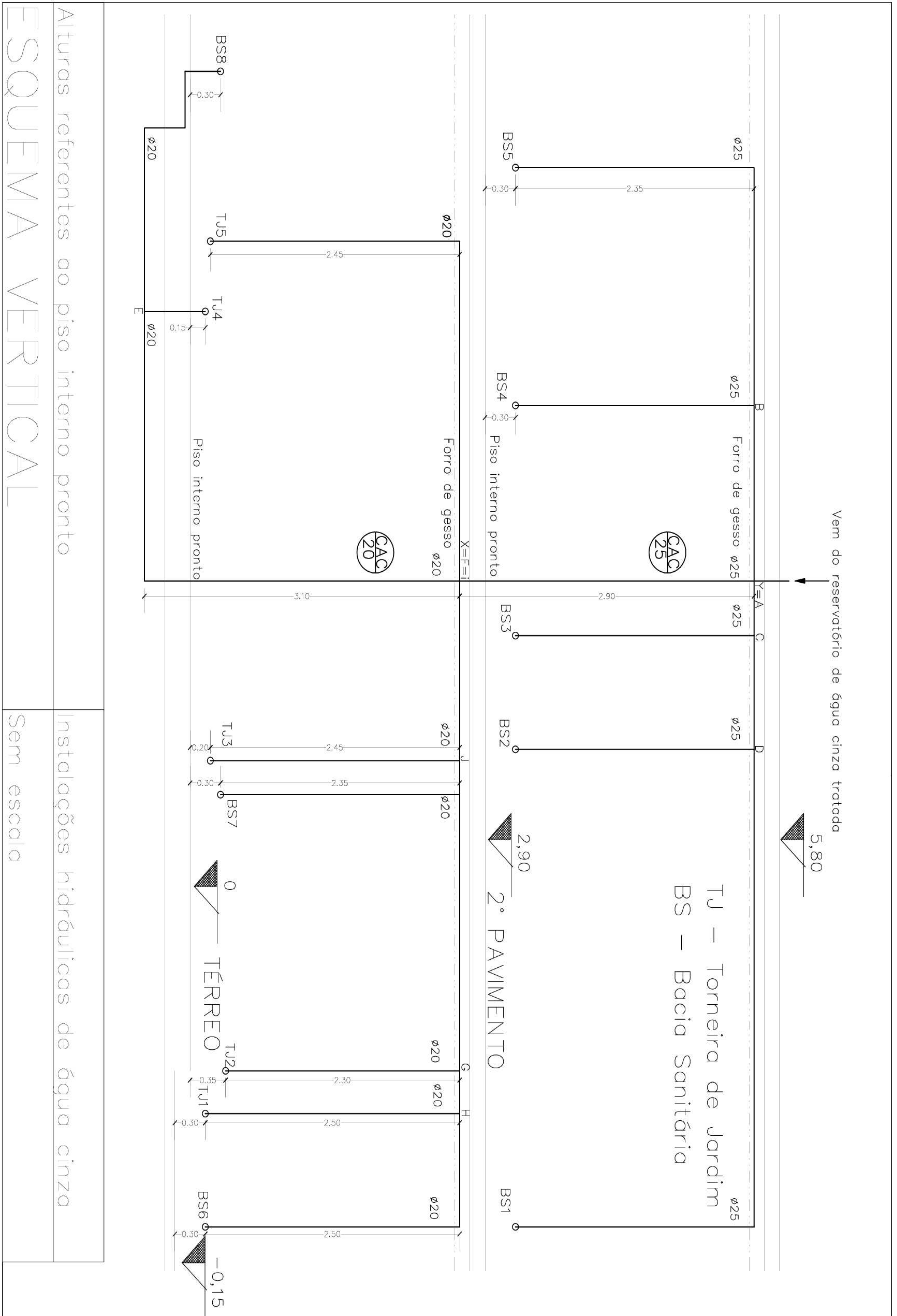
APÊNDICE A – Projeto arquitetônico



Planta Baixa - Projeto Arquitetônico	Residência Unifamiliar
Pavimento Térreo	Sem escada

APÊNDICE B - Projeto do sistema de reúso das águas cinzas



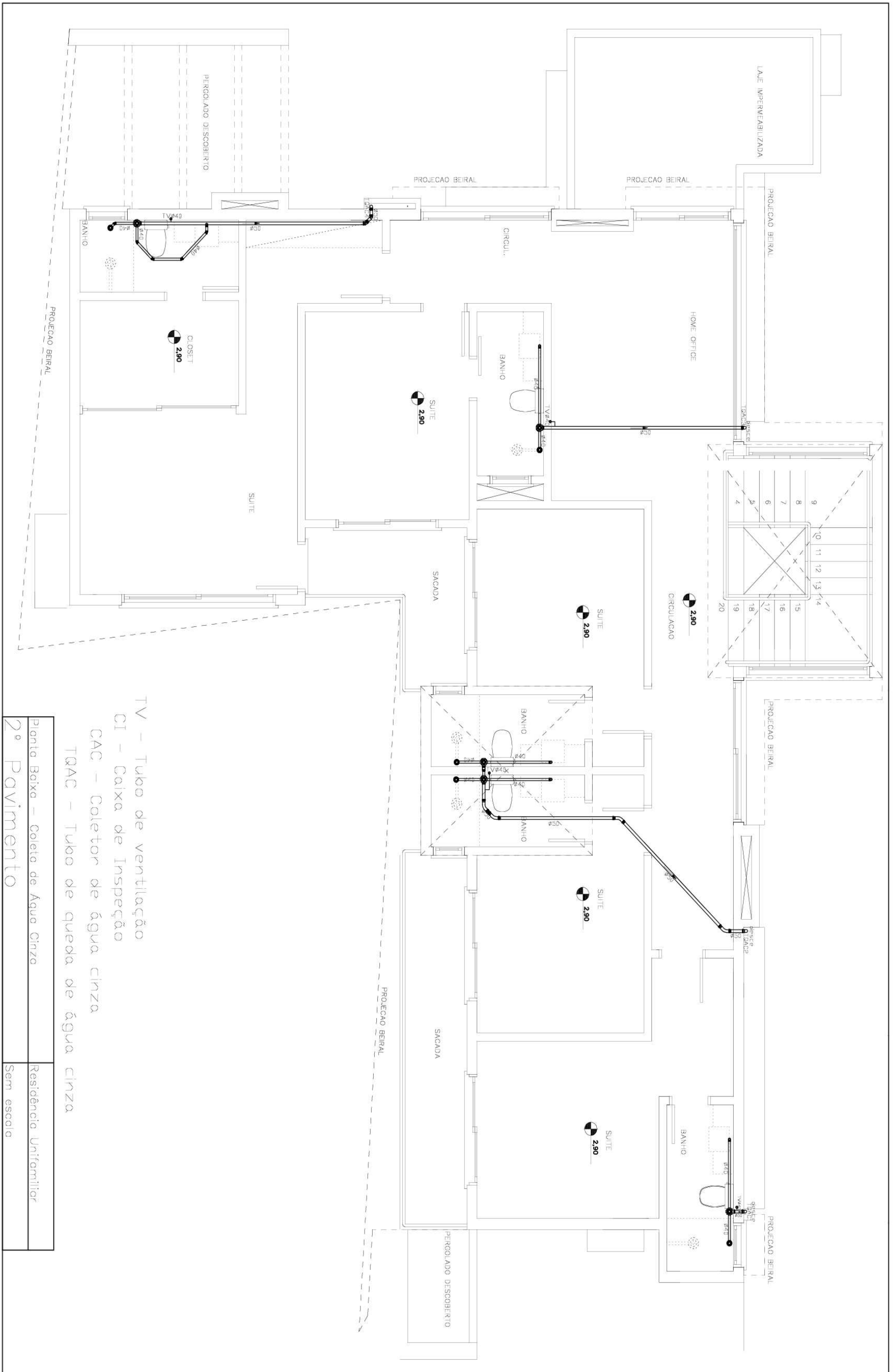


Alturas referentes ao piso interno pronto

ESQUEMA VERTICAL

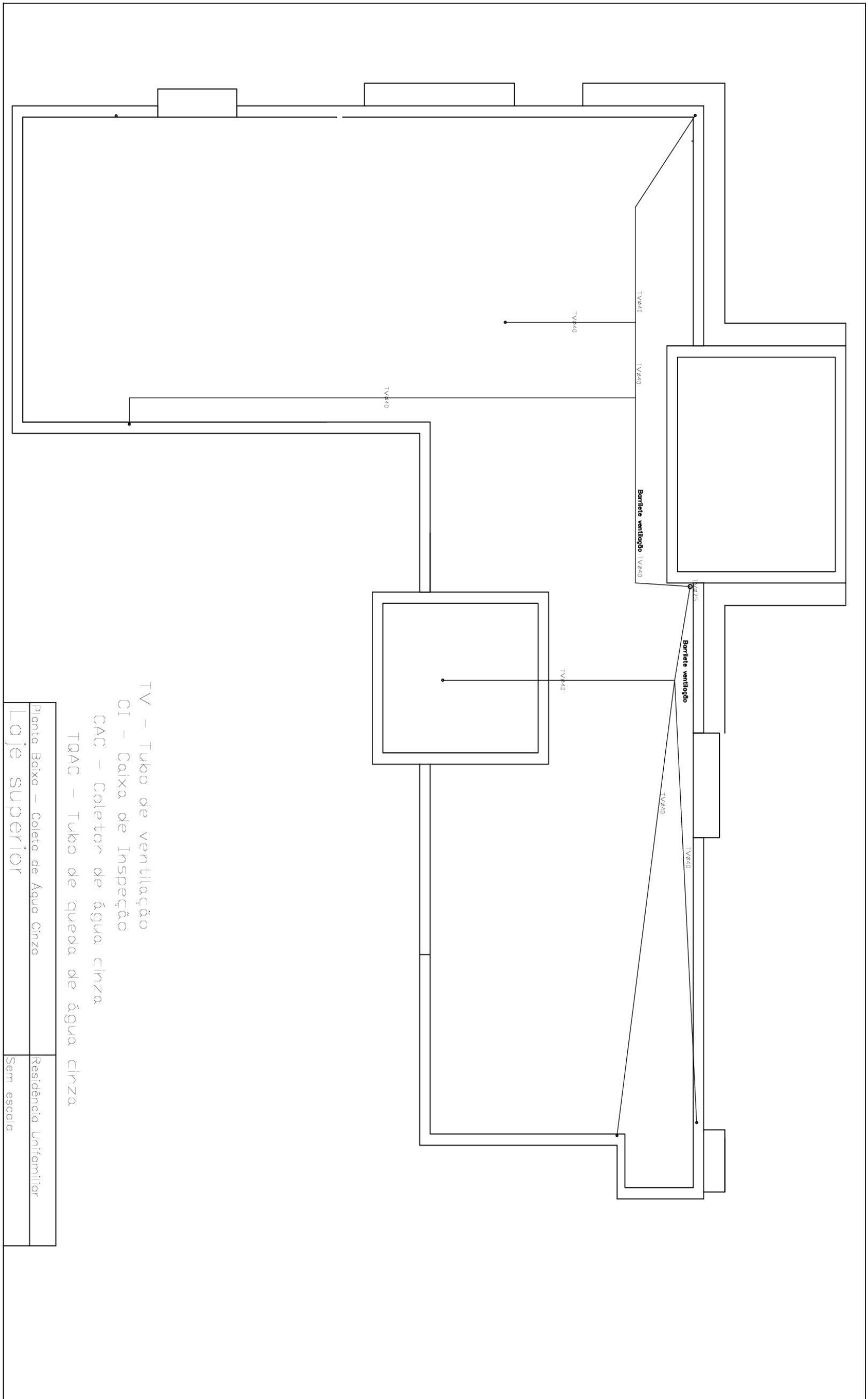
Instalações hidráulicas de água cinza

Sem escala



TV - Tubo de ventilação
 CI - Caixa de Inspeção
 CAC - Coletor de água cinza
 TQAC - Tubo de queda de água cinza

Planta Baixa - Coleta de Água Cinza	Residência Unifamiliar
2º Pavimento	Sem escada



**APÊNDICE C – Planilha de cálculo das tubulações de distribuição das
águas cinzas tratadas**

Planilha de cálculo das tubulações de distribuição das águas cinzas tratadas

Coluna	Trecho	Unifário	Soma dos pesos	Vazão estimada (L/s)	Diâmetro interno (mm)	Velocidade (m/s)	Perda de carga unitária (KPa/m)	Diferença de cota (desce +/- sobe -) (m)	Pressão disponível (KPa)	Comprimento da tubulação (m)			Perda de carga (KPa)			Pressão disponível residual (KPa)
										Real	Equivalente	Total	Tubulação	Conexões	Total	
	1-Y	0	4,4	0,63	27,8	1,04	0,53	3,35	33,5	7,03	15,9	22,93	3,76	8,50	12,25	21,25
	Y-A	0	1,5	0,37	27,8	0,61	0,21	0	21,25	3,07	4,6	7,67	0,64	0,96	1,60	19,65
	A-C	0	0,9	0,28	21,4	0,79	0,46	0	19,65	4,98	3,1	8,08	2,30	1,43	3,73	15,92
	C-D	0	0,6	0,23	21,4	0,65	0,32	0	15,92	1,01	3,1	4,11	0,33	1,00	1,33	14,59
	D-B1	0,3	0,3	0,16	21,4	0,46	0,18	2,35	38,09	2,35	3,7	6,05	0,42	0,65	1,07	37,02
	D-B2	0,3	0,3	0,16	21,4	0,46	0,18	2,35	38,09	2,35	4,5	6,85	0,42	0,79	1,21	36,88
	C-B3	0,3	0,3	0,16	21,4	0,46	0,18	2,35	39,42	2,35	4,5	6,85	0,42	0,79	1,21	38,21
	A-B	0	0,6	0,23	21,4	0,65	0,32	0	19,65	1,55	3,1	4,65	0,50	1,00	1,51	18,14
	B-B4	0,3	0,3	0,16	21,4	0,46	0,18	2,35	41,64	5,61	3	8,61	0,99	0,53	1,52	40,12
	B-B5	0,3	0,3	0,16	21,4	0,46	0,18	2,35	41,64	16,02	5,2	21,22	2,83	0,92	3,75	37,90
	Y-X	0	2,9	0,51	21,4	1,42	1,29	2,9	50,25	2,9	3,1	6	3,73	3,99	7,71	42,53
	X-F	0	2,2	0,44	17	1,96	3,01	0	42,53	4,28	2,4	6,68	12,89	7,23	20,13	22,41
	F-I	0	1,1	0,31	17	1,39	1,64	0	22,41	6,4	2,4	8,8	10,51	3,94	14,46	7,95
	I-J	0	0,7	0,25	17	1,11	1,11	0	7,95	6,25	3,4	9,65	6,91	3,76	10,67	-2,72
	J-T3	0,4	0,4	0,19	17	0,84	0,68	2,45	21,78	3,38	2,4	5,78	2,29	1,63	3,92	17,86
	J-B7	0,3	0,3	0,16	17	0,72	0,53	2,35	20,78	2,61	2,4	5,01	1,38	1,26	2,64	18,14
	J-T5	0,4	0,4	0,19	17	0,84	0,68	2,45	21,78	7,04	2,4	9,44	4,77	1,63	6,40	15,38
	F-G	0	1,1	0,31	17	1,39	1,64	0	22,41	6,43	2,4	8,83	10,56	3,94	14,51	7,90
	G-H	0	0,7	0,25	17	1,11	1,11	0	7,90	3,87	2,4	6,27	4,28	2,65	6,94	0,97
	H-B6	0,3	0,3	0,16	17	0,72	0,53	2,5	25,97	4,2	2,4	6,6	2,21	1,26	3,48	22,49
	H-T1	0,4	0,4	0,19	17	0,84	0,68	2,5	25,97	4,28	2,4	6,68	2,90	1,63	4,53	21,44
	G-T2	0,4	0,4	0,19	17	0,84	0,68	2,3	30,90	5,84	2,4	8,24	3,96	1,63	5,59	25,32
	X-E	0	0,7	0,25	17	1,11	1,11	3,1	73,53	7,48	4,8	12,28	8,27	5,31	13,58	59,95
	E-B8	0,3	0,3	0,16	17	0,72	0,53	-0,75	52,45	5,47	4,8	10,27	2,88	2,53	5,41	47,04
	E-T4	0,4	0,4	0,19	17	0,84	0,68	-0,6	53,95	1,1	2,2	3,3	0,75	1,49	2,24	51,71