



Marleny Aramayo Berrios Pereira

Licenciada em Engenharia Civil

**SANEAMENTO BÁSICO DE FLUXO
CÍCLICO PARA A INOVAÇÃO DA
NORMA BOLIVIANA 688**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: António Carmona Rodrigues, Prof. Doutor, FCT/UNL

Co-orientador: Richard Ivan Medina Hoyos, Prof. Doutor, UJMS

Júri: António Pedro de Macedo Coimbra Mano, Prof. Doutor, FCT/UNL

Júri: Pedro Santos Coelho, Prof. Doutor, FCT/UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro, 2014

SANEAMENTO BÁSICO DO FLUXO CÍCLICO PARA A INOVAÇÃO DA NORMA BOLIVIANA 688

“Copyright”

“A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor”.

"Só quando a última árvore for derrubada, o último peixe for morto e o último rio for poluído é que o homem perceberá que não pode comer dinheiro."

Provérbio Indígena

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer ao meu orientador e co-orientador: Prof. Doutor António Carmona Rodrigues (UNL – Portugal) e ao Doutor Ivan Medina Hoyos, (UJMS – Bolívia) pelo apoio, orientação, dedicação, paciência e amizade que mantiveram ao longo do período em que decorreu o desenvolvimento e elaboração da presente dissertação. Também agradecer ao Prof. Doutora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro e à Eng.ª Margarida Correia, obrigada pela colaboração e apoio.

Também quero agradecer a outras pessoas que, directa ou indirectamente, contribuíram para a elaboração desta dissertação. Às minhas colegas e amigas (os) Carla Graça, Rita Marteleira, Rute Fonseca, Margarida Honório, Susete Mestre, Marina Risinho, Joana Silva, Joana Duarte, Vitorino, Paulo Almeida e Ronildo Da Costa, obrigada pelo apoio e pelas críticas construtivas na elaboração da Dissertação. Quero igualmente agradecer à Dra. Felicidade Ferreira, que num momento de *stress* me transmitiu paz e compreensão.

Agradeço a toda a minha família. Aos meus pais Bernardo (Q.P.D.) e Irene, por me terem transmitido valores e objectivos a atingir, e também a meus cinco irmãos, por estarem presentes emocional e incondicionalmente ao longo desta meta a alcançar.

E, por último agradecer, em especial, ao meu esposo, Luís Manuel Pereira Dias, pela paciência, compreensão e apoio incondicional.

RESUMO

O estado actual do saneamento básico na Bolívia e noutros Países em desenvolvimento, por factores que exercem pressões sobre os recursos hídricos, é incompatível entre a oferta existente e a crescente procura de água. Cria-se um desequilíbrio, agravado pela distribuição temporal e espacial, bem como pela degradação acelerada dos meios receptores, devido ao forte crescimento demográfico das populações, novos hábitos de vida e desenvolvimento urbano e industrial, sem um adequado planeamento. A desejável adaptação da Norma Boliviana 688, apostando numa descentralização dos sistemas de tratamento de águas residuais como uma alternativa eficiente, eficaz e sustentável, pressupõe, um tratamento com uma tecnologia adequada. No presente trabalho propõem-se, dentro do enquadramento teórico no contexto adaptado à NB 688, os fundamentos dos modelos de saneamento básico do fluxo linear caracterizando-se por uma autodepuração impossível provocando um impacto ambiental irrecuperável, pois apresentam perda de nutrientes, sistemas de ligações unitários para as águas residuais, não existem estações de tratamento ou o funcionamento é deficiente. No entanto, o modelo do fluxo cíclico caracteriza-se pela autodepuração viável, capital ambiental sustentável e eficiente mediante as ligações dos sistemas separativos das águas residuais, disposição de estações de tratamentos, reutilização das águas residuais tratadas, inovando em termos de produtividade e de reutilização de nutrientes, fechando o ciclo da água e nutrientes.

Inovar a Norma Boliviana 688 considerando um saneamento sustentável do fluxo cíclico, adaptadas para as diversas populações, protegendo a sua saúde, garantindo a implantação de estações de tratamentos eficientes descentralizadas, valorizando a qualidade das águas tratadas aptas para culturas de rega, oferecendo benefícios económicos, sociais e ambientais.

Palavras-chave: NB 688, Saneamento Básico Sustentável, Fluxo Linear, Fluxo Cíclico, Eficiência de Remoção, Reutilização, Meios Receptores, Recursos Hídricos.

ABSTRACT

The current state of basic sanitary conditions in Bolivia and in Developing Countries, by factors that put pressure on water resources is incompatible between existing supplies and increasing demand for water, it conceives an imbalance with inefficient temporal, and spatial distribution and also with an accelerated degradation of the receptor means, due to strong population growth, and new habits of life and urban and industrial development without proper planning and adaptation of 688 Bolivian Norm betting on a decentralization of wastewater treatment systems as an efficient, effective and sustainable alternative, however, treatment with an appropriate technology. The present assignment proposes, within a theoretical framework adapted to the context of BN 688 fundamentals, models of linear sewerage flow that can adapt and adequate to the cyclic flow model, with the reuse of wastewater innovating productivity and profiting from nutrients, closing the full cycle of water and nutrients. Sustainable sanitation and evaluation of efficiencies in relation to quality parameters has option between the conventional and unconventional treatment systems.

Innovating the 688 Bolivian Norm considering the sustainable sanitation achieved through the cyclical flow, its adaptation to various populations and the improvement of their health protection is essential, as well as ensuring the implantation of decentralized efficient water treatment facilities and valuing the quality of the water that is used for agriculture. Thus, offering economic, social and environmental benefits.

Key words: BN 688, Sustainable Sanitation, Linear Flow, Flow Loop, Removal Efficiency, Reuse, Receptor Means, Water Resources.

SIMBOLOGIA E ANOTAÇÕES

AAPS - Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico

CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria

CPE - Constitución Política del Estado

CONAGUA - Comisión Nacional del Agua

COSALT - Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija

DIGESBA - Dirección General de Saneamiento Básico

ETAR - Estações de Tratamento de Águas Residuais

EPSA - Empresas Prestadoras de Serviço de Água e Saneamento

EPSA - Entidad Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarrillado Sanitario

FAO - Food and Agriculture Organization (Organizações das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação)

FNDT - Fondo Nacional de Desarrollo Rural

GIRH - Gestão Integrada de Recursos Hídricos

GTZ - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Agência Alemã de Cooperação Internacional)

I&D - Investigação e Desenvolvimento

IBNORCA - Instituto Boliviano de Normalização y Calidad del Agua

INE - Instituto Nacional de Estadística de Bolivia

IAWQ - (International Association on Water Quality)

MMAyA - Ministerio de Medio Ambiente y Agua

NB 688 - Norma Boliviana de Instalaciones Sanitarias, Alcantarrillado

ODM - Objetivo Mundial do Milénio

OMS - Organização Mundial de Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

ONGD - Organizações Não Governamentais de Desenvolvimento

OPS - Organización Panamericana de la Salud

PND - Plan Nacional de Desarrollo

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PROSABAR - Programa de Saneamiento Básico Rural

PROAGRO - Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable

RMCH - Reglamentación en Matéria de Contaminación Hídrica Ley 133

SENABSA - Servicio Nacional para la Sostenibilidad del Saneamiento Básico

SBR - Sequencing Batch Reactor

SENARI - Servicio Nacional de Riego

TMI - Taxa de Mortalidade Infantil

VAPS - Viceministro de Agua Potável y Saneamiento Básico

COMPOSTOS, FÓRMULAS E ABREVIATURAS QUÍMICAS

[Ca(OH)₂] - Cal hidratada

CBO₅ - Carência bioquímica de oxigénio

(CaO) - Cal viva

CF - Coliformes fecais

COV - Compostos orgânicos voláteis

(CO₂) - Dióxido de carbono

CQO - Carência química de oxigénio

Hab-eq. - Habitantes-equivalentes

NH₃ - Amoníaco

N_t - Azoto total

P_t - Fósforo total

pH - Potencial hidrogeniónico

SST - Sólidos suspensos totais

ÍNDICE DE MATÉRIAS

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
SIMBOLOGIA E ANOTAÇÕES	xi
ÍNDICE DE MATÉRIAS	xiii
Índice de Figuras	xvii
Índice de Tabelas	xix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Justificação	5
1.3 Objectivos	7
1.4 Âmbito geográfico	7
1.5 Metodologia e estrutura da dissertação	9
2. CARACTERIZAÇÃO TEÓRICA E CONCEPTUAL PARA A INOVAÇÃO DA NB 688	11
2.1 Saneamento básico do fluxo linear e do fluxo cíclico	11
2.1.1 Características do saneamento de fluxo linear	12
2.1.1.1 Concepção sectorial	13
2.1.1.2 Tecnologia especializada	14
2.1.1.3 Capital económico	14
2.1.1.4 Estratégias a curto prazo	14
2.1.1.5 Ciclo incompleto	14
2.1.1.6 Unidade produtiva baseada numa ideia de <i>stock</i> fixo	15
2.1.2 Características do saneamento básico de fluxo cíclico	15
2.1.2.1 Concepção holística	16
2.1.2.2 Tecnologia integradora	16
2.1.2.3 Formas de capital consideradas	17
2.1.2.4 Planeamento e estratégia a longo, médio e curto prazo	17
2.1.2.5 Fluxo de ciclo fechado	17
2.1.2.6 Sistema integrado de utilização da água como um recurso limitado	18

2.2. Tecnologia para o desenvolvimento humano (TpDH) e tratamento adequado	18
2.3 Gestão integral da água residual	22
2.3.1 Gestão adequada da água residual	22
2.3.2 Gestão descentralizada das águas residuais e tratamento adequado	22
2.3.3 Estudos aplicáveis à gestão adequada do tratamento das águas residuais	23
3. CARACTERIZAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL - SANEAMENTO BÁSICO NA BOLÍVIA....	25
3.1 Indicadores de saneamento básico.....	25
3.1.1 Mortalidade infantil e saneamento básico.....	25
3.1.2 Cobertura de água potável e saneamento básico na Bolívia	27
3.1.3 Indicadores da qualidade dos serviços públicos.....	29
3.1.4 Contaminação dos meios receptores.....	30
3.2 Descrição e características da Norma Boliviana 688.....	32
3.2.1 Estrutura da NB 688.....	33
3.2.2 Projecto de sistemas de tratamento de águas residuais segundo a NB 688	33
3.2.3 Terminologia, fases e processos de tratamento contemplada na NB 688	34
3.3 Descrição institucional e legal do saneamento básico na Bolívia.....	36
3.3.1 Principais autoridades governamentais	37
3.3.2 Intervenientes directos	37
4. AVALIAÇÃO DA NORMA BOLIVIANA NB 688	39
4.1 Fundamento para a avaliação da NB 688 e sua inovação	39
4.2 Sustentabilidade dos serviços prestadores e regulação de tarifas.....	39
4.3 Revisão da NB 688 e objectivos a atingir com base no fluxo cíclico e na gestão da água residual	41
4.4 Tecnologia apropriada.....	42
4.5 Avaliação dos sistemas de tratamentos da NB 688.....	43
4.6 Avaliação de custos de construção e exploração.....	44
4.7 Eficiência das unidades de tratamento	45
4.8 Cumprimento da normativa ambiental na actualidade.....	46
4.9 Condições ambientais e socioeconómicas a aplicar nos sistemas de tratamento	49
5. PROPOSTA E CONTRIBUTOS PARA A REVISÃO DA NB 688 - BASEADO NUM MODELO DE FLUXO CÍCLICO	51
5.1 Proposta de tratamentos anaeróbio de águas residuais – digestores anaeróbios.....	51
5.2 Fossas sépticas.....	53

5.3 Lagunagem.....	55
5.4 Leitões de macrófitas	61
5.4.1 Composição dos sistemas de macrófitas.....	62
5.4.2 Classificação dos leitões de macrófitas	64
5.4.3 Principais problemas operacionais observados.....	65
5.5 Sistemas compactos pré-fabricados	66
5.6.1 Enquadramento.....	66
5.6.2 Caracterização da água residual afluyente.....	67
5.6.3 Sequência de concepção e dimensionamento de uma ETAR	68
5.6.4 Dimensionamento dos equipamentos complementares	70
5.6.5 Sistema de tratamento de águas residuais.....	71
5.6.5.1 Fase líquida	71
5.6.5.2 Fase sólida.....	76
5.6.6 Órgãos de emergência/minimização de descargas não tratadas.....	77
5.6.7 Sistema de desodorização	77
5.6.8 Edifício de exploração	78
5.7 Descarga de águas residuais tratadas.....	78
5.8 Reutilização das águas residuais e parâmetros para a irrigação dos cultivos agrícolas segundo recomendações da OMS e de Normas Internacionais	78
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS NA APLICAÇÃO DO MODELO DE FLUXO CÍCLICO E RECOMENDAÇÕES.....	87
7. CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E DIGITAIS.....	91

Índice de Figuras

FIGURA 1. 1 GEOGRAFIA DA BOLÍVIA E AS TRÊS ZONAS PREDOMINANTES (ALTIPLANO, VALES E AMAZÓNIA).....	8
FIGURA 1. 2 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO PARA A INOVAÇÃO NB 688	10
FIGURA 2. 1 SISTEMAS CENTRALIZADOS CONVENCIONAIS DO FLUXO LINEAR	11
FIGURA 2. 2 CARACTERÍSTICAS DO FLUXO LINEAR BASEADAS NUM STOCK FIXO.....	12
FIGURA 2. 3 DIFERENÇAS E CARACTERÍSTICAS DO FLUXO LINEAR E CÍCLICO	13
FIGURA 2. 4 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO CONCEITO DE TPDH	19
FIGURA 3. 1 EVOLUÇÃO DA TMI NA BOLÍVIA	26
FIGURA 3. 2 IMPLEMENTAÇÃO DE TORNEIRAS DE EMERGÊNCIA NAS ÁREAS RURAIS (GARRAFAS PET).....	27
FIGURA 3. 3 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE LIGAÇÕES DAS ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS (UNITÁRIOS)	30
FIGURA 3. 4 RIO CONTAMINAÇÃO DO RIO GUADALQUIVIR TARIJA – BOLÍVIA	31
FIGURA 3. 5 COBERTURA DE ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO BÁSICO, 2013.....	36
FIGURA 4. 1 ESQUEMA ESTRATÉGICO DAS INTERVENÇÕES DOS SECTORES	41
FIGURA 5. 1 TRATAMENTOS ANAERÓBIOS REUTILIZAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES	52
FIGURA 5. 2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE UMA FOSSA SÉPTICA EM BETÃO	54
FIGURA 5. 3 SISTEMAS DE TRATAMENTO POR LAGUNAGEM.....	56
FIGURA 5. 4 DIAGRAMA LINEAR DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	58
FIGURA 5. 5 SISTEMA DE CONSTRUÇÃO DE LEITOS DE MACRÓFITAS	63
FIGURA 5. 6 ESPÉCIES DE MACRÓFITAS UTILIZADAS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS.....	63
FIGURA 5. 7 CLASSIFICAÇÃO DOS LEITOS MACRÓFITAS	64
FIGURA 5. 8 CICLOS DOS NUTRIENTES QUANDO COMBINADOS COM O CICLO HIDROLÓGICO CONTAMINAM	85

Índice de Tabelas

TABELA 3. 1 TMI NA BOLÍVIA (2000-2012).....	26
TABELA 3. 2 COBERTURAS DE ÁGUA POTÁVEL NAS ÁREAS URBANAS E RURAIS DA BOLÍVIA.....	28
TABELA 3. 3 COBERTURAS DE SANEAMENTO BÁSICO NAS ÁREAS URBANAS E RURAIS	28
TABELA 3. 4 PARÂMETROS MÍNIMOS DAS ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS, LANÇADAS NOS MEIOS RECEPTORES	32
TABELA 3. 5 CLASSIFICAÇÃO GERAL DAS MASSAS DE ÁGUA.....	32
TABELA 4. 1 CUSTOS ESPECÍFICOS À CONSTRUÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTOS MAIS COMUNS NA BOLÍVIA	44
TABELA 4. 2 CUSTOS DE EXPLORAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTOS MAIS COMUNS NA BOLÍVIA.....	45
TABELA 4. 3 EFICIÊNCIAS MÉDIAS DE REMOÇÃO PELOS SISTEMAS.....	46
TABELA 4. 4 QUALIDADE DOS EFLUENTES FINAIS E LIMITES DE DESCARGA PERMITIDOS - CONCENTRAÇÕES BAIXAS	47
TABELA 4. 5 QUALIDADE DOS EFLUENTES FINAIS E LIMITES DE DESCARGA PERMITIDOS - CONCENTRAÇÕES MÉDIAS	47
TABELA 4. 6 QUALIDADE DOS EFLUENTES FINAIS E LIMITES DE DESCARGA PERMITIDOS - CONCENTRAÇÕES FORTES	48
TABELA 4. 7 CONCENTRAÇÕES MAIS COMUNS DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS BRUTAS	48
TABELA 5. 1 VALORES LIMITES DE LANÇAMENTO DOS EFLUENTES TRATADOS DE ETAR NA BOLÍVIA	60
TABELA 5. 2 DIAGNÓSTICO DAS MAIORES E PRINCIPAIS ETAR DA BOLÍVIA	61
TABELA 5. 3 QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS RESIDUAIS PARA A IRRIGAÇÃO, PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO	83
TABELA 5. 4 SISTEMAS DE TRATAMENTOS MAIS COMUNS E DISPOSIÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS	84

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A Bolívia, na actualidade, ainda apresenta problemas com o abastecimento de água potável para consumo humano, especialmente nas zonas rurais, e o tratamento das águas residuais não merece a devida atenção.

Há mais de três décadas que a maioria da população se concentra preferencialmente nas zonas urbanas da Bolívia, tal como acontece em outros países latino-americanos. Este factor de sobrepopulação nas zonas urbanas, tem sido a principal consequência do aumento da procura *per capita* de água potável e, conseqüentemente, do aumento da poluição dos meios receptores (Medina, 2005).

Na actualidade, como antigamente, frequentemente utiliza-se uma só torneira de água potável, por família, e, muitas vezes, por comunidade (várias famílias).

Em algumas comunidades rurais não existem casas de banho e os resíduos são depositados a céu aberto. Adicionalmente, nas zonas urbanas e áreas circundantes, utilizam-se fossas sépticas de má construção e inadequadas do ponto de vista técnico, como sistema de deposição das águas residuais.

A água é um recurso natural essencial à vida do homem e às suas actividades, em particular às actividades económicas de produção de bens e serviços. É um recurso natural, cuja disponibilidade compromete fortemente o desenvolvimento económico e o bem-estar social, pois ao contrário de outros recursos, não pode ser substituído na maior parte das suas utilizações (Cunha *et al.*, 1998).

A carência de água, bem como as deficiências de serviços de saneamento básico, têm tido profundas repercussões na evolução dos povos. Além da água ser um elemento imprescindível à vida do Homem, também as suas características em termos de qualidade o são. Assim, também deve ser garantido o destino final adequado das águas residuais, possibilitando sempre que possível a sua reutilização (Cunha *et al.*, 1998).

As necessidades de água para consumo, função do crescimento demográfico das populações urbanas e rurais, têm induzido à adopção incompleta (poluição das águas), inadequada e sem bases lógicas de um modelo de saneamento básico do primeiro mundo, apesar de, actualmente se verificar uma evolução visível, mas ainda insuficiente e pouco sustentável (*Sustainable Sanitation and Water Mangemet*, 2011).

As águas residuais sem tratamento e/ou com um destino final inadequado, sendo um modelo incompleto de fluxo linear, não correspondem a uma solução sustentável. No entanto, este facto apresenta um aspecto positivo, pois significa que a montante houve abastecimento de água que

causou a descarga dessas águas residuais, e se existiu uma descarga destas águas residuais chegando, isto implica que existe uma ligação aos colectores que, na sua maioria são de sistemas unitários, através dos quais são colectadas as águas domésticas, pluviais e, muitas vezes ilegalmente, conectam-se também os efluentes de pequenas indústrias (curtumes, produtores de derivados de leite, engenhos mineiros, lixiviação dos solos por pesticidas, entre outros). Embora não sendo a solução mais adequada é, contudo, uma hipótese viável a curto prazo (*Sustainable Sanitation and Water Mangemet*, 2011).

Segundo dados da GTZ (Agência Alemã de Cooperação Internacional), os principais factores de contaminação dos meios receptores são os coliformes fecais (CF) e a lixiviação dos solos por águas ácidas mineiras, provocando um efeito negativo na saúde pública e também no desenvolvimento socioeconómico do país.

O modelo do fluxo linear foi aceite como um processo de “desenvolvimento”, sem ser legitimado, questionado, ou analisado, sendo incapaz de evoluir ou de se adaptar, para um desenvolvimento baseado na realidade endógena do contexto (no primeiro mundo tem tido uma contínua evolução, com base nas necessidades do correspondente contexto, capacidade tecnológica e económica), com consequências desastrosas para a saúde pública nos países em vias de desenvolvimento, incluindo a Bolívia (Medina, 2005).

De acordo com um relatório da FAO de 2006, a agricultura é o principal consumidor de água em termos de sectores de actividade, sendo responsável por cerca de 80% do consumo mundial. Tal facto também se verifica na Bolívia, o que tem levado à reutilização inadequada da água como único recurso de sobrevivência, pondo em causa a saúde das pessoas, pelo seu consumo directo ou indirecto, através dos alimentos regados por água contaminada proveniente de meios receptores poluídos ou com baixos índices de qualidade. Neste contexto, é importante mencionar dois episódios que presentemente se verificam na Bolívia:

- Na zona dos vales, que compreende os municípios de Sacava, Cercado, Quillacollo Colcapirhua, Sipe Sipe, Tiquipaya e Vinto, (Cochabamba) onde, segundo o relatório de Guzmán, 2014, assessor técnico do Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable (PROAGRO), actualmente cerca de 5.700 hectares são regados com águas residuais não tratadas, existem casos de cólera contínuos, por vezes incontroláveis. Nesta zona, dos vales de Cochabamba, encontram-se os maiores produtores de lacticínios e vegetais e a procura de água é crescente.
- Outro episódio marcante é que, com base numa auditoria da Controlaroiia-General – 2013 numa análise de avaliação esporádica, os vegetais e legumes cultivados em Mecapaca (cidade vizinha de La Paz) estão contaminados com arsénico, crómio, cobre e outros elementos tóxicos, além de microrganismos, tais como *Escherichia coli* ou *Salmonella*. Porém, a zona de Mecapaca é a principal fornecedora de vegetais aos habitantes de La Paz, nomeadamente: couve-flor, brócolos, alface, beterraba, salsa e tomate. É importante

destacar que nesta zona existe escassez de água potável, o que induz à rega das culturas com águas contaminadas.

Em 2010, a Organização das Nações Unidas (ONU) divulgou dados de que existem 884 milhões de pessoas sem acesso a água potável segura. Em contrapartida, a Organização Mundial de Saúde (OMS), em 2010, apresentou dados que demonstram que cerca de 2,6 mil milhões de pessoas, um terço da população mundial, continuam sem acesso a infra-estruturas de saneamento básico adequadas.

A água potável segura e o saneamento adequado são fundamentais para a redução da pobreza, para o desenvolvimento sustentável e para a prossecução de todos e cada um dos Objectivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM) - (Ban Ki-Moon, Secretário-Geral da ONU, 2010).

De acordo com os dados destas organizações (ONU e OMS), estima-se que três a quatro milhões de crianças com idade inferior a cinco anos morrem anualmente (10.000 crianças por dia), e outras 10.000 pessoas morrem a cada 60 segundos, devido a doenças relacionadas com a água.

Na América Latina, e a Bolívia não é excepção, as doenças infecciosas são as principais causas de mortalidade na população, especialmente nas crianças (*Instituto Nacional de Estadística de Bolívia, 2012*). Esta situação é um reflexo da escassa cobertura de abastecimento de água potável e de recolha e tratamento de águas residuais domésticas.

Por outro lado, na América Latina, mais de 500 000 hectares de áreas cultivadas são irrigados directamente com água residual sem tratamento adequado, o que implica um alto risco de disseminação de doenças infecciosas (CEPIS/OPS, 2000).

Segundo as investigações da CEPIS/OPS¹, em 2000, 103 milhões de pessoas na América Latina não tinham acesso a sistemas de saneamento básico adequados em zonas urbanas, e 66 milhões em zonas rurais. O grande problema é que, mesmo tendo sistemas de saneamento, só 13% do volume total de água residual é tratado.

Esta situação afecta a qualidade das águas que são utilizadas como fontes de abastecimento, pois apresentam altos níveis de contaminação microbiológica (16 dos rios importantes da América Latina superam os 1000 coliformes fecais (NMP/100ml). Estas águas regam culturas de alimentos que são contaminados, o que incrementa os riscos para a saúde e limita o uso recreativo dos leitos dos rios (CEPIS/OMS, 2000).

Os parâmetros de qualidade da água permitem avaliar possíveis riscos na saúde pública e nos ecossistemas aquáticos. Além disso, associam-se a essa realidade os impactos económicos da

¹ CEPIS/OPS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria) / (Organización Panamericana de la Salud)

perda da qualidade da água, a preservação da qualidade ambiental de um sistema hídrico e o seu elevado custo (Eschrique *et al.*, 2001).

Por outro lado, a presença de microrganismos no ambiente aquático é importante, pois está vinculado às transformações da matéria orgânica que influenciam os ciclos biogeoquímicos, processos fornecem energia para a sobrevivência dos microrganismos. A decomposição da matéria orgânica é feita principalmente por bactérias. Da mesma forma que existem bactérias que desempenhando uma função benéfica, há outras com propriedades patogénicas, gerando, por vezes, o reaproveitamento dos macronutrientes e micronutrientes, estes parâmetros deverão estar limitados de modo a gerar um balanço positivo (Rodrigues, 2013).

De acordo com Philippi Jr., Romero e Bruna (2004), podem ser considerados como parâmetros microbiológicos os coliformes fecais, *Giardia sp.*, *Cryptosporidium sp.*, *Clostridium perfringens* e os estreptococos fecais. Em relação aos microrganismos termotolerantes do grupo de coliformes capazes de fermentar a lactose a 44-45°C, sendo representados principalmente pela *Escheriachia coli* (origem fecal), a legislação actual não possui limites distintos, segundo a finalidade de cada uso.

Em relação aos coliformes termotolerantes não são, dessa forma, tão bons indicadores de contaminação fecal quanto a *E. coli*, mas o seu uso é aceitável para avaliação da qualidade da água. Estão disponíveis métodos rápidos, simples e padronizados para a sua determinação e, se necessário, as bactérias isoladas podem ser submetidas a diferenciação para *E. coli*. Além disso, na legislação da NB 512, os coliformes fecais são utilizados como padrão para qualidade microbiológica de águas superficiais destinadas a abastecimento, recreação, irrigação e piscicultura.

O parâmetro hidrobiológico clorofila-a é fundamental na bioindicação ambiental para a avaliação do estado trófico em albufeiras e lagoas, uma vez que as microalgas são seres fotossintetizantes fundamentais que afectam de forma directa ou indirecta os demais níveis tróficos existentes. Quanto à determinação da biomassa fitoplanctónica, esta pode mostrar uma resposta diferenciada nos produtores primários aquáticos mediante o acréscimo de efluentes orgânicos no ambiente sendo um critério importante para a monitorização (Rodrigues, 2013).

A análise da qualidade ambiental requer uma avaliação criteriosa num dado período de tempo quanto às condições dos recursos hídricos. De acordo com Cunha *et al.* (2004), as alterações dos parâmetros bacteriológicos num determinado período de tempo denota significância no grau de comprometimento e degradação ambiental.

O florescimento das doenças endémicas diarreicas, parasitismo, febre tifóide, *salmonella*, e cólera, são consequências dos patogénicos transportados pelos rios, que poluem os lençóis freáticos e lagos, depositando águas residuais sem tratamento nos meios receptores.

Além da contaminação pelos efluentes domésticos, devem destacar-se outras fontes de poluição, tais como:

- Descargas de efluentes industriais e engenhos metalúrgicos;
- Deposição de dejectos de animais resultantes de actividades agro-pecuárias;
- Utilização de fertilizantes e pesticidas nas actividades agrícolas;
- Deposição de resíduos urbanos em aterros;
- Construção incorrecta de fossas sépticas.

No controlo da poluição, os níveis de decisão política, tanto centrais como locais em países em desenvolvimento (Bolívia, Costa Rica, Peru, Haiti, entre outros), e as agências de crédito internacionais, não dão prioridade ao tratamento completo das descargas domésticas nem à protecção dos recursos hídricos (CEPIS, 2000) dificultando o seu controlo nas massas de água receptoras e nos aquíferos.

Contudo, esta situação dramática estabelece que, nos países em desenvolvimento, o objectivo prioritário do tratamento das águas residuais, deve ser a remoção de parasitas, bactérias e vírus patogénicos, pois são males endémicos. O objectivo de tratamento nos países desenvolvidos é a remoção da matéria orgânica e nutrientes, e é de realçar que nesses países, onde uma febre tifóide ou um caso de parasitismo são excepcionais, devido à desinfecção de efluentes de estações de tratamento, através da utilização de tecnologias adequadas (Foguet, 2003).

As atuais normativas de saneamento básico para o desenho de sistemas de tratamentos de águas residuais continuam propondo sistemas de tratamento para os núcleos urbanos das áreas circundantes e rurais, cujo objectivo final é a remoção de sólidos em suspensão e da carga orgânica. Em contraposição à lógica que se impõe à realidade do contexto, é vital remover patogénicos, pois condicionam a qualidade apropriada para reutilização.

No caso particular da Bolívia, o *Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos*, principal autoridade de saneamento básico a nível nacional, tem estabelecido um *Plan Decenal de Saneamiento Básico (2001 - 2015)*. O principal elemento técnico normativo é a NB 688 de Instalações Sanitárias, Esgotos, Sanitários, Fluvial e Tratamentos de Águas Residuais, à margem dos sistemas que apresentam muitas lacunas, ou seja, não existem planeamentos a aplicar perante as opções tecnológicas realistas, para o controlo da contaminação fecal, nem para o cumprimento da Regulamentação em Matéria de Contaminação Hídrica que estabelece a *Ley 1333 del Medio Ambiente*.

1.2 Justificação

Vários relatórios e auditorias ao meio ambiente (*Contraloría General del Estado de Bolívia, 2013*), indicam que a contaminação patogénica das nascentes e cursos de água na Bolívia tem crescido, em proporção ao abastecimento de água potável, desde 1992 até à data. No entanto, o sistema

de tratamento de águas residuais ainda não chega ao objectivo exigido quanto ao saneamento básico, através de um tratamento adequado, com qualidade e dirigido para a protecção dos recursos hídricos e da saúde pública.

Considerando a NB 688 em vigor, existe um grande vazio de experiência e tecnologias adequadas, bem como de práticas eficientes para o controlo de patogénicos. Espera-se que ao longo dos próximos anos sejam implementados sistemas de tratamento mais completos e eficientes, para proteger os recursos hídricos e a saúde pública (CEPIS, 2003).

A abordagem da Engenharia da Água, no contexto dos países Latino-americanos e especialmente na Bolívia, é um tema de muito interesse para a investigação e desenvolvimento dos sistemas anaeróbios não convencionais para o tratamento de águas residuais domésticas e industriais, com a ajuda das instituições privadas de outros países sensíveis à actualidade do Governo da Bolívia e a “*Universidad Autónoma Juan Misael Saracho*”, através de artigos e trabalhos de investigação do tema em estudo no controlo biológico de patogénicos em sistemas anaeróbios (Medina, 1996), direccionados a pequenas populações do País.

Na realidade, o saneamento básico na Bolívia e na América Latina têm como objectivo melhorar a qualidade dos sistemas de tratamento e descentralizá-los, tendo em atenção a densidade populacional, e como prioridade o controlo dos patogénicos, da carga orgânica e dos nutrientes. Adaptar tecnologias adequadas e sistemas de tratamento inovadores e eficientes, dentro do contexto proposto, respeitando os costumes indígenas (Mena, 1994), é um desafio actual.

O principal objectivo deste trabalho é dar uma contribuição para a mudança da abordagem da NB 688, assumindo o compromisso da protecção da saúde pública e dos recursos hídricos, bem como o cumprimento dos objectivos finais do saneamento básico.

É da maior importância que a água residual seja drenada e tratada devido a várias razões, designadamente as seguintes:

- A decomposição de matéria orgânica presente em água residual provoca cheiros muito desagradáveis;
- A água residual sem tratamento possui microorganismos patogénicos que fazem parte da flora intestinal humana, podendo originar problemas de saúde pública;
- Os nutrientes que existem na água residual podem estimular o crescimento de plantas aquáticas e podem conter compostos que são tóxicos, mutagénicos ou carcinogénicos;
- A matéria orgânica presente na água residual conduz a carência de oxigénio no meio receptor.

Por todas estas razões é muito importante que a água residual seja removida com rapidez dos locais onde é produzida e seja transportada até aos locais de tratamento, sendo posteriormente

reutilizada ou descarregada num meio receptor, para que a saúde pública e o ambiente sejam protegidos (Metcalf & Eddy, 2003).

1.3 Objectivos

O objectivo central do presente trabalho é contribuir para a inovação da NB 688, através da consideração de um modelo de fluxo cíclico, isto é, a gestão da água residual tratada com reutilização produtiva nos campos agrícolas e tratamento apropriado para o controlo da contaminação de patogénicos, para a protecção da saúde pública e dos meios receptores (recursos hídricos), descentralizando os sistemas de tratamento de águas residuais e melhorando de forma sustentável e eficiente a qualidade de vida e, nessa medida, promover o desenvolvimento socioeconómico da população boliviana.

Definir e descrever áreas propositivas inovadoras. Promover fundamentos com lineamentos filosóficos do desenvolvimento sustentável, com bases culturais originárias, optando por soluções tradicionais, para uma gestão da água residual tratada com tecnologias adequadas aos processos naturais, para uma execução de um tratamento completo cíclico. Encerrar o ciclo de reutilização sustentável da água tratada, focado no controlo efectivo dos efluentes urbanos.

Posteriormente, definir estratégias de sistemas de tratamentos para garantir níveis de serviço adequados, progredindo para o interior do país (áreas rurais), onde maioritariamente se encontram as povoações disseminadas em condição de maior precariedade, no que se refere ao tratamento de águas residuais e reutilização das mesmas. Estas acções contribuirão também para minimizar a migração das populações das áreas rurais para as cidades.

1.4 Âmbito geográfico

De facto, a NB 688 é um instrumento de aplicação nacional, e o diagnóstico propositivo tem também um alcance nacional, que contempla especificamente as zonas áridas e semiáridas, nas quais se incluem os sete distritos (La Paz, Santa Cruz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca e Tarija) mais afectados pelo *deficit* hídrico. Actualmente, dois distritos da zona amazónica (Trinidad e Cobija) não são contemplados pois existe maior quantidade de água devido a frequentes e torrenciais chuvas, conseguindo-se por enquanto, depurar as águas residuais de forma natural, por enquanto.

A segunda revisão e actualização da Norma Boliviana NB 688 *Instalaciones Sanitarias – Alcantarrilado, Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales*, foi realizada em Dezembro de 2001, pela Direcção Geral de Saneamento Básico (DIGESBA) do *Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos*, sob a direcção do Engenheiro Álvaro Camacho G., Director Nacional da DIGESBA e confiada ao Comité Técnico Normalizador Nº 12.14 Instalações Sanitárias.

O enquadramento teórico e conceptual para a inovação da NB 688 está bem definido através de propostas baseadas em revisões bibliográficas, realizadas tanto por pesquisas académicas

como por organizações internacionais sem fins lucrativos. Contempla um conceito de fluxo cíclico, com base num modelo actual de desenvolvimento sustentável, concebido em várias civilizações antigas: andinas, gregas e povos nórdicos da Europa.

O enquadramento tecnológico para a inovação é apoiado por experiências de investigação. No entanto, nem sempre se podem concretizar, directa e imediatamente, com tecnologias adequadas; muitas vezes, para desenvolver estas tecnologias é, necessário uma fase transitória de experimentação e adaptação, apesar de elas não serem massivamente adoptadas e submetidas à transferência das novas tecnologias para o desenvolvimento em grande escala.

Na Bolívia sob divide-se em três zonas, de acordo aos climas predominantes nelas: zona do altiplano (La Paz, Oruro e Potosí), zona dos vales (Cochabamba, Sucre e Tarija) e a zona das amazonas (Cobija, Trinidad e Santa Cruz), como pode-se observar na Figura 1.1.



Figura 1. 1 Geografia da Bolívia e as três zonas predominantes (Altiplano, Vales e Amazônia)

Fonte: Ministério da Água da Bolívia, (2004)

1.5 Metodologia e estrutura da dissertação

Delimitação temporal - O período de tempo sobre o qual incide a análise de informação recolhida para o presente trabalho é compreendida entre os anos de 1976 e 2010. Neste período foram realizadas pesquisas e produzidos relatórios, a nível nacional, relativos ao saneamento básico na Bolívia (Projeções realizadas no *Plan Decenal de Saneamiento Básico de Bolívia 2001-2010, Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos de Bolívia*).

O estudo considerou a influência do tipo de sistemas de tratamento, executados nesse período, mediante a descrição dos sistemas de tratamento actuais e a forma como foram evoluindo de acordo com as normas de saneamento.

Hipótese de partida - O *Plan Decenal de Saneamiento Básico* (2001 – 2010), baseia-se num conceito de sociedade de fluxo linear e, por conseguinte, é insustentável. Embora a NB 688, abarque sistemas de tratamento apropriado e tecnologia convencional, tem também outras alternativas de desinfecção do efluente que, na prática, não se aplicam ao país, uma vez que apresentam lacunas tecnológicas para diferentes condições de aplicação e não contempla a reutilização das águas tratadas, como parte da gestão integral das águas residuais.

Metodologia de investigação - O diagnóstico pró-activo tem sido desenvolvido na sua primeira fase como um processo de investigação académica, analisando normas vigentes e desenvolvendo pesquisa bibliográfica (Figura 1. 2).

Etapa 1.- Definição do corpo de conhecimento: Enquadramento teórico e conceptual na inovação da NB 688.

Etapa 2.- Definição do corpo de conhecimento: Descrição do contexto e da NB 688 sujeita ao diagnóstico da situação actual do saneamento básico, baseado nos indicadores de cobertura de saneamento e na taxa de mortalidade infantil.

Etapa 3.- Técnicas de contraste: Definição e comparação dos fluxos linear e cíclico e nas respectivas características para a avaliação da NB 688, com base em técnicas de contraste e viabilidade das tecnologias adequadas para a reutilização das águas residuais tratadas, previamente definidas.

Etapa 4.- Definição de hipóteses: Proposta de um saneamento sustentável e eficiente no lineamento pró-activo e apresentação de soluções.

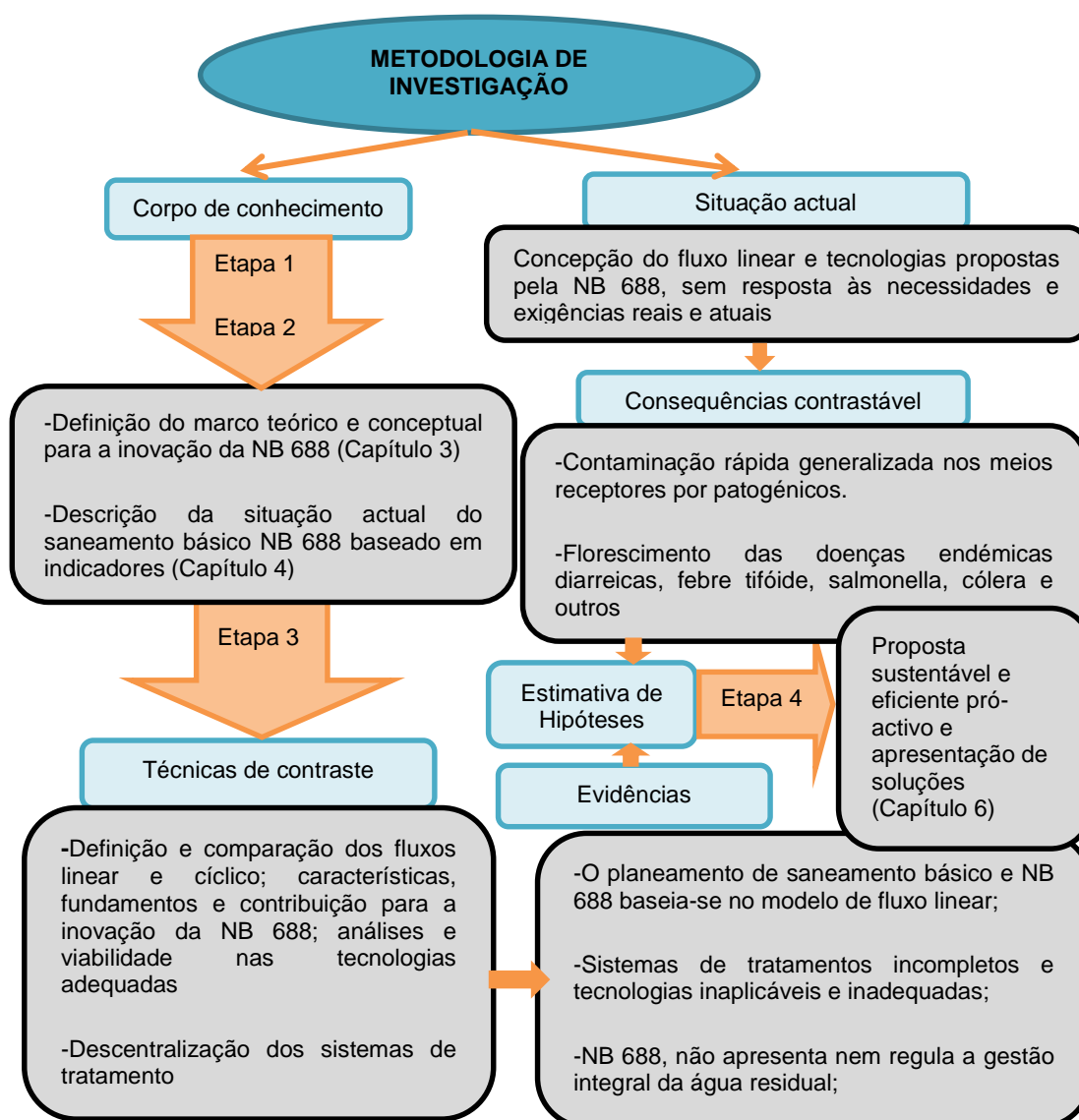


Figura 1. 2 Metodologia de investigação para a inovação NB 688

Técnicas e instrumentos - Recolha de dados de investigação e análise

As principais técnicas e instrumentos de análise utilizados são:

- Descrição do estado actual e discussão da norma (NB 688);
- Compilação seleccionada da informação relevante para a compreensão e resolução de problemas decorrentes da operação de estações de tratamento de águas residuais;
- Comparação e explicação mediante investigações e informações documentadas;
- Pesquisa bibliográfica na área da Engenharia Sanitária: normas vigentes, revistas e artigos de investigação; baseada em conhecimento e avaliação crítica.

2. CARACTERIZAÇÃO TEÓRICA E CONCEPTUAL PARA A INOVAÇÃO DA NB 688

2.1 Saneamento básico do fluxo linear e do fluxo cíclico

Caracterizam-se e apresentam-se diferenças, pelo impacto ambiental e socioeconómico negativo que originam. É necessária uma descentralização dos sistemas convencionais, evitando mistura das águas residuais domésticas, pluviais e industriais, determinando águas residuais altamente contaminadas, com um destino final inadequado, e sem o grau de tratamento desejável (Figura 2.1).

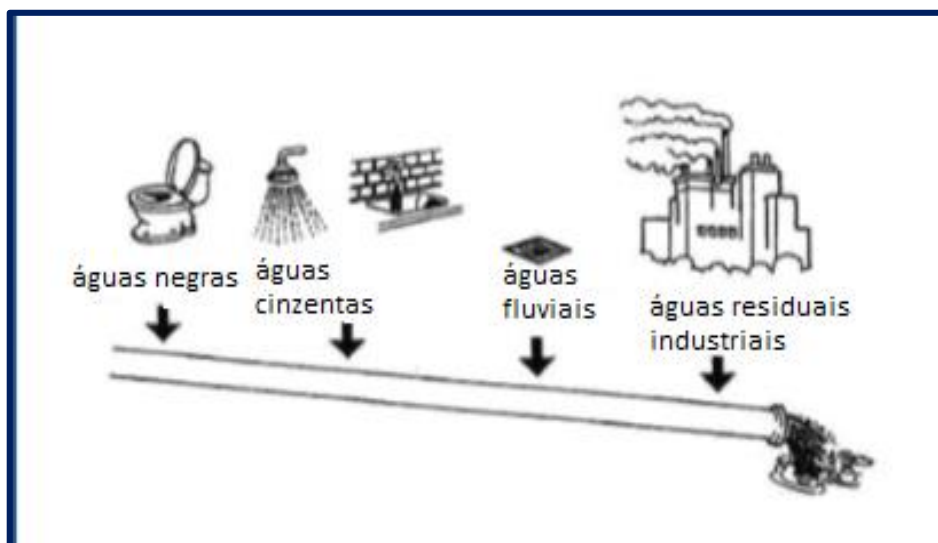


Figura 2. 1 Sistemas centralizados convencionais do fluxo linear

Fonte: Winblad e Esrey, 2004 (<http://www.sswm.info/>)

Segundo Pesci¹ (1995), a sociedade actual baseia-se em fluxo linear, caracterizado por uma concepção sectorial: técnicas não especializadas, capital económico como o único valor, estratégias de curto prazo, ciclo incompleto e unidades produtivas baseadas no *stock* fixo.

Pode-se propor e optar por um modelo de desenvolvimento sustentável, que estabeleça as características de uma sociedade de fluxo cíclico, atingindo objectivos sustentáveis e eficientes a longo prazo. Desta forma, apresentam-se diferenças e características visíveis quanto aos dois tipos de sociedades de fluxo linear e cíclico (Figura 2.2).

Actualmente não existe uma lei específica que regule a reutilização de águas residuais na agricultura. No entanto, existem leis sectoriais que regulam o uso da água *Servicio Nacional de Riego* (SENARI).

¹ Ruben Pesci (Inovador do desenvolvimento cidade sustentável)

Saneamento de Fluxo Linear	Características	Saneamento de Fluxo Cíclico
Sectorial	Concepção	Holística
Especializada	Tecnologia	Integradora
Económico	Capital	Natureza, económico, social e cultural
Corto Prazo	Estratégias	Corto, medio e longo prazo
Incompleto	Ciclos	Fechado
<i>Stok</i> Fixo: Água como um Recurso Renovável	Unidade Produtora	Ecosistemas Autorrenováveis: Água como um Recurso não Renovável

Figura 2. 2 Características do fluxo linear baseadas num *stock* fixo

Fonte: Pesci Rubén - 1995

2.1.1 Características do saneamento de fluxo linear

Segundo Pesci (1995b), as características de uma sociedade de fluxo linear, podem identificar com nitidez o saneamento básico actual, águas contaminadas ou com baixa qualidade na maioria dos meios receptores. Visa como prioridade as águas para o abastecimento das populações a montante e jusante e ainda, satisfazer as necessidades para a agricultura.

A reutilização de águas residuais tratadas (sem controlo de monitorização apropriadas) ou não tratadas, provenientes das descargas dos centros urbanos, é uma prática comum em regiões onde a escassez de água é acentuada.

A escassez de água ou o difícil acesso à mesma e o aumento da sua procura, principalmente para as necessidades de consumo humano e para as necessidades agrícolas, é fortemente influenciada pela qualidade dessa água. A implementação de propostas para promover essa qualidade, deverão ser baseadas na variabilidade das mudanças climáticas e nos usos e costumes das populações, motivando uma solução que oriente as estratégias para uma gestão adequada dos recursos hídricos e promovendo sistemas separativos para as águas colectadas até à ETAR. (Cunha *et. al*, 1998).

No sentido de solucionar dificuldades decorrentes da contradição existente entre a unidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica e a pluralidade das nascentes, afluentes e rios, é de vital importância o controlo da poluição das águas, sendo que este modelo de fluxo linear incompleto apresenta lacunas e evidências de uma autodepuração natural impossível (Figura 2.3) (Medina, 1996).

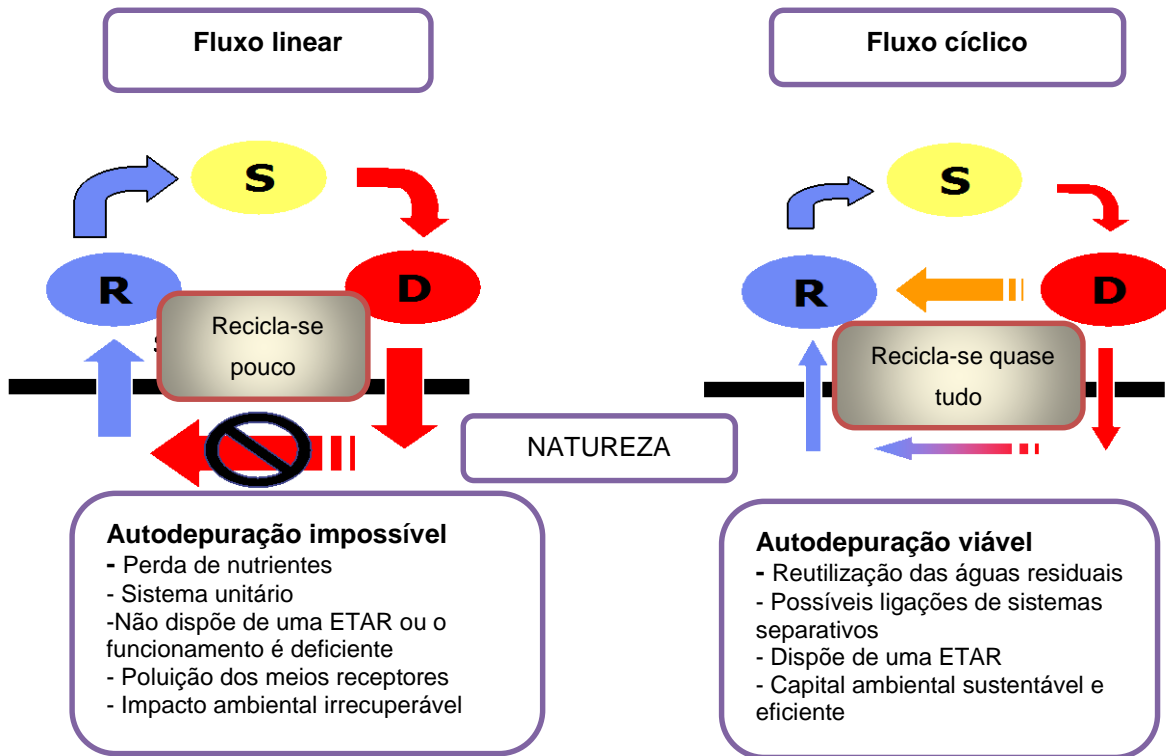


Figura 2. 3 Diferenças e características do fluxo linear e cíclico

Fonte: Adaptado de Medina, 1996

2.1.1.1 Concepção sectorial

O planeamento sectorial tem por objectivo elaborar em cada sector da actividade económica e social planos que visem atingir objectivos sectoriais estabelecidos em correspondência com os objectivos globais nacionais (Figura 2.4). Porém, o planeamento regional, no seu sentido mais amplo, procura definir uma estratégia para o ordenamento físico do território nacional, confrontando os problemas do saneamento básico, que é administrado através do sector do *Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos*, requerendo a coordenação do *Ministerio de Desarrollo Sostenivel*, do *Ministerio de Agricultura* e do *Actual Ministerio de Aguas*.

Esta concepção sectorial impede que o saneamento básico seja conhecido como parte de um todo e, como tal, afecta vários sectores relacionados. O mesmo projecto de sistemas de tratamento de águas residuais considera uma abordagem sectorial. Por exemplo, é projectado para remover cargas orgânicas de CBO₅, CQO e SST sem serem regulados dentro dos limites máximos admissíveis. Porém, não são projectados para a reutilização das águas residuais tratadas, impedindo o fecho de um ciclo completo de forma eficiente e sustentável, integrando no sistema de tratamento das actividades produtivas como a recuperação de nutrientes (Pesci, 1995b).

Para a descolagem deste fluxo linear, será necessária uma estratégia coerente e integrada de desenvolvimento, com a participação da população como consumidores interessados em

interação entre os serviços públicos e concretizando novas estratégias e tecnologias (Pesci, 1995b).

2.1.1.2 Tecnologia especializada

Parte da tecnologia proposta é especializada na aplicação de situações em condições socioeconómicas inaceitáveis, com diferentes propostas de tratamentos, sendo sistemas centralizados (sistemas convencionais, reactores de leitos fluidizados, desinfecção final e outros); não existem políticas nem estratégias para a investigação e desenvolvimento (I&D), começando pelas necessidades endógenas e uma abordagem integradora, que promovam soluções para as necessidades das comunidades urbanas e rurais, tendo em consideração as respectivas condições socioeconómicas do local de implantação conforme a população (Pesci, 1995b).

2.1.1.3 Capital económico

O capital económico é o principal critério para a definição das soluções de saneamento básico. Associado a este fluxo linear, se uma população não tem capacidade financeira, não consegue fazer frente aos custos de tratamento adequados das águas residuais, obrigando à adopção de tratamentos mais simples e de baixo custo, ignorando o impacto ambiental nos recursos hídricos, no capital social ambiental, no potencial turístico e na saúde pública. Esta situação apresenta um impacto negativo num contexto regional mais amplo, afectando outras comunidades a jusante.

Aplicar esta opção mais simples e de baixo custo é ineficiente, causando a perda de oportunidades para o desenvolvimento sustentável e para a qualidade de vida destas populações (Pesci, 1995b).

2.1.1.4 Estratégias a curto prazo

A prioridade dos planos de saneamento básico nos países em desenvolvimento, como na Bolívia, é o fornecimento de água potável. Este serviço leva à implementação paralela de um sistema de drenagem unitário para águas residuais, convertendo-se num sistema linear, que é inadequado e deficiente. Neste sentido, a estratégia de curto prazo e o escoamento destas águas contaminadas para jusante tem impactos negativos, não sendo estes considerados no domínio dos recursos hídricos (Pesci, 1995b).

2.1.1.5 Ciclo incompleto

A NB 688 estabelece que as águas residuais devem ser tratadas de acordo com os limites máximos da carga poluente admissível no efluente (*Ley del Medio Ambiente 1333*), para o controlo da poluição que impõe a regulamentação ambiental, para a reutilização das águas nas culturas agrícolas e a regeneração no seu ciclo hidrológico é uma etapa vital para completar o fluxo cíclico deste recurso, este facto não é contemplado no regulamento (Pesci, 1995b).

2.1.1.6 Unidade produtiva baseada numa ideia de *stock* fixo

Actualmente os recursos da natureza como a água, quando são extraídos, transformados, consumidos e eliminados fazem parte de um *stock* fixo, sendo insustentáveis sem a capacidade de uma reutilização adequada. Porém, neste saneamento linear pode-se referir que estes recursos não são reintegrados nos ecossistemas, conseqüentemente o resultado é uma degradação gradual e constante do meio ambiente e ecossistemas (Pesci, 1995b).

O projecto de um sistema de abastecimento de água potável, drenagem de águas residuais e respectivo tratamento, baseia-se na ideia de que a natureza tem capacidade de autodepuração dos efluentes nos meios receptores. Porém, actualmente a população cresce exponencialmente, pelo que é imperativo pensar-se numa solução sustentável (OMS, OPS e CEPIS).

As normas devem ser definidas para que a utilização da água seja feita com o máximo de benefício para a comunidade. Uma fixação criteriosa das normas de acordo com este objectivo exige, por um lado, o conhecimento das despesas de tratamento dos efluentes produzidos pelos diversos utilizadores, por outro, o conhecimento dos diversos custos externos, determinados pelos vários efluentes com diferentes níveis de poluição.

2.1.2 Características do saneamento básico de fluxo cíclico

Este sistema de fluxo cíclico (Figura 2.4) pode-se definir como um saneamento sustentável e eficiente que tem como objectivo principal proteger e promover a saúde dos seres humanos e dos restantes seres vivos, bem como reutilização de águas residuais, devolvendo esses efluentes, depois de adequadamente tratados, ao ciclo hidrológico (*Sustainable Sanitation and Water Mangemet*, 2011).

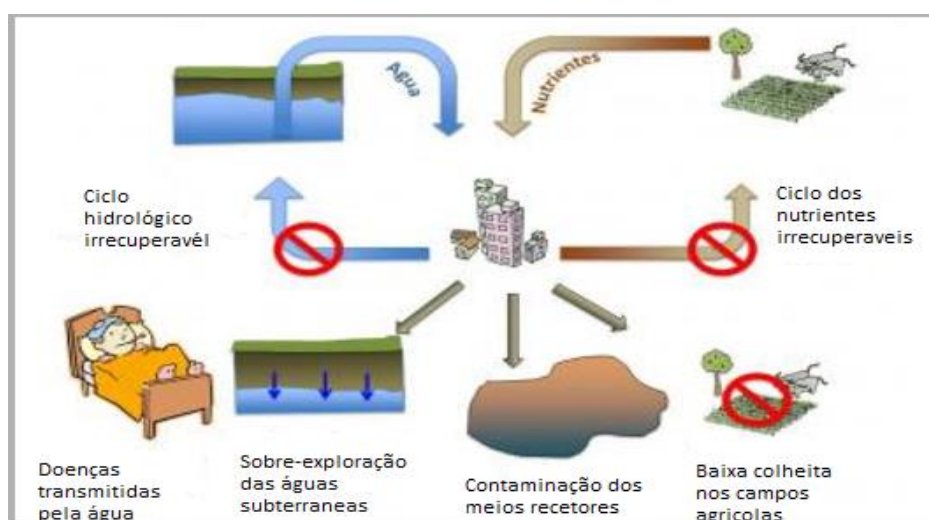


Figura 2. 4 Desvantagens na adaptação do fluxo cíclico e reutilização das águas tratadas e recuperação de nutrientes

Fonte: Adaptado de Conradin, 2010

Tem como princípio o saneamento sustentável a médio ou longo prazo, reconhecendo as águas residuais como resíduos com potencial de reutilização e de reciclagem.

Um sistema de saneamento básico do fluxo cíclico, além de ser sustentável e eficiente, deverá ser economicamente viável e acessível, assim como socialmente aceitável, e ainda, técnica e institucionalmente adequado. No entanto, para adaptar este modelo a uma sociedade com um crescimento demográfico exponencial, é necessário uma educação sanitária nas populações e interagir com as entidades governamentais aceitando propostas inovadoras como um benefício comum a usufruir.

2.1.2.1 Concepção holística

O aspecto técnico do saneamento básico é realizado através de um sector independente como o *Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos*. No entanto, esta gestão e planeamento deverá ser realizada com a participação da comunidade, e de todos os utilizadores interessados, sempre com a supervisão do governo em cooperação ampla e aberta com o *Ministerio de Desarrollo Sostenible*, pois, são necessários estudos do impacto ambiental antes e depois da implementação dos projectos das estações de tratamento. Importa também interagir com o *Ministerio de Agricultura*, pois podem ser elaboradas normas de descarga das águas residuais prevendo a sua reutilização nas diferentes culturas agrícolas. No que se refere ao actual *Ministerio del Medio Ambiente y del Ministerio del Agua*, cabe-lhes regular e implementar as normas de água para consumo humano e lançamento dos efluentes nos meios receptores. A participação e legitimação do projecto irá garantir o saneamento básico de forma responsável e comprometida como parte de um todo que beneficie todos os sectores envolvidos com um interesse comum (Pesci, 1995a).

2.1.2.2 Tecnologia integradora

A tecnologia a aplicar deverá ser de eficácia comprovada, adequada ao contexto em que é aplicada, permitindo um saneamento básico compatível com um desenvolvimento sustentável, eficiente e com operações técnicas adequadas às circunstâncias dos locais, sazonais e mudanças climáticas (CEPIS, 1995).

Deverá incorporar a funcionalidade e facilidade permitindo definir um sistema completo nas diversas etapas de drenagem, transporte, tratamento e reutilização ou deposição final do efluente tratado, fechando o ciclo hidrológico e de nutrientes.

Do ponto de vista ambiental, social e económico, o encerramento do ciclo de utilização da água, integrando as actividades diárias da comunidade, mediante a utilização das águas tratadas para rega ou deposição final nos meios receptores, tem como objectivo não afectar as outras comunidades a jusante, preservando as massas de águas.

2.1.2.3 Formas de capital consideradas

O saneamento básico de fluxo cíclico protege e integra todas as formas de capital partindo do princípio socioeconómico da população boliviana. Preservando o capital ambiental, natural (sem contaminação), capital social e humano da comunidade (responsabilidade e compromisso de sensibilização), capital político (organização das instituições responsáveis) e o capital económico (sustentabilidade do serviço) (Veiga da Cunha, 1980).

Do ponto de vista optimista, o saneamento básico de fluxo cíclico é um investimento para proteger, garantir e potenciar o desenvolvimento sustentável ao nível nacional (zonas urbanas e rurais), tendo em conta o capital social, ambiental, potencial turístico, saúde pública, entre outros.

2.1.2.4 Planeamento e estratégia a longo, médio e curto prazo

Por razões de eficiência, é indispensável que o planeamento ao nível nacional e regional do saneamento básico seja levado a cabo por organismos centrais governamentais, e com a participação intersectorial, para que seja garantida uma estreita colaboração, devidamente coordenada, entre as diversas entidades interessadas nos problemas da água potável e saneamento e, especialmente, com a participação das comunidades.

É prioridade o saneamento básico nos países em vias de desenvolvimento, associado à dotação de água potável, sistemas de recolha de águas residuais, tratamento e reutilização da mesma.

Planeamento e estratégia a longo prazo - Visa a definição das linhas gerais de desenvolvimento da política de gestão das águas e saneamento básico com o estabelecimento de programas de execução em termos globais (Cunha *et al.* 1998).

Planeamento e estratégia a médio prazo - Procura definir com maior pormenor o desenvolvimento da política de gestão das águas e saneamento básico, em particular caracterizando as relações entre a água e os vários sectores da economia, as necessidades de água, em quantidade, qualidade e reutilização, dos vários sectores da economia e das várias regiões de um país e as disponibilidades de meios técnicos e financiamentos para satisfazer essas necessidades (Cunha *et al.* 1998).

Planeamento a curto prazo - Procura concretizar e pormenorizar a realização dos objectivos do planeamento a médio prazo, tendo em conta a forma como decorre a implementação desses planos, a evolução da situação económica, as variações de disponibilidade da água e, paralelamente, a implementação do saneamento básico, as variações de necessidades de água relativamente ao previsto e a evolução da tecnologia e da ciência (Cunha *et al.* 1998).

2.1.2.5 Fluxo de ciclo fechado

De facto, o saneamento básico de fluxo cíclico é um factor de desenvolvimento sustentável, concluindo de forma eficiente e garantindo o encerramento do ciclo, onde a maior parte das

águas tratadas são reutilizadas na mesma comunidade ou a jusante (agricultura e aquicultura,). De facto, esta característica do ciclo fechado deverá estar normalizada e regulada por entidades e organismos do governo e também aprovada pelos usuários.

2.1.2.6 Sistema integrado de utilização da água como um recurso limitado

O projecto de um sistema de água potável, e a implementação de um sistema de recolha de águas residuais domésticas e o seu subsequente tratamento, deverá basear-se no conhecimento da natureza envolvente. Actualmente não é possível contar apenas com a autodepuração de efluentes descarregados sem tratamento no ciclo hidrológico, em função, também, do crescimento demográfico exponencial das populações (Carmona, 2013).

Esta capacidade de autodepuração nos meios receptores está limitada e é muito variável para cada tipo de utilização das diferentes comunidades, perante o crescimento económico relacionada com actividades e novas tendências das indústrias a adaptar como exemplo: as culturas agrícolas com utilização desmesurada de pesticidas provocando a lixiviação dos solos, assim como a contaminação por águas ácidas provenientes da exploração mineira, (Carmona, 2013).

2.2. Tecnologia para o desenvolvimento humano (TpDH) e tratamento adequado

O relatório do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2001) teve a iniciativa de “Inserir a Tecnologia ao Serviço do Desenvolvimento Humano”. Este projecto faz uma análise comparativa das soluções a adoptar e do tipo de tecnologia adequada para a sociedade actual, sem excluir as diferentes classes sociais e culturais. Adicionalmente, deverá ser concebido e implementado de forma renovada e sustentável atendendo às características do meio em que será implementado.

O modelo económico predominante impõe a aplicação de tecnologias padrão nas diversas sociedades, determinando a sua aplicação de acordo com as funções pré-concebidas, simplistas com as necessidades de água para o abastecimento urbano, agricultura, aquicultura, indústrias, utilizações culturais e recreativas e conseqüentemente no seu tratamento de águas residuais (PNUD, 2001).

Em países em desenvolvimento assumem especial importância as tecnologias adequadas e inovadoras, que procuram implementar soluções tecnológicas relativamente simples e ajustadas às disponibilidades locais de matérias-primas, mão-de-obra e, em regra, com baixos custos (CEPIS, 1998b).

No sentido mais amplo, facilita o acesso universal aos serviços de saneamento. Nos dias de hoje, os governos estão a ser alertados e sensibilizados, sendo que, quem mais se preocupa são os organismos de cooperação internacional de vários países (Alemanha, Suécia, Espanha e Japão).

Nos países em desenvolvimento, o Desenvolvimento Humano Integral é a chave, incluindo as dimensões económicas, sociais e ambientais, entre outras, mas sem limitações (TpDH), este conceito foi proposto pelos Engenheiros sem Fronteiras, o que implica potenciar os mecanismos e estratégias, que fazem com que, certas soluções técnicas dignifiquem e potenciem a vida diária das pessoas (CEPIS, 1998a).

A chave da investigação TpDH considera o planeamento e a abordagem dos problemas, integrando uma análise técnica, dos processos de participação, mecanismos de transferência, estratégias de capacitação, recuperação de elementos culturais ancestrais e originários, encaminhando-os para a aceitação e legitimação das inovações. Para incorporar e promover um desenvolvimento positivo deve-se envolver, informar e formar as pessoas envolvidas neste projecto sustentável (cooperação e solidariedade) e com exigência, coerência e transparência nas decisões a adoptar (CEPIS, 1998b).

Esta perspectiva deve-se aplicar em todas as escalas da cooperação internacional e nacional, desde as pequenas acções das Organizações Não Governamentais de Desenvolvimento (ONGD), até aos grandes projectos governamentais. De facto, os promotores destes projectos impulsionam a participação no processo da implementação da tecnologia adequada, permitindo reverter uma maior rentabilidade social da intervenção.

O conceito de TpDH foi esquematizado claramente por *Visscher 2003*, como se observa na, Figura 2.5. Porém, nestas fases intervêm os principais interessados como as comunidades, entidades administrativas, sectores privados e instituições governamentais.

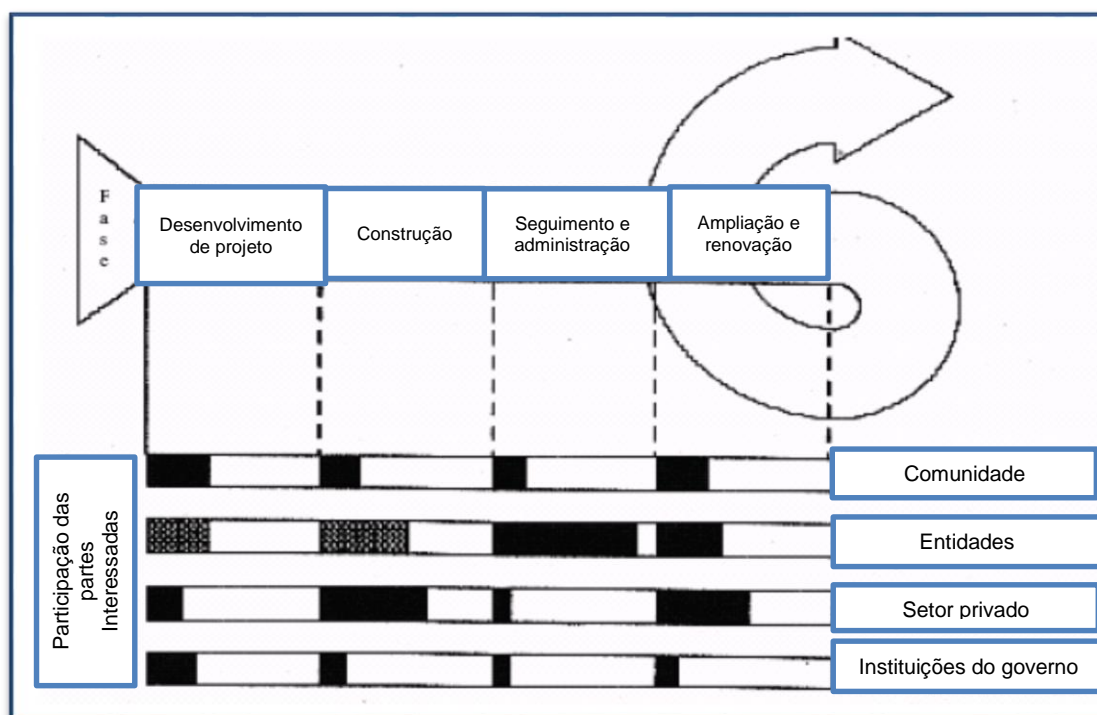


Figura 2. 4 Representação gráfica do conceito de TpDH

Fonte: Adaptado de Visscher, 2003

Visscher contempla, desde o ponto de vista progressivo, métodos baseados nas seguintes fases:

- Desenvolvimento do projecto (elaboração e desenho);
- Construção (execução do projecto);
- Seguimento e administração (no contexto sustentável e eficiente);
- Ampliação e renovação (adaptado e projectado para futuras gerações).

O tratamento adequado das águas residuais é necessariamente gerado nos processos estabelecidos pela TpDH. De facto, este conceito da tecnologia é legítimo, adaptado e melhorado baseado nas necessidades dos recursos endógenos, que se podem mostrar eficazes dentro do contexto definido como tecnologia adequada (*Visscher, 2003*).

Tratamento adequado e tecnologias simples não convencionais

Tratamento adequado com tecnologias simples baseia-se nos custos energéticos associados a uma ETAR, tendo em consideração o ponto de vista económico. Actualmente, na Bolívia, o governo trabalha na sensibilização e apoio económico nos diferentes tratamentos com ajudas externas económicas de países como Alemanha, Suíça e outros sensibilizados para o meio ambiente.

Optar por este sistema de tecnologia simples é de uma eficiência já comprovada. Porém, está limitada apenas aos aglomerados de populações pequenas, e também requer áreas maiores para a sua implantação. Acima de tudo, é uma solução viável (*CEPIS, 1998b*).

A tecnologia de tratamento adequado deverá ter as seguintes características:

- Baixo custo de implantação, operação e manutenção;
- Tecnologia adequada;
- Baseada em processos naturais:
 - Combinação de tratamentos anaeróbios seguidos por tratamentos aeróbios;
 - Escoamento por gravidade;
 - Sistema de tratamento por leitos de macrófitas;
 - Oxigenação mediante plantas halófitas e algas nas etapas finais;
 - Controlo biológico de patogénicos;
 - Eficiências médias de remoção dos parâmetros CBO₅, CQO, SST, P, N.
- Garantir estudos referentes:
 - Aos sistemas de tratamentos adequados, alterações climáticas, tipo de água residual de determinada sociedade, dimensão da população, tipo de topografia do terreno;
 - Promover a utilização de módulos pré-fabricados.
- Experimentada nos climas a ser implantados, e melhorar esta tecnologia simples mediante estudos de investigação e desenvolvimento;
- Estáveis a variações no fluxo de carga orgânica ou perante as mudanças climáticas;

- Controlo dos patogénicos nos efluentes, com uma reutilização destas águas tratadas, destinados para a irrigação dos campos agrícolas (CF NMP $10^3/100\text{ml}$).

Nas áreas da engenharia sanitária, engenharia da água e no campo das ciências ambientais, têm havido enormes progressos nos últimos anos. O planeamento do uso racional dos recursos energéticos e hídricos, no que respeita às novas tecnologias ou tecnologias não convencionais, para o tratamento de efluentes domésticos e industriais, apresentam uma grande compatibilidade ambiental, considerando os diferentes tratamentos existentes (CEPIS, 1998b).

De facto, em pequenos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais não é possível beneficiar das economias de escala que se verificam em grandes sistemas, pelo que os custos *per capita* de pequenos sistemas podem ser significativamente superiores aos de comunidades de maior dimensão (Metcalf & Eddy, 1998). Deste modo, o conceito de soluções de tratamento sustentáveis para pequenos aglomerados deve envolver a utilização de tecnologias com baixo custo de construção, operação e manutenção, mas que garantam simultaneamente eficiências de tratamento adequadas.

As tecnologias não convencionais apresentam características de eficiência, inércia, baixo consumo energético, de operação e manutenção nos tratamentos. As conhecidas tecnologias simples não convencionais de baixo custo são:

- Leitos percoladores;
- Lagoas de estabilização;
- Lagoas arejadas;
- Digestores anaeróbios;
- Sistemas de leitos de macrófitas;
- Sistemas compactos pré-fabricados (tratamento primário).

Os processos de tratamento adaptados às tecnologias não convencionais deverão ser considerados como o método chave na preservação dos recursos hídricos e protecção ambiental, e apresentam combinações com outros métodos adequados de acordo com os requerimentos da zona de implantação. Tecnologia avançada, sustentável e eficiente, para os países em vias de desenvolvimento e direccionadas ao “Desenvolvimento Humano Integral” (CEPIS, 1998b).

Tecnologias convencionais

São sistemas com características de maior eficiência no controlo de patogénicos. Porém, os custos energéticos associados a uma ETAR são dispendiosos perante os sistemas não convencionais. Nesses sistemas existe pessoal especializado na operação e manutenção, possui maior controlo nos parâmetros CBO_5 , CQO, SST. A remoção de N e P possui custos elevados, levando a um tratamento terciário (Metcalf & Eddy, 1998). Temos os mais conhecidos:

- Lamas activadas (tanques de arejamento prolongado, convencional e rápido);
- Leitos percoladores
- Discos biológicos ou biodiscos;
- Estações de tratamento pré-fabricadas (ETAR compactas, com tratamento secundário e desinfecção).

Os principais objectivos dos sistemas de tratamento convencionais são as vantagens de eficiência comprovada, garantia de qualidade mais elevada no controlo de patógenos fecais e transformação ou remoção de nutrientes como azoto e fósforo (em algumas variantes), assim como o facto de poderem, ser aplicados para densidades populacionais de maior dimensão e pequenas indústrias, baseados nas cargas orgânicas a serem tratadas.

2.3 Gestão integral da água residual

2.3.1 Gestão adequada da água residual

No documento “Directrizes para a melhoria da gestão das águas residuais com o objetivo de sustentabilidade e eficiência”, para a protecção da saúde, o projecto *REUSO*, liderado pelo *Centro Panamericano da Engenharia Sanitária y Ciencias del Medio Ambiente* (CEPIS, 2000 - 2003), com a participação de 14 países da América Latina, reconhecem o estado e as características de um modelo de fluxo linear no saneamento básico a nível continental, propondo as seguintes orientações para melhorar os recursos de gestão das águas residuais:

- A população deverá proteger a sua saúde, assumindo os custos de tratamento das águas residuais que geram;
- A utilização eficiente e sustentável das águas de consumo *per capita* nas populações, obtendo resultados eficientes, reduzindo os custos de tratamento e oferecendo benefícios económicos, sociais e ambientais;
- A valorização da qualidade das águas aptas para a rega de culturas agrícolas, pela carga de nutrientes, uma vez que, os agricultores são os maiores consumidores de água, ao nível da reutilização das águas residuais tratadas;
- O tratamento e reutilização das águas residuais deverão proteger os meios receptores, evitando um impacto ambiental negativo, criando uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica;
- O investimento em tecnologia para o tratamento dos efluentes, focada principalmente na protecção da saúde, mediante a remoção eficiente das elevadas cargas poluentes e de microrganismos patogénicos.

2.3.2 Gestão descentralizada das águas residuais e tratamento adequado

Segundo *Kreamer, 2005* os sistemas de tratamento adequados devem estar baseados na descentralização a vários níveis:

✓ Descentralização pela responsabilidade:

- Aplicar o princípio de “Poluidor - Pagador”. A população é relutante a aceitar este princípio, de quem polui deverá pagar. Porém, este princípio aplica-se com maior rigor nas indústrias e empresas privadas no lançamento de efluentes (Cunha *et. al*, 1998);
- Devem-se atribuir e estabelecer responsabilidades:
 - Individuais, aos utilizadores;
 - Técnicos especializados, com tecnologia adequada;
 - ONG, Universidades, instituições de investigação e experiência demonstrativas ao nível nacional e regional;
 - Criar comissões nacionais e regionais com a participação de todas as partes interessadas, para um controlo na aplicação de leis e regulamentos.

✓ Descentralizar a gestão da capacidade

- Deverá ser descentralizada a capacidade de desenho, em centros de capacitação e demonstração;
- Descentralizar a capacidade de construção e implementação, engenheiros, construtores;

✓ Descentralizar a tecnologia

- O tratamento deverá ser realizado no local onde se geram as águas residuais;
- O tratamento deverá ser adaptado ao ciclo fechado, com a reutilização das águas residuais tratadas.

2.3.3 Estudos aplicáveis à gestão adequada do tratamento das águas residuais

- Quanto menor a dimensão da população, mais próximo e vantajoso deverá ser para o encerramento do ciclo hidrológico e de nutrientes associados às águas residuais, no seu retorno económico e produtivo, atingindo os objectivos dos tratamentos (Lebrato – TAR Group, 2004);
- A reutilização da água tratada deverá ser a solução mais adequada à capacidade económica das populações, para um benefício comum, isto é uma “arma carregada para o futuro” (Miguel Hernandez, citado por Lebrato – Grupo TAR, 2004);
- Mediante uma compilação de informações relacionadas com os problemas de saúde (doenças de origem hídrica) na Bolívia, mostrando níveis máximos permissíveis de descarga dos efluentes tratados. Regular a contaminação e certos parâmetros que contemplam a normativa do meio ambiente nas massas de água. No entanto, ainda não existe uma legislação reguladora especificamente no funcionamento das estações de tratamento de águas residuais e a sua reutilização da água tratada e não tratada (Lebrato – TAR Group, 2004);
- Uma gestão adequada deve considerar vários factores como as mudanças climáticas e como consequência a escassez de água (La Paz e Oruro), a contaminação das águas superficiais e subterrâneas e a sobreexploração dos aquíferos. A crescente procura de água potável nos centros urbanos, pois a população aumenta aceleradamente devido à

migração das populações das áreas rurais, assim como a forte procura de água para a produção de alimentos dependentes de rega.

3. CARACTERIZAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL - SANEAMENTO BÁSICO NA BOLÍVIA

3.1 Indicadores de saneamento básico

A água contaminada pode prejudicar a saúde das pessoas, seja através da ingestão directa, como indirecta, nomeadamente através do consumo de alimentos, no seu uso na higiene pessoal, e outros.

3.1.1 Mortalidade infantil e saneamento básico

A mortalidade infantil é geralmente utilizada como um indicador do estado de saúde da população. A taxa de mortalidade infantil (TMI) fornece dados sobre as condições de vida da população.

É considerada como um foco de atenção para todas as políticas de saúde a aplicar.

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE, 2012) da Bolívia, as principais causas de mortalidade infantil com idades inferiores a cinco anos são as seguintes:

- Doenças infecciosas intestinais, associadas à má qualidade da água;
- Doenças do sistema respiratório;
- Algumas condições originadas no período pré-natal;
- Doenças bacterianas;
- Doenças virais.

A TMI, como indicador de saúde, está associada, também, à baixa cobertura de serviços de abastecimento de água potável e de saneamento básico.

A Bolívia, até 2012, apresentou uma diminuição considerável da TMI. Os casos mais preocupantes encontram-se nos distritos de Oruro e Potosí, abrangendo as áreas urbanas e rurais, nos quais a TMI é de 40% e 41%, respectivamente.

As taxas de mortalidade mais baixas são nos distritos de Tarija e Santa Cruz, onde apresentam valores de 24 % e 23 %, respectivamente.

A mortalidade infantil em crianças menores de cinco anos reduziu 40.94 % entre 1976 e 2012 segundo informações da UNICEF (2012) e do INE (2012), reportando a percentagem de mortes por cada um dos nove distritos da Bolívia.

No entanto, a mortalidade infantil tem vindo a diminuir a um ritmo de cerca de 1.9% ao ano, a nível nacional, tanto em contexto urbano, como rural.

Em 2000, a Bolívia assumiu o compromisso de atingir os objectivos do Desenvolvimento do Milénio (2015). Nos últimos anos conseguiram-se resultados satisfatórios, enfrentando

dificuldades para ampliar a qualidade dos serviços sanitários, relacionados com indicadores da TMI, por via das doenças de origem hídrica.

No contexto da América Latina, a situação é preocupante, uma vez que a Bolívia é o segundo país com maior TMI, sendo superado apenas pelo Haiti (UNICEF, 2012).

A mortalidade infantil está fortemente influenciada pelo nível socioeconómico, apresentando indicadores de diferenciação, nos diferentes estratos sociais. Segundo dados da OPS (2001), Van Dame (2002) e INE (2012) a TMI na Bolívia na sua globalidade e até ao ano de 2012 tem vindo a diminuir (Tabela 3.1).

Tabela 3. 1 TMI na Bolívia (2000-2012)

Fonte: Van Damme (2002); OPS (2001); INE (2012)

TAXA DA MORTALIDADE INFANTIL (2000 - 2012)													
Anos	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
TMI (%)	60,44	58,98	57,52	56,05	54,58	53,1	51,77	50,43	49,09	44,66	43,41	42,16	40,94

Também se pode observar o desenvolvimento progressivo linear no decréscimo da TMI (%) entre os anos 2000 e 2012 (Figura 3.1).

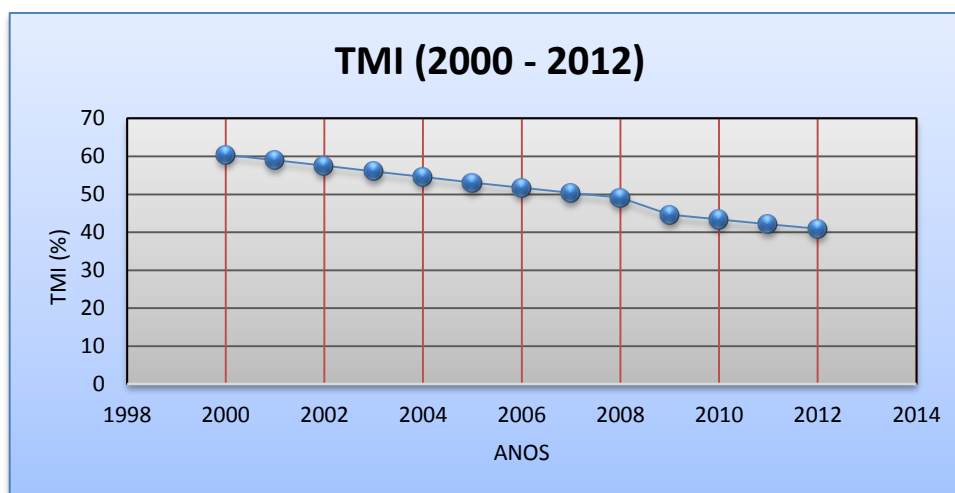


Figura 3. 1 Evolução da TMI na Bolívia

Fonte: Van Damme (2002); OPS (2001); INE (2012)

Deve-se enfatizar que o elevado valor da TMI está relacionado com as doenças de origem hídrica, nomeadamente com o abastecimento de água para consumo humano, pois é limitado a água para a higienização pessoal e o manuseamento dos alimentos. No entanto, a contaminação da água nos meios receptores, reflecte-se geralmente nas populações a jusante limitando a água em quantidade e qualidade, incidindo casos de doenças diarreicas (em menores de cinco anos),

pela falta de implementação de saneamento básico afectando predominantemente as áreas rurais (Figura 3.2). Contudo, a falta de cobertura dos serviços de abastecimento de água e de saneamento básico, actualmente tem tido uma tendência positiva diminuindo a TMI a nível nacional.



Figura 3. 2 Implementação de torneiras de emergência nas áreas rurais (garrafas PET)

Fonte: Unicef, (2009)

De acordo com o Plano Nacional de Desenvolvimento Humano, a desigualdade social e económica na Bolívia tem diversas dimensões porém, esta expressa-se principalmente nas falhas económicas e sociais que tem expoente máximo na população indígena.

A Bolívia apresenta, não somente pobreza, mas também uma elevada desigualdade na distribuição de receitas para o desenvolvimento de projectos, planejar e executar os serviços mais básicos para esta sociedade empobrecida: água potável e saneamento básico.

3.1.2 Cobertura de água potável e saneamento básico na Bolívia

Na última década, tem sido incrementada a cobertura de água potável e de saneamento básico nas áreas urbanas, atingindo níveis aceitáveis de acordo com os objectivos de um desenvolvimento humano saudável e sustentável (IBNORCA, 2010).

No entanto, actualmente na Bolívia dos 10 milhões de habitantes, perto de oito milhões possuem acesso ao serviço de água potável (Figura 3.3), mas mais de dois milhões de habitantes carecem de serviços de água potável e, quase cinco milhões de habitantes não têm acesso a saneamento básico (*Ministerio del Medio Ambiente y Agua, 2012*).

Cobertura de água potável, os índices de cobertura é um objectivo ambicioso a alcançar até 2015 pois, no decurso destes anos, os relatórios do *Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento*

Básico (2001 – 2010), mostram uma evolução positiva. Porém, a situação nas zonas rurais continua a ser mais crítica do que nas zonas urbanas, (Tabela 3.2).

Tabela 3. 2 Coberturas de água potável nas áreas urbanas e rurais da Bolívia

Fonte: Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico, (2001 – 2015)

COBERTURA NACIONAL DE ÁGUA POTÁVEL								
Anos	2001	2003	2005	2007	2008	2009	2010	2015
Coberturas (%)	72	72	71,7	74,4	74,6	74,7	75,2	78,5
Urbana (%)	87,6	86,4	84,5	87,5	87,1	87,1	88	-
Rural (%)	46	48	51,4	50,3	50,8	50,6	52	-
Incremento (%)	-	0	-0,6	0,4	0,2	0,1	0,5	3,8
População abastecida (nº habitantes)	6 209 077	6 353 096	6 497 944	7 316 367	7 482 135	7 639 792	7 840 470	8 957 361

Os dados de cobertura de água potável no *Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico* (2001 – 2015), foram baseados nos informes do: INE (2001); *Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico* (2002 – 2006 – 2009). Pois são dados aproximados verificando-se uma diferença, com uma tendência negativa no ano 2001 e 2003 da área urbana.

Cobertura de saneamento básico, os índices de saneamento básico, geralmente ficam em segundo plano nas zonas onde existem maiores *deficits* de água potável. Contudo, é considerável o incremento do saneamento básico (Tabela 3.3) nas áreas urbanas, mas não, na sua globalidade. Por vezes, não é só a implementação de sistemas de drenagem das águas residuais, pois estas deverão dispor redes separativas, conseguindo-se um funcionamento mais eficiente nas estações de tratamento, evitando a sua sobrecarga.

Tabela 3. 3 Coberturas de saneamento básico nas áreas urbanas e rurais

Fonte: Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico, (2001 – 2015)

COBERTURA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO								
Anos	2001	2003	2005	2007	2008	2009	2010	2015
Coberturas (%)	40,7	41,03	43,5	47,7	48,2	48,8	50	64
Urbana (%)	46,1	47,7	49,8	53,7	54,3	55,1	55	-
Rural (%)	31,7	30,4	32,2	36,5	36,7	36,5	38	-
Incremento (%)	0,8	-0,2	1,9	4,2	0,6	0,5	1,2	15,2
População c/coberturas (nº habitantes)	3 510 077	3 727 293	4 100 840	4 686 832	4 838 296	4 985 831	5 213 080	7 302 817

Os dados de cobertura de saneamento básico, no *Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico* (2001 – 2015), foram baseados nos informes do: INE (2001); *Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico* (2002 – 2006 – 2009). Sendo estimativas de estudos, no entanto verifica-se um decréscimo negativo nos anos 2001 ao 2003.

Os relatórios dos índices de coberturas de água para consumo humano e saneamento básico a nível Nacional, foram realizados no ano 2001 pelo censo de população, cuja fonte é o INE. Os dados relativos a 2003, 2005, 2008, e 2009, foram realizados pelo *Vice-Ministerio del Agua*. Referente aos anos 2007 e 2010-2015, e são estimativas realizadas pelo *Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico*. Contudo, em 2015 serão estabelecidos objectivos de acordo com investimentos e sequência estatística ao longo da década.

3.1.3 Indicadores da qualidade dos serviços públicos

O saneamento básico alcançou uma taxa de cobertura de 50%, em 2010, sendo um valor ainda deficiente, alcançando-se somente 24,5% de eficiência no tratamento de águas residuais. O restante é descarregado no meio receptor sem tratamento, causando danos ao meio ambiente. No entanto prevêem-se uma cobertura de 64% para o 2015. (*Plan Nacional de Saneamiento Básico 2008 – 2015*).

Entre os anos 1996 e 2000, o investimento aumentou 90 milhões de dólares (66,47 milhões de euros). Esta progressão crescente tem tido um impacto positivo no sector público ao nível de coberturas de saneamento básico, ficando em segundo lugar o sector dos transportes (*Plan Nacional de Saneamiento Básico 2008 – 2010*).

A concepção e construção de sistemas de distribuição de água potável e de saneamento básico, na Bolívia, no início de 1998, foram experimentadas e executadas tecnologias para captação de água potável e paralelamente a implementação dum saneamento básico para as águas residuais domésticas, denominados sistemas não convencionais segundo o manual, “*Sistemas de Aguas y Alcantarrillados para Condominios*“. Este projecto foi posto em prática em seis zonas rurais periféricas da cidade do El Alto (La Paz).

Tendo uma aceitação positiva pela dotação de água potável para a população. A implementação de saneamento básico tem vindo a impedir doenças como a cólera, entre outros. No entanto, este sistema de águas e águas residuais domiciliárias, além de apresentar sistemas de ligações unitárias (Figura 3.3), não contempla na sua totalidade o destino final destas águas colectadas (GTZ, 2013).

Na sequência destes sistemas implementados (*Sistemas de Aguas y Alcantarrillados para Condominios, 1998*) foram construídos sistemas de tecnologias não convencionais para o tratamento destas águas, como as lagoas de estabilização, sendo aplicadas geralmente em médias e grandes populações. Contudo, apresentam condições ineficientes, pois são aplicados como único tratamento primário, necessitando da remoção de patogénicos para atingir uma boa qualidade no destino final (GTZ, 2013).

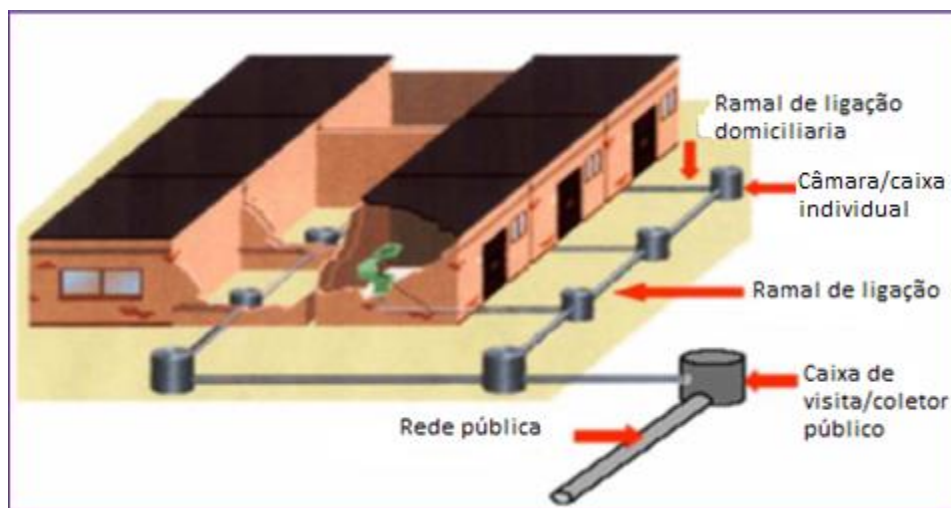


Figura 3. 3 Implementação de sistemas de ligações das águas residuais domésticas (unitários)

Fonte: Adaptado do *Manual de Sistemas de Aguas y Alcantarrillados para Condominios*, 1998

Hoje em dia, existe um vazio nas opções tecnológicas adequadas para a gestão do tratamento das águas residuais domésticas e o controlo efectivo na remoção de patogénicos, prejudicando a saúde e contaminando o meio ambiente. Câmaras

Em algumas zonas urbanas, as lagoas de estabilização são aplicadas pelo baixo custo económico de implantação, mas carecem de estratégias de gestão da água tratada e não existe um rigoroso controlo dos patogénicos, antes de serem enviadas para os meios retores.

Estas tecnologias têm sido sustentadas e elaboradas tendo em conta apenas a saúde das povoações a montante, pelas condicionantes desfavoráveis destas zonas rurais, nomeadamente de baixos custos, esquecendo os moradores a jusante. No entanto, é nosso propósito inovar contemplando as normas vigentes:

- A “*Norma Técnica de Proyectos para Sistemas de Alcantarrillados y Tratamientos de Aguas Residuales*”, é elaborada pela *Dirección General de Saneamiento Básico del Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos*, em coordenação com o *Instituto Boliviano de Normalización y Calidad – IBNORCA*, sendo uns dos instrumentos de política mais importante na contribuição e implantação do “*Plano Nacional de Saneamento 2001 – 2015*”.

A Norma Técnica Boliviana, além das directrizes de implantação de ETAR, também tem como objectivo o controlo dos custos de investimento e apresentar opções técnicas de gestão que permitam o acesso aos serviços públicos a toda a população, sem distinção de classes sociais ou económicas.

3.1.4 Contaminação dos meios receptores

A disseminação dos efluentes domésticos aumenta nos diferentes aglomerados populacionais de pequena e média dimensão. Com tratamentos deficientes ou quase nulos das águas residuais

colectadas, acrescentando outras populações nucleadas sem conexão às redes de sistemas de águas residuais, provocam um impacto ambiental negativo com a dispersão e contaminação nos meios receptores.

Um caso pontual como exemplo da actualidade (Figura 3.4) mostra este efeito inversamente proporcional à capacidade de autodepuração, resultante das elevadas carga orgânicas e presença de microrganismos patogénicos, detergentes descarregados ilicitamente por indústrias, tais como fábricas cervejeiras, refrigerantes, processamento de laticínios, e outras. O lançamento indevido destes efluentes tem vindo a provocar efeitos negativos na Sub-Bacia Hidrográfica de Tolomosa (Tarija – Bolívia), ao longo do rio Guadalquivir, verificando-se uma forte deterioração levando a uma eutrofização desmesurada dos meios receptores, provocando a morte de peixes, e afectando o meio de subsistência alimentar e economia de famílias que habitam em zonas ribeirinhas, segundo a *Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija (Cosaalt, 2012)*



Figura 3. 4 Rio Contaminação do rio Guadalquivir Tarija – Bolívia

Fonte: Rodrigues, (2003)

Na bacia hidrográfica de *Tolomosa*, localizada no Sul da Bolívia, onde se encontra 50% da população do Distrito de Tarija, os cursos de água, nos tempos passados apresentavam uma qualidade de água aceitável Classe A, segundo a *Ley del Medio Ambiente 1333, 1994*. Actualmente, estas águas fluviais estão inaptas até para o aproveitamento de água para rega, segundo as recomendações da OMS/OPS (Medina, 2006).

Estes factos têm desencadeado doenças diarreicas pelo consumo inevitável destas águas pelas populações como meio de subsistência. Actualmente não são consideradas como epidemias. Neste sentido, também se repercute nos produtos agro-biológicos e, em geral, na qualidade de vida e meio ambiente (Medina, 2006).

Na Sub-Bacia Hidrográfica do Guadalquivir, existe um aumento da deterioração da qualidade dos recursos hídricos, expressos em quilômetros lineares de rio. Actualmente, o grau de poluição apresenta uma Classe D (qualidade da água com utilização muito limitada), segundo o Regulamento em Matéria de Contaminação Hídrica (*Ley del Medio Ambiente de Bolívia Nº 1333*) (Tabela 3.4 e Tabela 3.5).

Tabela 3. 4 Parâmetros mínimos das águas residuais tratadas, lançadas nos meios receptores

Fonte: *Ley del Medio Ambiente de Bolívia Nº 1333*

Parâmetros mínimos de lançamento das águas residuais tratadas	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
CBO5 (mg/l)	< 2	< 5	< 20	< 30
CQO (mg/l)	< 5	< 10	< 40	< 60
SS (mg/l)	< 10	< 30	< 50	< 100
Azoto (mg/l)	5	12	12	12
Fósforo (mg/l)	0,4	0,5	1	1

Tabela 3. 5 Classificação geral das massas de água

Fonte: *Ley del Medio Ambiente de Bolívia Nº 1333*

Classe “A”	Águas naturais, boa qualidade, apta para consumo como água potável, sem requer de nenhum tratamento, ou simples desinfecção bacteriológica nos casos necessários verificados em laboratório.
Classe “B”	Águas para consumo humano, porém, requerem de tratamentos físicos e desinfecção bacteriológica.
Classe “C”	Águas que podem ser habilitadas para consumo, porém, requerem de tratamentos físico-químico completo e desinfecção bacteriológica.
Classe “D”	Águas com qualidade mínima para o consumo humano, requerem dum tratamento de sedimentação, pois apresentam turbidez acentuada pelos sólidos suspensos, conseqüentemente precisam dum tratamento completo físico-químico e desinfecção bacteriológica, especialmente com os ovos e parasitos intestinais.

3.2 Descrição e características da Norma Boliviana 688

A NB 688 está baseada no plano de execução do “*Sistemas de Alcantarillado y Tratamientos de Águas Residuales Condominiales*”, partindo de uma iniciativa conjunta com entidades privadas, a assistência técnica do Programa da Água e Saneamento do Banco Mundial (PAS), a Cooperação Técnica do Governo da Suécia (ASDI) e o Governo de Bolívia, através do “*Vivienda y Servicios Básicos*”, permitindo a sua réplica e institucionalização a nível nacional.

Durante o processo e com participação de profissionais do sector, foram realizados seminários regionais, recolhendo contribuições, opiniões e recomendações de acordo com as condições do meio ambiente, que foram aplicados na NB 688.

A norma técnica de desenho para sistemas de esgotos e tratamento de águas residuais, tem como objectivo estabelecer os requisitos mínimos exigidos na elaboração de projectos de sistemas de tratamentos de águas residuais.

3.2.1 Estrutura da NB 688

- No **primeiro capítulo** da NB 688 descreve-se a estrutura conceptual para o desenvolvimento do projecto, listando o conteúdo mínimo de um projecto de saneamento básico e de tratamento das águas residuais; o objectivo, a terminologia e os estudos básicos a serem realizados, abordando e avaliando a viabilidade de ser executado o dito projecto;
- No **segundo capítulo** a NB 688 descreve o objectivo e terminologias do projecto de sistemas de saneamento básico, estabelecendo parâmetros e critérios na elaboração das redes de drenagem de águas residuais e as principais especificações técnicas construtivas;
- No **terceiro e quarto capítulos** a NB 688 descreve o objectivo, terminologias e critérios do desenho do projecto, incluindo interceptores e emissários das águas residuais e os sistemas de tratamento e tecnologias a adoptar, especificando técnicas construtivas das obras complementares;
- No **quinto capítulo** a NB 688 descreve o objectivo e âmbito de aplicação dos sistemas de tratamento de águas residuais; as terminologias e critérios no projecto, classificando-as por fases e processos de tratamento, e sistemas de drenagem combinados. Ainda estabelece critérios e parâmetros de desenho, descrevendo o tratamento: preliminar, primário, secundário (baixo custo) e desinfecção;
- Nos **capítulos sexto, sétimo e oitavo** a NB 688 descreve o objectivo e terminologia para projectos de drenagem de águas pluviais e de águas residuais como: estação elevatória, de operação, manutenção, controlo e requerimentos estruturais para as redes de drenagem, assim como as estruturas especiais e de segurança na sua execução.

Actualmente, não existe uma normativa específica para as estações de tratamento de águas residuais, mas existe um enquadramento apoiado pela *Ley 1333 de Medio Ambiente*, regulando e classificando as massas de água, consoante o grau de tratamento necessário para o consumo humano, classificando essas massas de água nas classes A, B, C e D, com suporte nos valores da concentração de CBO₅, CQO, SST, Azoto e Fósforo.

3.2.2 Projecto de sistemas de tratamento de águas residuais segundo a NB 688

Com o objectivo de ilustrar as normas que serão sujeitas ao diagnóstico propositivo, apresenta-se na sua integridade, mais adiante no Capítulo 5, uma avaliação da NB 688.

Presentemente, a norma baseia-se nos seguintes pontos, referente aos “*Sistemas de Tratamientos de las Aguas Residuales*”, atendendo aos parâmetros básicos para o desenho da ETAR:

- **Caudais e CBO₅**, no dimensionamento das unidades de tratamento e equipamentos complementares, assim como outros componentes, são tomados em conta o caudal máximo, médio e mínimo e os parâmetros de CBO₅, sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis, temperatura e pH.
- **Carga orgânica**, o parâmetro de carga orgânica a ser considerado tem um valor de CBO de 54 gr/hab./dia, embora possam ser admitidos valores diferentes quando exista uma determinação directa e reguladora.
- **Unidades modulares**, refere-se aos órgãos da ETAR, devendo possibilitar a implementação de uma continuação para as seguintes fases de tratamento segundo o projecto assim o obrigue, baseado na uniformidade dos equipamentos, sem esquecer os aspectos de economia de escala.
- **Drenagem de desvios**, na fase de entrada em obra, é aplicado um *by pass*, para evitar caudais de cheia, porém também contempla nesta fase a implantação de grades para evitar a entrada de matérias sólidas não pertencentes ao tratamento (cadáveres de animais, troncos de árvores e outros resíduos).
- **Sistemas de comportas**, deverão possuir comportas para fecho temporário, para que possam realizar-se inspecções de manutenção e outras operações.
- **Sistema de medição** refere-se a medições de caudal afluente na obra de entrada e efluente na saída das águas residuais tratadas.
- **Laboratório de análises**, além do controlo de caudais para uma operação eficiente, serão instalados sistemas de sensores indicadores do controlo de parâmetros básicos a regular.
- **Velocidades**, a norma contempla as velocidades para os diferentes caudais nas tubagens e canais, sendo assim para um caudal máximo (> 1.00 m/s); caudal médio (> 0.60 m/s e < 1.00 m/s) e caudal mínimo (> 0.45 m/s) (NB 688, p. 53).
- **Ventilação e iluminação**, instalações eléctricas à prova de explosões, e ventilação forçada especialmente nos locais confinados são também contempladas.
- **Elaboração de uma memória de cálculos**, refere-se à apresentação dos cálculos hidráulicos, justificações, e outros pormenores. Assim como também deverá incluir especificações técnicas e estimativa de orçamentos.

3.2.3 Terminologia, fases e processos de tratamento contemplada na NB 688

A norma estabelece que o projecto de tratamento de águas residuais pode incluir varias fases técnicas, de modo a garantir um tratamento compatível com as condições do meio ambiente e o corpo receptor. Estas diferentes fases de tratamentos são as seguintes:

- ✓ **Tratamento preliminar (pré-tratamento)**

As unidades de tratamento preliminar estão constituídas por:

- **Gradagem** – Mediante grades, separando os materiais mais volumosos, situando-se à entrada da estação de tratamento;
- **Desarenação** - Separa as areias (redes unitárias) que causam efeito de abrasão nos equipamentos;
- ✓ **Tratamento primário**

Nesta fase, realizam-se os seguintes processos:

- **Decantador primário** – Com a forma circular ou rectangular, de fluxo horizontal ou vertical. Nesta fase realiza-se a remoção das escumas e lamas primárias, segundo o tipo de tratamento que irá ser implantado.
- **Fossas sépticas** – É um reservatório estanque (um ou mais) e constitui um órgão de decantação e digestão onde as águas residuais domésticas permanecem tempo suficiente para sofrer tratamento.
- **Tanque Imhoff** - É uma unidade de escoamento horizontal, tendo dupla finalidade, constituído por 2 câmaras sobrepostas na câmara superior (decantação primária) e na câmara inferior (digestão das lamas) (NB 688, p. 57).
- ✓ **Tratamentos secundários** – Tratamentos biológicos

Inclui os processos biológicos adequados e decantação final (secundária).

Consideram-se os seguintes tratamentos secundários:

- **Lagoas de estabilização** - São sistemas mais económicos de tratamento em termos de construção, operação ou manutenção; geralmente consomem a energia solar; absorvem impactos hidráulicos e orgânicos; toleram concentrações elevadas de metais pesados e principalmente conseguem reduzir a concentração de patogénicos até níveis bastante baixos, o que é de grande importância quando o efluente tratado vai ser reutilizado na agricultura.
- **Leitos percoladores** – Processo levado a cabo por microrganismos aeróbios adsorvidos a um material de percolação. Nestes forma-se uma película onde se fixam os microrganismos, estes materiais podem ser pedras naturais, discos de PVC (artificiais), entre outros.
- **Reactores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA ou UASB)** – É implantado com temperaturas mínimas maiores ou iguais a 15°C, ou seja em climas amenos. Tem em conta parâmetros como a carga orgânica, tempo de retenção, velocidades ascensionais, sistemas de alimentação, geometria do reactor, recirculação e drenagem das lamas.
- **Leitos de secagem** – É um método simples e económico para desidratar as lamas estabilizadas.

- ✓ **Desinfecção** – Somente nos casos que o meio receptor exija uma qualidade bacteriológica elevada.

3.3 Descrição institucional e legal do saneamento básico na Bolívia

Segundo o Artigo 374º da *Constitución Política del Estado (CPE)* de Bolívia, estabelece-se que “O Estado protegerá e assegurará a utilização prioritária da água para a vida. É dever do Estado gerir, regular, proteger e planificar a utilização adequada e sustentável dos recursos hídricos, com a participação social, garantindo o acesso à água a todos seus habitantes. A *Ley del Medio Ambiente* estabelecerá as condições e limitações de todas as diferentes utilizações. O Estado reconhecerá, respeitará e protegerá as utilizações e costumes das comunidades, das autoridades locais e organizações indígenas originárias sobre o direito e a gestão sustentável da água”.

A Bolívia de acordo com informações do Ministerio del Medio Ambiente y Agua (2013), abrange uma cobertura de água potável de 78.5%, estando perto de atingir o Objectivo do Milénio nas povoações de maior densidade. Porém, a cobertura de saneamento básico é de 49.8% ao nível nacional (Figura 3.5).

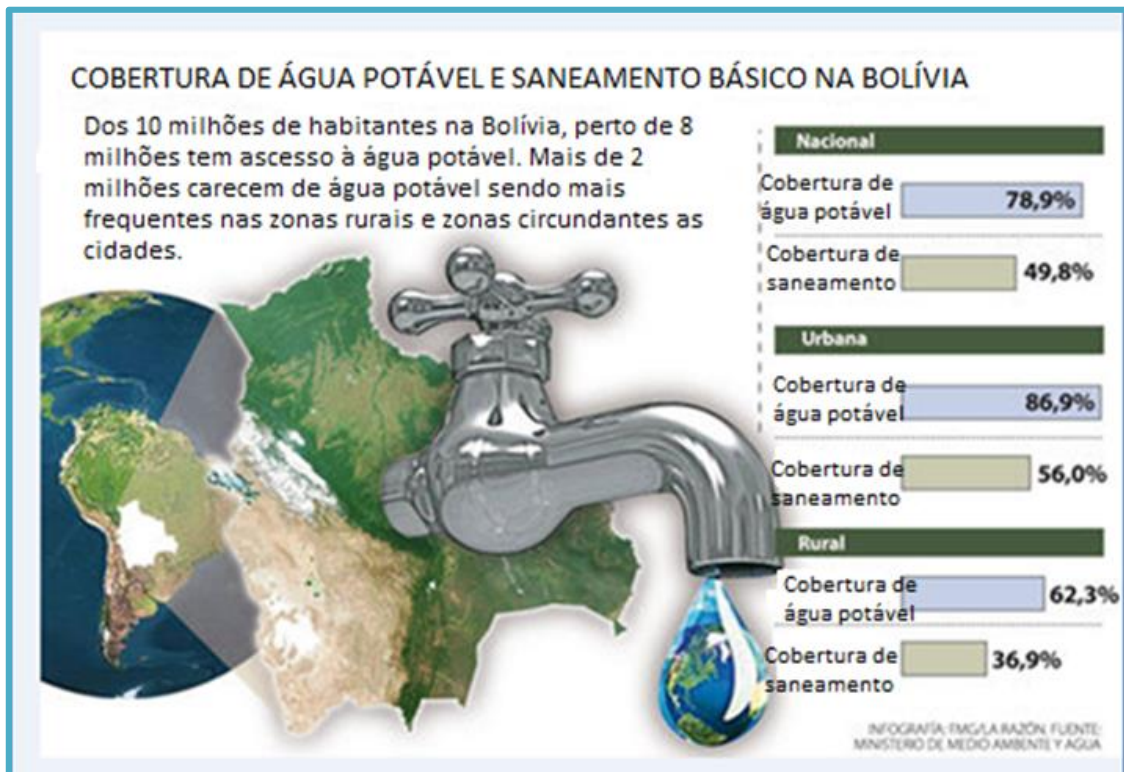


Figura 3. 5 Cobertura de água potável e saneamento básico, 2013
 Fonte: Adaptado do Ministerio del Medio Ambiente y Agua, ,2013

Na Bolívia, o sector da água e saneamento básico apoia-se nos seguintes pilares:

- ✓ **Água para a vida como um princípio orientador** – A água é um direito, onde não existe a comercialização da água e reforça-se a proibição de privatização e as concessões da água e respectivos serviços;
- ✓ **Papel principal do Estado** – O Estado é o principal agente dos investimentos e assume a liderança nos processos de fortalecimento institucional;
- ✓ **Participação social** – Fortalecimento das autoridades de fiscalização e controlo da água potável e saneamento (*AAPS*), com apoio dos sistemas comunitários e reconhecimento jurídico de usos e costumes;
- ✓ **Viver bem** – Viver em comunidade, aproveitar colectivamente os recursos económicos, usufruir dos serviços de água potável e saneamento básico e viver em harmonia com a natureza.

3.3.1 Principais autoridades governamentais

Na Bolívia existem atores públicos ao nível do sector da água e do saneamento básico. Neste sentido, os principais intervenientes públicos são os seguintes:

- **Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)**. Instituição pública, sendo a primeira autoridade hierárquica do sector, responsável por formular políticas e normas e estabelecer mecanismos dos serviços integradores de água potável e saneamento básico;
- **Viceministro de Agua Potável y Saneamiento Básico (VAPS)**. É composta pela Direcção Geral da Água Potável e Esgotos Sanitários e pela Direcção Geral dos Resíduos Sólidos. Contribui para a execução de programas, políticas, projectos e normas para o desenvolvimento, previsão e melhoria dos serviços de água potável e saneamento básico;
- **Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS)**. Controla, fiscaliza e regula as actividades associadas à água potável e saneamento. Também tem competência para regular as actividades que realizam os residentes, as autoridades jurídicas, privadas, comunitárias, públicas, mistas e em cooperativas no sector da água potável e do saneamento básico;
- **Servicio Nacional para la Sostenibilidad del Saneamiento Básico (SENABSA)**. Desenvolve as capacidades do estado em termos dos serviços da água potável e de águas residuais, mediante assistência técnica e fortalecimento institucional, implementando a estratégia social de desenvolvimento comunitário, assim como processos de capacitação, formação e investigação.

3.3.2 Intervenientes directos

Por outro lado, também existem intervenientes directos na Bolívia, no que se refere ao sector da água e do saneamento básico. São eles:

- **Entidad Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarrillado Sanitario (EPSA)**. Fornece serviços de água potável e saneamento básico. Esta entidade pode ser pública, social, cooperativa ou comunitária. Actualmente, os pagamentos cobrados apenas cobrem

as operações do sistema e gestão do serviço, o que leva a um mau funcionamento, no que respeita à sua manutenção e expansão de coberturas.

- **Organizaciones Sociales.** São organizações da sociedade civil. No entanto, intervêm activamente no sector.
- **Juntas vecinales y pueblos Indígenas Originarios.** Podem pertencer às áreas rurais ou urbanas.

4. AVALIAÇÃO DA NORMA BOLIVIANA NB 688

4.1 Fundamento para a avaliação da NB 688 e sua inovação

Os fundamentos têm sido especificados no enquadramento teórico para a inovação da norma NB 688, apresentados no Capítulo 2 deste trabalho, sintetizando, as características inerentes a um sistema de saneamento básico de fluxo cíclico.

4.2 Sustentabilidade dos serviços prestadores e regulação de tarifas

Geralmente, as *Empresas Prestadoras de Servicio de Agua y Saneamiento (EPSAS)* têm uma débil capacidade de gestão, com excepção dos Distritos de La Paz e de Santa Cruz. Esta situação ocorre principalmente nas pequenas e médias cidades, onde os sistemas de tratamento são recentes ou já existentes. Neste sentido, é necessário proceder a uma ampliação e melhoria nas estações de tratamentos sob dimensionados, estes problemas na actualidade devem-se, em geral, à falta de manutenção e de operação.

As tarifas fixadas pelas entidades reguladoras *EPAS* não cobrem actualmente os custos de investimento e exploração (Capítulo 4.6). Na maioria dos compromissos assinados com a população, a implementação de taxas de financiamento sustentáveis pelo *Fondo Nacional de Desarrollo Rural, 2013 (FNDR)*, não são mantidas.

Esta configuração da *EPAS* não permitirá nem ajudará na melhoria das condições do sector. Deverá então possuir maior eficiência e equilíbrio; aumentar o grau de recuperação de custos dos sistemas; proporcionar a formulação das tarifas com base em critérios económico-financeiros.

De facto, uma gestão dos serviços eficiente é necessária e deverá existir uma reorganização (no sector, no que se refere à definição de regras de harmonização das tarifas e taxas de poluição, tendo por base o princípio do “utilizador – pagador”, assim como os pressupostos de base dos modelos económicos, através dos quais são calculadas as tarifas (Veiga da Cunha, 1980).

O processo de privatização ou concessão dos serviços públicos do saneamento básico não é opção e actualmente não está contemplado, nem pela sociedade boliviana, nem pelo governo, pois teve um impacto negativo (privatização da água, 2000), limitando a participação dos operadores e utilizadores interessados, sendo visto como um abuso do sector privado (*Guerra del agua en Cochabamba, 2000*)¹. Actualmente, seria impensável a privatização ou concepção dos sistemas de tratamento de águas residuais, mas sim uma consciencialização de responsabilidade civil e especialmente uma educação sanitária mediante apoios do Governo Boliviano e de entidades internacionais, esta posição é sustentada pelo governo actual (*Plan Nacional de Saneamento Básico 2001-2010*).

¹ (<http://youtu.be/Of3K5H3U83k>).

Descrição do *Plan Nacional de Saneamiento Básico (2001 – 2010)* - Este plano baseia-se nos seguintes princípios:

- O acesso aos serviços de água e saneamento é um direito humano fundamental;
- A água e o saneamento não estão sujeitos a concessão nem a privatização;
- O Estado Boliviano é responsável pela prestação de serviços básicos nos diferentes níveis, seja directamente ou através de entidades como empresas públicas, cooperativas, comunitárias ou mistas;
- A prestação de serviços deverá responder aos critérios de sustentabilidade, responsabilidade, acessibilidade, qualidade, eficiência, eficácia, tarifários equitativos, coberturas necessárias com a participação e controlo social, assegurado pela equidade social e de género;
- O Estado reconhece a utilização social e ancestral das comunidades das áreas rurais e indígenas originários do país, respeitando “utilizações e costumes ancestrais”;
- É dever do Estado Boliviano e da população conservar, proteger e aproveitar de maneira sustentável os recursos hídricos, zelando pela integridade de toda a intervenção e serviços usufruídos, contemplando a:
 - a) **Visão** – Baseia-se na ampliação dos serviços de saneamento básico sustentáveis e de boa qualidade, na melhoria da gestão e operação, prevalecendo a Gestão Integral da Água, “contribuindo para o bem-estar da população”.
 - b) **Missão** – O plano de saneamento básico é uma ferramenta para o desenvolvimento do *Plan Nacional de Desarrollo (PND)*, baseado num compromisso a nível regional e nacional, incrementando, substancialmente, o acesso aos serviços sustentáveis da água potável e saneamento básico em geral, no enquadramento integral dos recursos hídricos (*GIRH*).
 - c) **Objetivos** - Cobertura, ampliação, melhorar, focalizar, contribuir para a gestão integral da água e do saneamento básico até ao ano de 2015.

Porém, segundo estudos demográficos (*Plan Nacional de Saneamiento Básico, 2001-2010*), foram identificados quatro grupos urbanos (áreas metropolitanas, cidades principais, médias e pequenas). Até ao ano 2015, segundo um prolongamento em estudo (*Plan Nacional de Saneamiento Básico, 2008-2015*), prevê-se que quase 50% da população boliviana se encontre nas áreas metropolitanas principais como La Paz, Santa Cruz ou Cochabamba, devido à migração rural-urbana, incrementando as áreas periféricas às cidades por populações numerosas sem saneamento básico.

O *Plan Nacional de Saneamiento Básico* apresenta esquematicamente a concepção estratégica que sustenta o enfoque do plano, como se mostra na Figura 4.1.

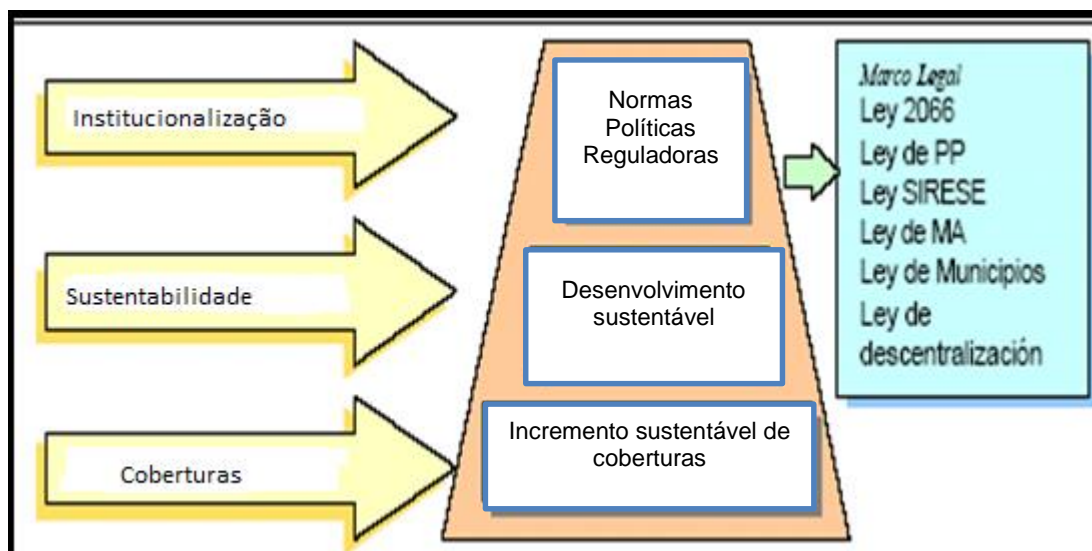


Figura 4. 1 Esquema estratégico das intervenções dos sectores
 Fonte: Adaptado do *Plan Nacional de Saneamiento Básico* (2001 – 2010)

- Institucionalização - Abrange as normas políticas de regulamentação, dentro dos parâmetros legais com a participação das diferentes entidades e autoridades.
- Sustentabilidade – Faz referência ao desenvolvimento baseado na sustentabilidade dos recursos hídricos e desenvolvimento humano.
- Coberturas – Apoiar o incremento sustentável de coberturas de saneamento básico e especialmente da água potável.

4.3 Revisão da NB 688 e objectivos a atingir com base no fluxo cíclico e na gestão da água residual

O sector dos serviços de abastecimento público de água potável e de saneamento básico tem uma importância fundamental na sociedade boliviana. Não se pode falar de um verdadeiro desenvolvimento do país sem se ter em conta essas necessidades. Contudo, estes serviços deverão ter uma aceitação e ser os adequados tanto em termos de quantidade como de qualidade.

Com a aplicação do Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento das Águas Residuais (*Plan Nacional de Saneamiento Básico*) para o período 2001 -2010, foi possível melhorar o nível do atendimento nacional, adoptando como objectivo as necessidades prioritárias para um desenvolvimento humano. Este objectivo deverá implicar uma qualificação das infra-estruturas ambientais e respectiva gestão das águas, descentralizando-as, de forma a atingir os níveis pretendidos de atendimento e padrão de serviço.

Os resultados obtidos deverão perseguir os princípios da universalidade, continuidade e qualidade do serviço:

- O tratamento e reutilização das águas residuais deverá permitir a protecção dos meios receptores, de forma a ser parte de uma gestão eficiente dos recursos hídricos na bacia hidrográfica;
- A reutilização das águas residuais tratadas deverá gerar benefícios para que possam ser usadas na produção agrícola, não colocando em risco a saúde pública e aproveitando a matéria orgânica e os nutrientes que possam beneficiar as diferentes produções dos campos agrícolas;
- Obter níveis adequados de qualidade do serviço, mensuráveis pela conformidade dos indicadores de qualidade de serviço definidos;
- Estabelecer, a nível regional e nacional, tarifas ao consumidor final. Tendencialmente, evoluir para um intervalo compatível com a capacidade económica das populações, sendo socialmente responsáveis pela continuidade de seu tratamento e usufruto dos benefícios da reutilização onde se geram as águas residuais, desta forma assumindo os custos e valorizando seu tratamento;
- Garantir a recuperação integral dos custos de investimento, para tornar o serviço sustentável e eficiente permitindo uma ampliação, que na atualidade é um facto ambicioso perseguido. No entanto o *Plan de Saneamento Básico, 2001- 2010*, sempre enfatiza em um serviço sustentável e eficiente e, de em ano em ano vai sendo aceite e assumido pela população;
- Otimizar a gestão operacional e eliminar os custos de ineficiência;
- Cumprir os objetivos decorrentes das normas (NB 688 e *Ley del Medio Ambiente 1333*), a nível rural e nacional;
- Garantir uma abordagem integrada na prevenção e controlo da poluição provocada pela actividade humana e pelos sectores produtivos, aplicando o principio “poluidor – pagador”;
- Aumentar a produtividade e competitividade do sector através de soluções que promovam a ecoeficiência apostando em tecnologias naturais.

4.4 Tecnologia apropriada

Os sistemas convencionais apresentam reconhecida eficiência na remoção de microrganismos patogénicos sendo aplicados em países desenvolvidos. Geralmente, devido aos elevados custos e ao uso de tecnologia especializada para a sua manutenção, são inacessíveis para os países em desenvolvimento. No entanto, apresentam vantagens e desvantagens que serão abordadas no Capítulo 5.

A tecnologia apropriada deve ser inovadora e basear-se em processos naturais, tendo em conta as características geográficas e climáticas que apresenta a Bolívia, pois a escolha deverá estar adequada à região, clima, ciclo de precipitação e estiagens nas diferentes regiões. Actualmente, a Bolívia conta com áreas de grande dimensão e acessíveis a uma óptima implantação, de acordo com as tecnologias não convencionais que reúnem as seguintes características:

- De baixo custo de implantação;
- De baixo custo de operação e manutenção;

- Eficientes na remoção de metais pesados e cargas orgânicas difíceis de remover, com uma adequada manutenção dos sistemas lagunares;
- Estável;
- Versátil e adequada à realidade socioeconômica do meio ambiente no desenvolvimento humano.

No entanto, o saneamento básico merece ser atendido urgentemente, inovando com sistemas de tratamento alternativos e descentralizando os atuais, apostando num saneamento de fluxo cíclico e com uma tecnologia adequada de características sustentáveis e eficientes.

A ineficiência e inaplicabilidade do fluxo linear como emergência têm sido a preocupação de várias organizações (OMS, OPS, ONG) a nível mundial, destacando na, *Feria Global de la Feria del Desarrollo del grupo Banco Mundial*, Convocatória do 2006 “*Innovaciones en servicios de agua, saneamiento y energía para personas de escasos recursos*”.

..... Los servicios de agua segura, instalaciones sanitarias y energía son vitales para la supervivencia; sin embargo, más de mil millones de personas en los países en vías de desarrollo siguen sin tener acceso al servicio de agua potable y 2,6 mil millones de personas carecen de instalaciones sanitarias higiénicas.....

Las cifras son exorbitantes y la necesidad urgente. El abastecimiento de agua insegura y el inadecuado saneamiento contribuyen a aumentar las infecciones relacionadas con el agua y las enfermedades parasitarias, las cuales afectan desproporcionadamente a la gente más pobre de los países en vías de desarrollo. Las inapropiadas instalaciones sanitarias degradan los recursos de agua subterránea, costeros y fluviales de los cuales depende la gente más pobre para su sustento. ...

4.5 Avaliação dos sistemas de tratamentos da NB 688

Os sistemas propostos para o tratamento de águas residuais segundo a NB 688 são os seguintes:

- Fossa séptica (FS);
- Tanque Imhoff (TI);
- Filtros percoladores (biológicos), (FB);
- Lagoas de estabilização;
- Reatores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA);
- Reatores anaeróbios de leitos fluidizados (RALFA);
- Filtros anaeróbios (FA).

No contexto de avaliação, mediante estudos de investigação e pesquisas bibliográficas, abordados no Capítulo 5, são sugeridos sistemas não convencionais, para serem adaptados e

para pequenas populações, como os leitos de macrófitas - *Humedales Artificiales (Wetlands)* e fossas sépticas.

A NB 688 propõe também os sistemas de tratamento de lamas activadas. No entanto, são consideradas tecnologias convencionais aptas e eficientes, de difícil acesso, uma vez que para a sua manutenção é requerido pessoal qualificado e a implantação requer um investimento economicamente difícil de sustentar, para a sua recuperação de capital e manutenção da qualidade do serviço. Este sistema de lamas activadas é qualificado e apresenta características que cumprem as normas de inovação do fecho de ciclo e aproveitamento das águas residuais, com maior eficiência e confiabilidade para fins agrícolas (Metcalf & Eddy, 1994).

4.6 Avaliação de custos de construção e exploração

No que se refere aos custos de construção, estes dependem da escala de aplicação de cada módulo e da população servida (investigações de *Luna Ponce – 2003*; *Sasse - 1988*). Na tabela seguinte (Tabela 4.1), são apresentados intervalos de custo de construção por habitante, mencionados nas pesquisas bibliografias efectuadas, isto é, uma estimativa aproximada acerca dos módulos de sistema de tratamentos (não estão incluídos gastos de exploração).

Tabela 4. 1 Custos específicos à construção dos Sistemas de tratamentos mais comuns na Bolívia

Fonte: Sasse, 1998; Luna Ponce, 2003

Módulos de sistema de tratamentos	Variação de custos (\$US/hab.)	Média (\$US/hab.)
Tanque Séptico	85 - 100	93
Tanque Imhoff	70 - 100	84
Filtro Biológico - Leito Percoladores	180 - 600	356
Lagoas Facultativas	70 - 210	133
Reactor anaeróbio de fluxo ascendente	20 - 100	54
Reactor anaeróbio de leito fluidizado	Não se conhece	-
Filtro anaeróbio	220 - 350	276

A instalação do sistema de tratamento RAFA envolve custos mais reduzidos na implantação e actualmente são eficientes e económicos, seguidos das Fossas Sépticas e Tanques Imhoff.

Em quanto, se refere aos custos de exploração (controlo, análises laboratoriais, operação e manutenção), Sasse, 1998 e Ponce, 2003, apresentam os custos inerentes ao investimento de

custos de construção os custos de exploração por habitante e ano como uma estimativa (Tabela 4.2).

Tabela 4. 2 Custos de exploração dos Sistemas de tratamentos mais comuns na Bolívia

Fonte: Sasse, 1998; Luna Ponce, 2003

Módulos de sistema de tratamentos	Variação de custos (\$US/hab.)	Média (\$US/hab.)
Tanque séptico	5.5	6
Tanque Imhoff	8	8
Filtro Biológico - Leito Percoladores	8 a 35	18
Lagoas Facultativas	2 a 9	5
Reactor anaeróbio de Fluxo Ascendente	2 a 7	4
Reactor anaeróbio de Leito Fluidizado	Não se conhece	-
Filtro anaeróbio	3 a 6	5

As estimativas para os diferentes módulos, os filtros biológicos – leitos percoladores, são os que apresentam resultados mais elevados em quanto aos custos de controlo, análises laboratoriais, operação e manutenção, nos outros sistemas os resultados são quase similares.

A situação actual socioeconómica da Bolívia constitui um factor determinante no aspecto da implementação operacional e de manutenção das infra-estruturas de saneamento básico para as diferentes populações. Contudo, na maioria das vezes, ocorrem ineficiências em termos de operação e manutenção, que conduzem à sobrecarga dos sistemas, impossibilitando o normal funcionamento dos mesmos

4.7 Eficiência das unidades de tratamento

De acordo com estudos de investigação (Sasse, 1998; Ponce, 2003 e GTZ, 2013), estabeleceram-se comparações entre as eficiências e rendimentos de cada sistema de tratamentos (Tabela 4.3), de acordo com as características das águas residuais sujeitas a tratamento, tais como:

- Carência bioquímica de oxigénio (CBO), correspondente à quantidade de oxigénio consumido pelos microrganismos na decomposição aeróbia da matéria orgânica, dentro de determinadas condições;
- Carência química de oxigénio (CQO), correspondente à quantidade de oxigénio que é consumido na oxidação por via química da matéria orgânica e da matéria inorgânica presente, convertendo-as em dióxido de carbono e água;
- Sólidos suspensos totais (SST);

- Compostos de azoto, sob a forma de azoto total (N_t), que surgem nas águas residuais essencialmente por descarga directa de efluentes domésticos, industriais, agro-pecuários ou por escoamento superficial, sendo arrastados pelas águas das chuvas ou de rega para os sistemas de drenagem;
- Compostos de fósforo, sob a forma de fósforo total (P_t), que surgem nas águas residuais, essencialmente, por descarga directa de efluentes domésticos, industriais e agro-pecuários, sendo provenientes de dejectos humanos e animais ou da utilização de detergentes;
- Coliformes Fecais (CF), que são microrganismos relativamente aos existe na legislação limites máximos a respeitar.

Tabela 4. 3 Eficiências médias de remoção pelos sistemas

Fonte: Medina – 2005; Luna Ponce; Sasse - 1998

Sistemas de tratamento	Eficiência de tratamento (%)					
	CBO	CQO	SST	Nt	Pt	CF
Fossa séptica	30	35	60	30	20	10
Tanque Imhoff	20	30	60	30	20	10
Filtro biológico - Leitos bacteriano	74	75	71	42	22	85
Lagoa de estabilização	60	67	70	60	15	99
Reator anaeróbio de fluxo ascendente	70	80	60	30	10	50
Reator anaeróbio de fluxo ascendente leito fluidizado	80	80	60	30	10	50
Filtro anaeróbio	80	85	65	30	10	95

Muñoz e León (1993), no seu trabalho de pesquisa "Sistemas integrados de tratamento e uso de águas residuais na América Latina: Realidade e Potencial" (Projeto e Reutilização), desenvolvido no Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS), consideraram 14 países da América Latina, no período entre 2000 e 2003. Os resultados destacam a inaplicabilidade de desinfecção de águas residuais tratadas a nível continental, mesmo para as grandes cidades metropolitanas com poder económico, onde os serviços básicos têm uma gestão mais sólida e implementam soluções de tratamento baseadas num módulo de processamento único, com ou sem desinfecção final.

4.8 Cumprimento da normativa ambiental na actualidade

Comparando a qualidade dos limites de descarga dos efluentes finais, pode-se verificar para três tipos de concentrações de efluentes: baixas, médias e fortes, nos diferentes sistemas de tratamentos

As águas residuais com concentrações baixas. Na Tabela 4.4, estabelece-se a comparação entre a qualidade do efluente final, para vários tipos de tratamento, e os limites de concentração definidos na *Ley del Medio Ambiente 1333* - Bolívia.

Tabela 4. 4 Qualidade dos efluentes finais e limites de descarga permitidos - concentrações baixas

Fonte: Ley del Medio Ambiente 1333

Sistemas de tratamento	Valores de concentração do efluente final					
	CQO(mg/l)	CBO(mg/l)	SST (mg/l)	NH3(mg/l)	Pt(mg/l)	CF(Nº/100ml)
Fossa séptica	175	72	40	8	3	8,00E+06
Tanque Imhoff	200	77	40	8	3	8,00E+00
Filtro biológico - Leitos bacteriano	64	28	29	7 5	3	1,50E+06
Lagoas facultativas	100	36	30	5	3	1,00E+05
Reactor anaeróbio de fluxo ascendente	75	22	40	8	4	5,00E+06
Reactor anaeróbio de fluxo ascendente leito fluidizado	75	22	40	8	4	5,00E+06
Filtro anaeróbio	50	17	35	60	4	5,00E+05
Limites de lançamentos	250	80	60	4	-	1,00E+03

Limites descarga, Regulação em Matéria de Contaminação "Ley del Medio Ambiente 1333"

Cumpre com os limites de descarga



Não cumpre com os limites de descarga

- Os sistemas de tratamentos segundo a normativa ambiental 1333, têm a capacidade de remover CBO₅, CQO e SST, até aos limites de descarga permitidos.
- Nenhum dos tratamentos da norma tem a capacidade de eliminar os coliformes fecais, de forma a cumprir os correspondentes limites de descarga.

Para as águas residuais com concentrações médias (Tabela 4.5), faz-se uma comparação do efluente final e os limites permitidos segundo a *Ley del Medio Ambiente 1333*.

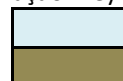
Tabela 4. 5 Qualidade dos efluentes finais e limites de descarga permitidos - concentrações médias

Fonte: Ley del Medio Ambiente 1333

Sistemas de tratamento	Valores de concentração do efluente final					
	CQO(mg/l)	CBO(mg/l)	SST (mg/l)	NH3(mg/l)	Pt(mg/l)	CF(Nº/100ml)
Fossa séptica	350	143	88	18	6	8,00E+07
Tanque Imhoff	400	154	88	18	6	8,00E+07
Filtro biológico - Leitos bacteriano	128	55	64	14	6	1,50E+07
Lagoas facultativas	200	72	66	10	7	1,00E+06
Reactor anaeróbio de fluxo ascendente	150	44	88	18	7	5,00E+07
Reactor anaeróbio de fluxo ascendente leito fluidizado	150	44	88	18	7	5,00E+07
Filtro anaeróbio	100	33	77	18	7	5,00E+07
Limites de lançamentos	250	80	60	4	-	1,00E+03

Limites descarga, Regulação em Matéria de Contaminação "Ley del Medio Ambiente 1333"

Cumpre com os limites de descarga



Não cumpre com os limites de descarga

A fossa séptica e o tanque Imhoff, não tem a capacidade de remover o CQO, CBO e SST, até o limites permitidos. No entanto, nenhum dos sistemas de tratamentos são eficientes para remover os CF, até o limites permitidos de descarga.

A normativa ambiental 1333, também contempla para águas residuais com concentrações fortes (Tabela 4.6), compara a qualidade do efluente final e os limites permitidos de descarga.

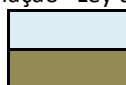
Tabela 4. 6 Qualidade dos efluentes finais e limites de descarga permitidos - concentrações fortes

Fonte: Ley del Medio Ambiente 1333

Sistemas de tratamento	Valores de concentração do efluente final					
	CQO(mg/l)	CBO(mg/l)	SST (mg/l)	NH3(mg/l)	Pt(mg/l)	CF(Nº/100ml)
Fossa séptica	700	260	140	35	12	8,00E+08
Tanque Imhoff	800	280	140	35	12	8,00E+08
Filtro biológico - Leitos bacteriano	250	100	102	29	12	1,50E+08
Lagoas facultativas	400	130	105	20	13	1,00E+07
Reactor anaeróbio de fluxo ascendente	300	80	140	35	14	5,00E+08
Reactor anaeróbio de fluxo ascendente leito fluidizado	300	80	140	35	14	5,00E+08
Filtro anaeróbio	200	60	123	35	14	5,00E+07
Limites de lançamentos	250	80	60	4	-	1,00E+03

Limites descarga, Regulação em Matéria de Contaminação "Ley del Medio Ambiente 1333"

Cumpe com os limites de descarga



Não cumpe com os limites de descarga

Para concentrações fortes só o filtro anaeróbio tem a capacidade de remover CQO, CBO e SST, até os limites permitidos de descarga. No entanto, também nenhum dos sistemas de tratamentos tem a capacidade de remoção do CF, até os limites permitidos de lançamentos segundo a normativa ambiental 1333.

Segundo Metcalf & Eddy, (1998-2003), define as concentrações para os diferentes tipos de águas residuais domésticas brutas (sem tratamento), sendo estimadas, para cada sistema de tratamento perante a sua qualidade do efluente final (Tabela 4.7).

Tabela 4. 7 Concentrações mais comuns de águas residuais domésticas brutas

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy, 1998-2003

Parâmetros de Contaminação	Unidades	Concentrações		
		Baixas	Médias	Forte
CQO	mg/L	250	500	1000
CBO	mg/L	110	220	400
Sólidos Totais (SST)	mg/L	100	220	350
NH3 como N	mg/L	12	25	50
Pt	mg/L	4	8	15
Coliformes Fecales (CF)*	Nº/100 ml	1,E+07	1,E+08	1,E+09

(*) Actualmente tem sido alterados de acordo aos dados das diversas águas residuais domésticas na Bolívia

4.9 Condições ambientais e socioeconómicas a aplicar nos sistemas de tratamento

Segundo a análise realizada à legislação boliviana, deverão ser considerados os impactes ambientais e socioeconómicos, dependendo das diferentes zonas do país e dos costumes originários (Mena, 1994).

Os factores que se consideraram como mais importantes para caracterizar as necessidades de água para a agricultura são o clima, as características do solo, o tipo de culturas e a eficiência da reutilização da água tratada (Lettinga, *et.al.*, 1997).

Tal como foi referido no Capítulo 1.4, na Bolívia existem três zonas fisiográficas, sendo que cada uma delas é limitada e caracterizada pelas zonas climáticas:

- **Zona Altiplánica** (Cordilheira dos Andes), que apresenta temperaturas normalmente muito baixas no inverno, chegando a atingir abaixo de 0°C, e no verão temperaturas de até 18 °C. Esta zona é caracterizada por *deficit* de água, mas conta com o contributo do degelo das massas de gelo presentes na Cordilheira dos Andes. Porém, função do aquecimento global, estas reservas estão a sofrer uma depleção, determinando assim investimentos para aduzir água potável a grandes áreas metropolitanas (La Paz), função forte procura de água.
- **Zona dos Vales**, que se situa na franja média da Bolívia, com temperaturas no inverno em que os mínimos atingem 4 °C, e no verão os máximos chegam aos 35°C.
- **Zona do Trópico** (Amazónia), que corresponde à zona de fronteira com o Brasil (em Mato Grosso), onde se atingem temperaturas mínimas de 14°C no inverno e máximas, no verão, até 40°C, sendo também caracterizada por precipitações intensas que muitas vezes provocam inundações.

As tecnologias adequadas para os diferentes sistemas de tratamento propostos na inovação da NB 688, estão relacionadas com o meio ambiente envolvente, já que a temperatura, a topografia e as áreas de implantação/construção, são necessárias para que o sistema de tratamento aplicado seja eficiente, sustentável e aceite pela população.

Por questões económicas e recomendações da CONAGUA, da ONU e da OMS, deve apostar-se em tratamentos naturais ecológicos como as lagoas, *Wetlands* Artificiais e sistemas de tratamentos alternativos, individuais ou para pequenas comunidades, como os leitos de macrófitas e fossas sépticas, entre outros. É necessário que a Norma Boliviana reconheça os tratamentos alternativos para inovar a sua aplicação.

Na zona *Altiplánica* a agricultura sofre carências de água. Estudo de investigação de organismos e instituições governamentais e internacionais, apoiam a reutilização dos efluentes tratados para rega (SENARI, 2009).

Por muitas razões, é necessário inovar e encontrar soluções alternativas para origens de água a utilizar na agricultura. Desta forma, indirectamente, contribui-se para evitar que a densidade populacional aumente nas áreas metropolitanas, devido ao êxodo rural.

Os sistemas de tratamento adequados poderão ser os sistemas de lagunagem, como contempla a NB 688. No entanto, deve-se exigir características e parâmetros básicos de implantação no anteprojecto (Capítulo 5), para os sistemas que irão servir zonas de maior densidade populacional, já que a Bolívia, actualmente, conta com áreas disponíveis de grandes dimensões, sendo uma das vantagens para a implantação de sistemas de lagunagem (estas áreas de implantação deverão estar tanto quanto possível afastadas de zonas populacionais), uma vez que para além do custo económico baixo e manutenção simples, dispensam mão-de-obra qualificada.

Além disso, as comunidades, os agricultores e moradores a jusante podem usufruir da reutilização de nutrientes, tais como o azoto e o fósforo, que funcionam como fertilizantes. Deverá ser cumprida a norma da legislação da *Ley del Medio Ambiente 1333*, que impõe limites de descarga, em termos de concentração, aos efluentes de sistemas de tratamento.

Desta forma, será possível fechar o ciclo da água e promover a recuperação de nutrientes, protegendo os ecossistemas, e adoptando o sistema proposto do “Fluxo cíclico”.

5. PROPOSTA E CONTRIBUTOS PARA A REVISÃO DA NB 688 - BASEADO NUM MODELO DE FLUXO CÍCLICO

Como referido anteriormente, não existe uma normativa específica para as estações de tratamento de águas residuais e a *Ley 1333 del Medio Ambiente* fixa os parâmetros mínimos de descarga das águas residuais tratadas.

Pretende-se Identificar aspectos susceptíveis de determinar melhorias da norma técnica boliviana, referente a água potável e saneamento básico, mediante uma recompilação das normas existentes que apoiam actualmente os aspectos relacionados com a eficiência, sustentabilidade e vulnerabilidade face às alterações climáticas. Concretamente, segundo uma análise das normas existentes, importa referir os seguintes aspectos:

- **Norma Boliviana NB 512** – Referente à qualidade da água potável para o consumo humano (captação nos meios receptores), caracterizando e regulando os parâmetros permissíveis físico-químicos e microbiológicos.
- **Norma Boliviana 688** – Além de propor sistemas descentralizados não convencionais, atingindo resultados eficientes, deve-se contemplar estudos hidrológicos (período de retorno de 5 a 10 anos) para o seu dimensionamento, atendendo as redes de drenagem pluviais ou combinados e outros factores relacionados com as mudanças climáticas, impacto ambiental, crescimento demográfico exponencial das populações (Agência Alemã de Cooperação Internacional, 2013). Pretende-se também contemplar a reabilitação e ampliação de estações de tratamento existentes com problemas técnicos de funcionamento e a implementação de monitorização dos meios receptores.

5.1 Proposta de tratamentos anaeróbio de águas residuais – digestores anaeróbios

Baseia-se na degradação da matéria orgânica, caracteriza-se pela conversão, microbiológica de substratos orgânicos a metano e dióxido de carbono, na ausência de oxigénio, com interacção de diferentes populações de bactérias, sendo normalmente descrita por quatro fases: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese (Amaral, 2013).

A digestão anaeróbia é um processo que pode ser implantado em ambientes naturais como nas zonas com climas de temperaturas médias e elevadas (zona dos vales e zonas dos trópicos). Nas zonas com maior densidade populacional, é indiscutível a forte influência socioeconómica da população e, como consequência, existe uma maior actividade produzindo maior caudal de água residual doméstica, somando a este os caudais associados às actividades industriais (Amaral, 2013).

Não devem deixar de ser tidos em conta os usos e costumes de cada região. Nos países em desenvolvimento como na Bolívia, é vital a fonte de entrada económica actual das famílias, sendo elas que fornecem a matéria-prima e mão-de-obra nas indústrias.

Interesse e vantagem do tratamento anaeróbio – Os processo de tratamento anaeróbio podem ser considerados como o método chave da preservação dos recursos e da tecnologia de protecção ambiental (Figura 5.1) e, conseqüentemente, podem ser combinados com outros métodos adequados de tecnologias avançadas e sustentáveis de que a sociedade necessita urgentemente (Letinga *et al.*, 1997). Desta forma poderá fechar-se o ciclo de reutilização da água livre de contaminação, além de possibilitar o aproveitamento de nutrientes. As características e vantagens são as seguintes:

- Baixa produção de lamas em excesso (e estabilizadas);
- Necessidade de nutrientes baixa;
- Nula ou quase, na utilização de energia;
- Os processos anaeróbios de alta carga conseguem operar e ser dimensionados para elevadíssimas cargas orgânicas;
- As lamas dos processos anaeróbios podem manter-se sem perda de qualidade largos meses sem serem alimentadas e sem deterioração significativa da qualidade;
- Alguns dos modernos sistemas de alta carga são tecnicamente simples e de baixo investimento;
- Compostos tais como a amónia podem ser convertidos o que em casos específicos pode ser um benefício para a agricultura.

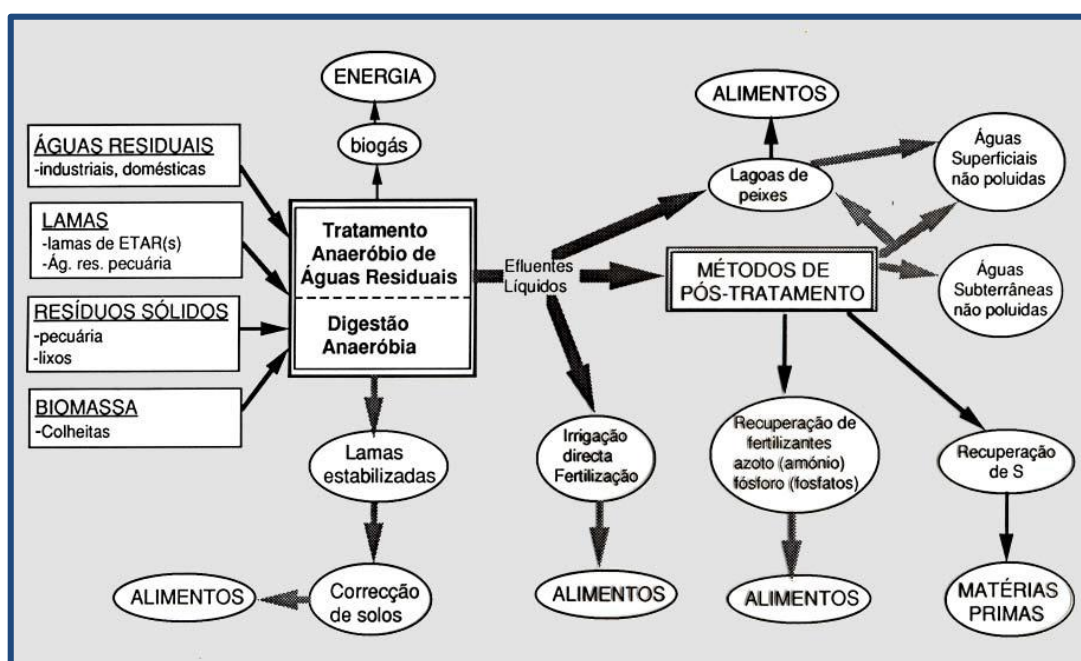


Figura 5. 1 Tratamentos anaeróbios reutilização e recuperação de nutrientes

Fonte: Amaral, 2013

Limitações e desvantagens dos tratamentos anaeróbios (Amaral, 2013)

- Os processos anaeróbios constituem basicamente processos de pré-tratamento;

- Toxicidade;
- O primeiro *start-up* é normalmente lento;
- Provoca maus cheiros;
- Pouca experiência neste campo;
- Exploração escrupulosa;
- Taxas de reacção mais lentas do que nos processos aeróbios.

5.2 Fossas sépticas

Este sistema de tratamento alternativo pode aplicar-se para aglomerados de pequena dimensão. Este sistema é uma solução sustentável mas nunca constitui um tratamento completo, pois o efluente rejeitado apresenta aspecto e cheiro desagradáveis, elevado teor de matéria orgânica (CBO) e grande número de microorganismos patogénicos (De Assis, 1999).

Para aglomerados de pequena dimensão, são viáveis as fossas sépticas construídas em compartimentos rectangulares. Normalmente são construídas abaixo do nível da superfície do solo, recebem águas residuais domésticas e retêm-nas por alguns dias. Tecnicamente são construídas em betão ou somente na soleira, as paredes são em alvenaria de tijolo maciço ou de pedra (Morais, 1977). Durante o tempo que o efluente permanece na fossa séptica os sólidos suspensos tendem a sedimentar no fundo e a ser digeridos anaerobiamente formando lamas (Mara, 1996).

Por tal facto, uma fossa tem obrigatoriamente, a jusante, um órgão de tratamento completar de infiltração ou filtração (poço, trincheira, leito, filtro de areia enterrado, aterro filtrante e plataforma de evaporação). Porém, estes deverão estar tecnologicamente adequados às características do meio receptor.

As ligações residenciais, unitárias ou colectivas, ao tanque séptico (fossa séptica) não deverão receber águas pluviais, pois são considerados como interceptores de sólidos e os resíduos sólidos sedimentados devem ser removidos.

A localização da fossa séptica deverá permitir o escoamento gravítico e é recomendável que fiquem afastadas, pelo menos, 1.50 m dos limites de propriedades, redes de águas, árvores e outros.

Está inerente a caracterização do tipo de solo (argilosos, arenosos e outros), de modo a avaliar condições apropriadas para a sua implantação e os impactos que possam ocasionar roturas, provocando infiltrações.

O dimensionamento tem como finalidade melhorar a eficiência do tratamento e deve ter pelo menos, dois ou mais compartimentos (Figura 5.2), tendo o primeiro uma capacidade dupla de cada um dos outros compartimentos, que devem ser iguais entre si (De Assis, 1999).

Para facilitar as acções físicas e biológicas as fossas devem obedecer aos seguintes parâmetros:

- A altura do líquido dever variar entre 1.20 m (mínimo) e 2 m (máximo) podendo, em fossas de grande capacidade, chegar a 2.25 m.
- A relação entre o comprimento e a largura é de 3 para 1, indo até 5 para 1 em fossas multicompartimentadas.
- Os órgãos de infiltração (poços absorventes), são dispositivos complementares. No entanto, é adequado quando o terreno é constituído por camadas impermeáveis assentes sobre camadas permeáveis existentes a pequena profundidade. Porém, se os solos forem permeáveis à superfície, devem preferir-se as trincheiras de infiltração.



Figura 5. 2 Características técnicas de uma fossa séptica em betão

Fonte: Construções Aguamarket (<http://www.aguamarket.com>)

Como outra alternativa existe o sistema de fossa séptica com um filtro anaeróbio, que tem o propósito de reduzir o impacto ambiental dos resíduos. O filtro anaeróbio assume a função de reactor biológico, onde microrganismos anaeróbios efectuem a depuração do efluente. O filtro anaeróbio é composto por plástico, fibra de vidro ou betão armado, ou seja, materiais que apresentam alta resistência para que não haja perda do seu conteúdo nem absorção de água que se encontra no exterior (De Assis, 1999).

As condições de anaerobiose são mantidas com a ajuda de uma camada de espuma que se forma na superfície (Mara, 1996) e é composta pelos sólidos flutuantes do efluente, tais como gorduras, detritos vegetais e alguns sólidos mais densos que são emulsionados no ar. Esta película que se encontra à superfície tem a denominação de espuma. A sedimentação dos sólidos suspensos deve-se à diminuição brusca de velocidade do fluxo e à acção da força da

gravidade sobre as partículas (Morais, 1977). Deve proceder-se periodicamente à remoção das lamas acumuladas.

As fossas sépticas individuais servem geralmente uma habitação, contudo podem ser utilizadas de forma comunitária até cerca de 300 residências. Não são apropriadas para situações de densidade urbana elevada, nem consideradas a melhor opção para áreas com pouco fluxo de efluente residual (Mara, 1996). Quando um agregado de residências é servido por uma fossa séptica comum, pode ser vantajoso, no sentido de os custos por habitação serem reduzidos.

Um dos critérios mais relevantes no projecto das fossas sépticas é o tempo de retenção, ou seja, a razão entre o volume útil da fossa séptica e o caudal médio diário. Como se tem referido, uma fossa séptica é essencialmente um reservatório estanque e constitui um órgão de decantação e digestão onde as águas residuais domésticas permanecem o tempo suficiente para sofrerem um tratamento físico (sedimentação e flotação) e um tratamento biológico (fermentação séptica ou digestão anaeróbia) (Mara, 1996).

Actualmente, em países desenvolvidos como a Dinamarca e outros, por factores económicos de operação e de manutenção, devido à reduzida população, estão a retomar a utilização de fossas sépticas individuais, pois é viável quando confrontados aos custos de operação e manutenção de uma ETAR de grandes dimensões e com caudais afluentes mínimos não se justifica a continuação de seu funcionamento.

5.3 Lagunagem

O sistema de lagunagem (Figura 5.3) apresenta-se como um método de tratamento de efluentes de baixo custo energético. Já na idade média, apesar de uma forma empírica, praticava-se o tratamento de águas residuais por lagoas de estabilização nos fossos dos castelos espalhados por toda a Europa. Esses fossos recebiam as águas residuais provenientes dos quartos e latrinas e, devido à sua alta produtividade biológica, eram, por vezes usados para a criação de peixes.

Esta tecnologia de lagunagem de tratamento de águas residuais baseia-se no desenvolvimento em simbiose de algas e bactérias, que têm a capacidade de estabilizar a matéria orgânica. As algas, recorrendo à energia solar como fonte de energia, produzem oxigénio, que permite às bactérias efectuar, em condições aeróbias, a degradação da matéria orgânica e inorgânica existente no meio, conduzindo a uma reciclagem dos materiais e da energia nesse ecossistema (Amaral, 2013).



Figura 5. 3 Sistemas de tratamento por lagunagem

Fonte: Amaral, 2013

Para um bom funcionamento das lagoas, deverão criar-se condições favoráveis à biodegradação microbiana e à fotossíntese, consoante o tipo de lagoa. As lagoas classificam-se pelo tipo de actividade biológica que predominantemente suportam, anaeróbia ou aeróbia. As importâncias das lagoas caracterizam-se, segundo Amaral, (2013) pelo seguinte:

Vantagens:

- É normalmente a forma mais económica de sistemas de tratamento, quer em termos de construção, quer de operação e manutenção;
- Geralmente, não precisam de fonte adicional de energia, para além da solar (implantação em zonas adequadas climatericamente);
- Conseguem reduzir a concentração de patogénicos até níveis bastante baixos o que é de grande importância, quando o efluente tratado vai ser reutilizado na agricultura;
- Absorvem grandes flutuações de caudal e de matéria orgânica;
- Toleram concentrações elevadas de metais pesados.

Desvantagens:

- O clima é uma condicionante importante a ter em conta (temperatura, precipitação, evaporação e ventos);
- O espaço de implantação (área necessária e área disponível);
- Condições hidrogeológicas;
- Objectivos definidos:

- Degradação da carga orgânica;
- Sistema de tratamento;
- Remoção de carga microbiológica.

Tipos de Lagoas mais usuais

Lagoa de estabilização - Designa-se lagoa de estabilização a um reservatório limitado por diques de terra compactada, caso mais vulgar, onde as águas residuais permanecem durante um período de tempo, suficiente para que a sua depuração alcance o nível pretendido, por meio de processos bioquímicos totalmente naturais (De Assis, 1999).

As lagoas de estabilização além de representarem um sistema de tratamento natural, têm custos baixos de construção, operação e manutenção. Estas lagoas removem a matéria orgânica (CBO₅), mediante processos biológicos aeróbios e anaeróbios, dependendo dos processos predominantes das lagoas: aeróbias (de maturação ou polimento), anaeróbias ou facultativas. No entanto, as lagoas facultativas são dimensionadas para a remoção de CBO₅ e patogénicos (Terán, 2004).

Actualmente, mediante informações da Agência Alemã de Cooperação Internacional, numa avaliação esporádica com base em análises laboratoriais, chegaram a conclusões acerca do funcionamento das lagoas da Bolívia, verificando que estas só removem, na sua maioria, 50% da carga orgânica (CBO₅), que apresentam condições ineficientes e não estão aptas para a descarga destes efluentes, dificultando a sua reutilização a jusante.

Geralmente estão associadas duas ou mais lagoas em série ou em paralelo, aumentando o grau de eficiência do sistema, que toma a designação de “sistema de lagunagem” (Figura 5.4). Tendo em conta que “as lagoas são reactores biológicos sem recirculação”, (De Assis, 1999), são classificadas em:

- Lagoas anaeróbias** – Lagoas profundas (profundidade entre 3 a 6 metros) isentas de oxigénio dissolvido e nas quais a descomposição da matéria orgânica poluente se efectua totalmente sem interferência do ar. São adequadas para águas residuais que foram submetidas somente a tratamento preliminar. Quanto às capacidades das cargas orgânicas admitidas, estas são elevadas e geralmente removem 50 – 85% de CBO₅ (Amaral, 2013).
- Lagoas facultativas** – Lagoas com profundidade entre 1 a 2 metros, em cujas camadas inferiores se efectua uma degradação anaeróbia, enquanto nas camadas superiores a degradação da matéria orgânica se processa por via aeróbia, devido ao oxigénio produzido pela acção fotossintética de microalgas que se desenvolvem espontaneamente na massa líquida. A capacidade de remoção máxima é de 50% a 85% de CBO₅ (Amaral, 2013).
- Lagoas de maturação** – lagoas com profundidade entre 1 a 2 metros, nas quais a zona aeróbia abrange praticamente toda a profundidade, e que se destinam à afinação do efluente previamente depurado na lagoa facultativa precedente, fundamentalmente pela remoção de

microrganismos patogénicos. Funcionam como tratamento terciário, pela acção da radiação solar (luz ultravioleta), (Amaral, 2013)

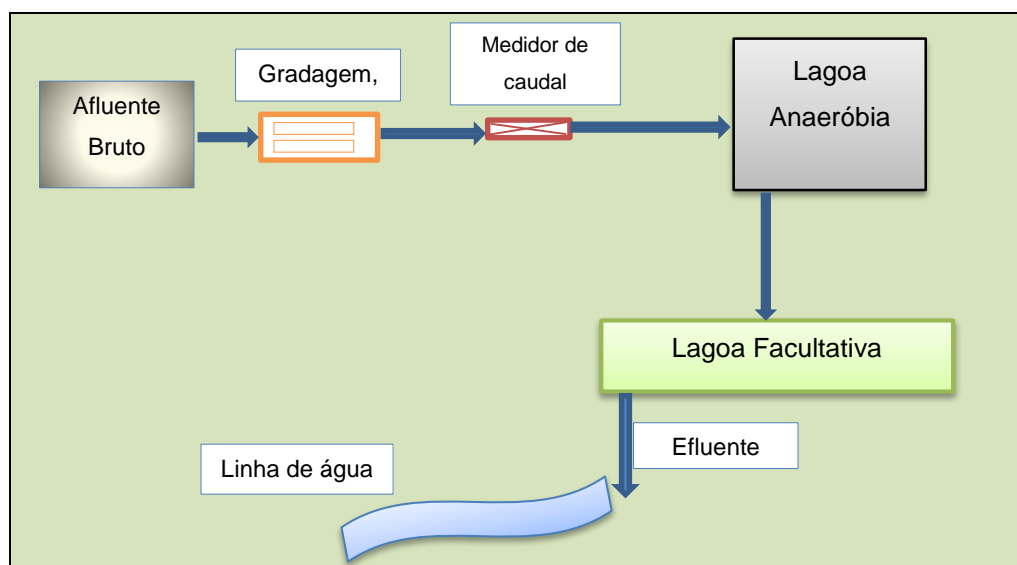


Figura 5. 4 Diagrama linear de lagoas de estabilização

A descarga nos meios receptores naturais deve ser regulada de acordo com os valores limites das diferentes potenciais reutilizações, como para a agricultura, aquacultura, entre outros, pois podem ocasionar diversos problemas para a saúde pública, caso não os cumpram (OMS, 2008).

Por outro lado deve ser regulada a descarga de águas industriais nas lagoas de estabilização, pois podem provocar:

- Redução da eficiência do processo de tratamento provocado pela existência de substâncias tóxicas ou por alterações significativas das condições ambientais;
- Existência de odores desagradáveis originados por grandes variações nas cargas hidráulicas e orgânica dos afluentes à lagoa;
- Maior número de operações de remoção de lamas provocado pelo excesso ou grau de dificuldade de biodegradação dos sólidos sedimentáveis existentes na massa líquida a tratar.

Nos processos de tratamento biológicos, ainda se destacam as lagoas arejadas aeróbias, pois mediante uma agitação suficiente o conteúdo mantém-se homogéneo. No entanto, as lagoas arejadas facultativas caracterizam-se por ter uma agitação mas não suficiente para manter todo o conteúdo homogéneo permitindo a deposição de lamas no fundo (De Assis, 1999).

A definição do tipo de lagoa a considerar depende de parâmetros correspondentes à qualidade das águas residuais a tratar, bem como os parâmetros meteorológicos locais e dos dados geológicos e de permeabilidade dos solos.

Face a um determinado efluente bruto expectável e a uma população a ser considerada para a implantação de um sistema de tratamento, pode-se estimar o caudal e concentrações médias de

matéria orgânica e sólidos a ser tratados pela ETAR e, face a essas características, pode-se adoptar os sistemas de tratamento adequados no pós-tratamento e pré-tratamento (De Assis, 1999).

Perseguindo o objectivo da proposta de fluxo cíclico, fechando o ciclo com a reutilização das águas residuais tratadas e recuperação de nutrientes, considera-se que promovendo a reutilização destas águas para rega de cultivos é necessário interagir com a entidade institucional de *Servicio Nacional de Riego (SENARI)*, uma entidade pública autónoma sob supervisão do Ministério do Ambiente e da Água, e que tem como responsabilidades regulamentar, planear e promover o investimento e governança para o desenvolvimento da irrigação e da produção agrícola e/ou florestal, que regula o limites máximos dos efluentes aptos para reutilização.

Além das águas urbanas também se deve contemplar o tratamento das águas industriais, que contaminam a água residual e geralmente estão ligados aos tratamentos de lagunagem, de forma a não sobrecarregar a ETAR com altas cargas orgânicas e inorgânicas. Actualmente, esta situação é preocupante nas zonas de exploração mineira (Oruro e Potosí), pois o efluente está contaminado por metais pesados (arsénio, crómio, mercúrio e outros), de acordo com informações dos Centros de Saúde e autoridades ambientais.

Algumas zonas mineiras (Oruro, Potosí, La Paz) têm lagoas para descarga dessas águas ácidas e seu processamento. Porém, essas lagoas não contemplam a eliminação de contaminação por infiltração das águas subterrâneas. Este fato é preocupante pelo impacto ambiental que ocasiona. Na actualidade tem prioridade o fornecimento de água potável, ficando em segundo plano o tratamento destas águas ácidas. Nestas zonas mineiras, verifica-se que a maioria não possui ETAR para tratamento das águas residuais domésticas (GTZ, 2008).

Na actualidade, nas áreas metropolitanas onde a densidade populacional é maior as ETAR além de se encontrarem sobrecarregadas, segundo dados de ANESAPA, PROAPAC e GTZ, considera-se que é preocupante a migração e ocupação das áreas não urbanizadas, sem acesso à água potável e saneamento básico. Os lançamentos indevidos das águas residuais brutas directamente nos meios receptores contaminam os recursos hídricos ou, em contrapartida, quando conectados ao saneamento básico, sobrecarregam o sistema de tratamento, porque este não foi dimensionado para o crescimento demográfico actual da população. Como consequência não é garantido o cumprimento dos valores limites dos efluentes tratados de acordo com a normativa reguladora (*Ley del Medio Ambientales 1333*) (Tabela 5.1).

As estações de tratamento de águas residuais na Bolívia têm tido a colaboração da Alemanha mediante dados de investigação do Dr. Wolfgang Wagner, abordando conceitos necessários para implantar novas tecnologias adequadas nos projectos a ser reabilitados ou nas novas construções.

Tabela 5. 1 Valores limites de lançamento dos efluentes tratados de ETAR na Bolívia

Fonte: Ley del Medio Ambiente 1333 (2012)

Valores limites dos efluentes tratados (ETAR)		
Parâmetros	Valores limite de Projectos	Unidades
CBO ₅	80	mg/l
CQO	250	mg/l
Coliformes Fecais	1000	CF/100ml

A regulamentação em matéria de contaminação hídrica tem como objectivo prevenir e controlar a contaminação dos meios receptores, de forma sustentável e eficiente.

As estações de tratamentos mais comuns na Bolívia, de acordo as características que apresentam, estão influenciadas pelas condicionantes económicas (baixo custo), destacando-se as lagoas de estabilização, tanque Imhoff, filtros percoladores, leitos percoladores, lagoas arejadas e reactores anaeróbios de leitos fluidizados), sendo dimensionadas por forma a garantir tempos de retenção da massa líquida de acordo o sistema de tratamento a ser adoptado. No entanto, não contemplam a sua ampliação (Medina, 2005).

A utilização de tanques Imhoff e filtros percoladores são comuns em países em desenvolvimento, devido ao facto de não requererem mão-de-obra especializada para operação e manutenção. Em países como Portugal e Reino Unido, a utilização de tanques Imhoff como tratamento primário é geralmente seguida de tratamento biológico através de leitos percoladores de baixa ou média carga, com eficiências de remoção da CBO₅ entre 70 a 85%. Estes resultados correspondem a efluentes de ETAR com valores da CBO₅ entre 40 a 100 mg/l, ficando dentro dos limites e parâmetros admitidos, sempre que se cumpra a regulamentação (*Ley del Medio Ambiente 1333, 2012*).

Actualmente, as maiores ETAR da Bolívia (Figura 5.2), na sua maioria correspondem a sistemas de lagunagem. Porém, estas encontram-se sobrecarregadas, devido ao aumento demográfico da população e falta de investimento económico-financeiro que compromete a manutenção adequada e uma possível ampliação (GTZ, 2008).

Tabela 5. 2 Diagnóstico das maiores e principais ETAR da Bolívia

Fontes: GTZ, Dr. Wagner, (2008)

Cidades	Sistema de tratamentos	Projectado (habitantes)	Conectados (habitantes)	Ano de funcionamento	Estado actual
El Alto	Lagoas de estabilização e Filtros Percoladores	600,000	571	1998	Lotado
Oruro	Lagoas de estabilização	275,000	150	2004	
Sucre	Tanque Imhoff e Filtros Percoladores	160,000	160,000	2003	
Santa Cruz Planta Norte	Lagoas de estabilização, Lagoas Arejadas	100,000	100,000	1998	
Santa Cruz Planta Este	Lagoas de estabilização	240,000	200,000	2001	
Santa Cruz Planta Sur	Lagoas de estabilização	180,000	180,000	1989	
Santa Cruz Parque Industrial	Lagoas de estabilização	63,500	185,000	1985	Lotado
Montero	Lagoas de estabilização	33,000	30,000	1995	
Cochabamba	Lagoas de estabilização, RALF	150,000	320,000	1990	Lotado
Tarija	Lagoas de estabilização	150,000	300,000	1990	Lotado
Trinidad	Lagoas de estabilização	100,000	136,000	1990	Lotado
Camiri	Lagoas, RALF	19,000	15,000	2009	
Villamontes	Lagoas, RALF	35,000	15,000	2009	
Monteagudo	Lagoas, RALF	16,000	6,000	2009	

Na prática, a gestão da água permitirá escolher entre as várias soluções que se possam apresentar e garantir às populações maiores benefícios globais nos aspectos económico, social e cultural (Mena, 1994).

5.4 Leitos de macrófitas

A necessidade de encontrar soluções adequadas e sustentáveis para o tratamento das águas residuais de um grande número de pequenos aglomerados rurais na Bolívia, cujas estações de tratamento terão de ser projectadas de acordo com os factores de implantação: área disponível, clima, tipo de solo e parâmetros da água tratada, Torna-se pertinente a avaliação do desempenho de alguns dos sistemas de leitos de macrófitas existentes (países desenvolvidos), de modo a tentar validar esta solução como alternativa credível aos métodos convencionais de

tratamento, através do aprofundamento do conhecimento do seu actual funcionamento e da identificação dos seus principais problemas operacionais (Ron, 2000).

O termo *macrófitas* (macro plantas) é utilizado em saneamento para as plantas usadas no tratamento de águas residuais, entre as quais os caniços, juncos, tábuas (espadanas), jacintos-de-água e lentilhas de água. Esta designação, não é a correta do ponto de vista científico, para descrever estas plantas (que são aquáticas ou anfíbias) ou para as zonas húmidas por elas formadas (Dias e Soutinho, 1999).

Em contrapartida também são denominadas *micrófita* (micro plantas), as algas microscópicas, bactérias, micro-fungos e alguns protistas que existem em lagunagem (Dias e Soutinho, 1999).

Para este tipo de unidades onde se tratam águas residuais recorrendo a plantas características de zonas húmidas existem outras designações, tais como “*lagoas de macrófitas*”, “*fito-ETAR's*”, “*fitolagunagem*”, “*ecossistemas húmidos artificiais*” e “*zonas húmidas construídas*”. A nomenclatura utilizada nos Estados Unidos da América, Canadá (anglófono), Austrália e África do Sul para leitos de macrófitas são “*constructed wetlands*” (CW's) ou “*treatment wetlands*”, enquanto na Grã-Bretanha o termo utilizado é “*reed bed treatment systems*” (RBTS's) (Dias e Soutinho, 1999).

As zonas húmidas naturais, ou seja, leitos de plantas aquáticas ou anfíbias que ocorrem de forma natural na natureza, já são utilizados como local de descarga de águas residuais desde o aparecimento das redes de drenagem. O início do estudo das zonas húmidas como tecnologia de tratamento de águas residuais surgiu na Alemanha por volta dos anos 60, mais precisamente no trabalho de Kathe Seidel e respectivos colegas, entre os quais Reinhold Kickuth, no Instituto Max Planck (Dias e Soutinho, 1999).

Os leitos de macrófitas têm vindo a aumentar a sua importância a nível internacional como um sistema alternativo e sustentável, desde que os seus fundadores o desenvolveram até hoje.

A IAWQ (*International Association on Water Quality*) foi das primeiras entidades a mostrar interesse sobre este tipo de sistemas de depuração de água residual, através do patrocínio e organização de conferências internacionais e respectivas publicações das comunicações nelas apresentadas.

5.4.1 Composição dos sistemas de macrófitas

De um modo geral, os sistemas de tratamento de águas residuais utilizando leitos de macrófitas (Figura 5.7) são compostos por órgãos para tratamento preliminar, tratamento primário e tratamento secundário.

O órgão de tratamento preliminar é geralmente composto por uma grelha para remover os sólidos suspensos de maior dimensão.

O tratamento primário é assegurado por um órgão de decantação e de flotação (fossa séptica ou tanque *Imhoff*), com eficiências de 30 a 50% na remoção de sólidos em suspensão (SS) e de 20% da remoção de matéria orgânica, incluindo óleos e gorduras. Este órgão, além de reduzir, por processos de separação simples, a concentração de alguns poluentes e contaminantes, visa evitar a colmatção sub-superficial do leito, aumentando, assim, o seu período de funcionamento.

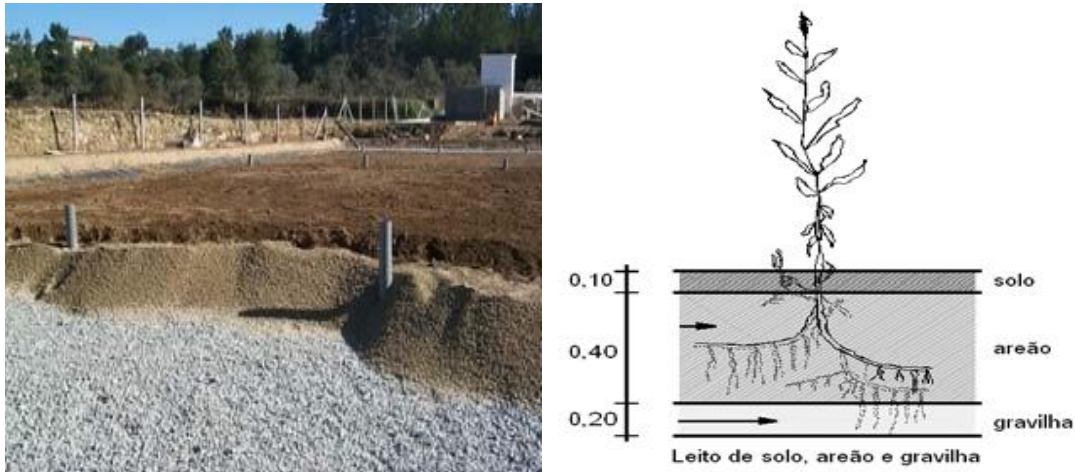


Figura 5. 5 Sistema de Construção de Leitos de Macrófitas

Fonte: Relvão, (1999)

No tratamento de águas residuais domésticas, têm sido utilizadas várias espécies de macrófitas (Figura 5.6), mas as mais frequentes são as *Typhas*, *Phragmites*, *Juncus*, *Scirpus* e *Íris* (Reed et al, 1995). Os leitos de macrófitas podem ter várias formas ou configurações, consoante a necessidade de adaptação à morfologia do terreno, embora normalmente tenham forma retangular.

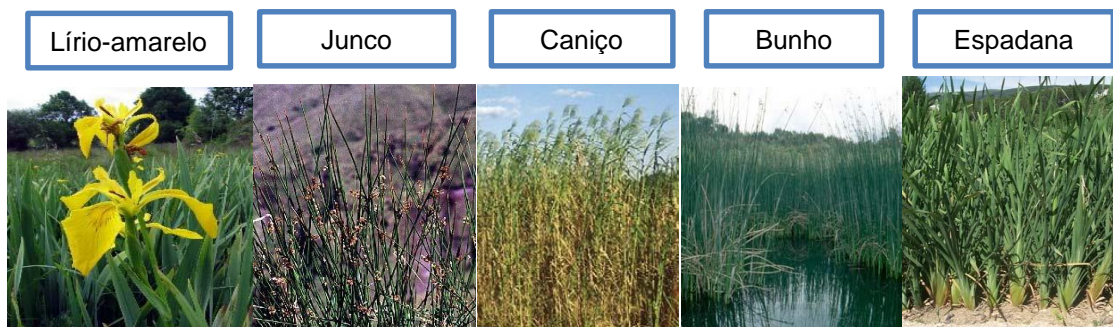


Figura 5. 6 Espécies de macrófitas utilizadas no tratamento de águas residuais domésticas

Fonte: Relvão, (1999)

O enchimento deve ser constituído por material de várias camadas com granulometria e altura diferentes, de modo a minimizar o risco de colmatção.

Normalmente, o leito é impermeabilizado no fundo e nos taludes com uma tela de polietileno, para impedir a contaminação das águas subterrâneas e para permitir que as macrófitas sejam continuamente alimentadas com matéria orgânica (Vymazal, 2003).

5.4.2 Classificação dos leitos de macrófitas

A classificação dos leitos de macrófitas é a que se pode observar na Figura 5.7, baseada no tipo de plantas utilizadas: flutuantes, submersas e emergentes. No caso das plantas emergentes, o leito pode ser classificado em função do tipo de escoamento: fluxo superficial e fluxo sub-superficial. Os leitos de fluxo sub-superficial podem ainda ser classificados de acordo com a direção do escoamento: fluxo horizontal, fluxo vertical, ou híbridos, por combinação de ambos (Vymazal, 2003).

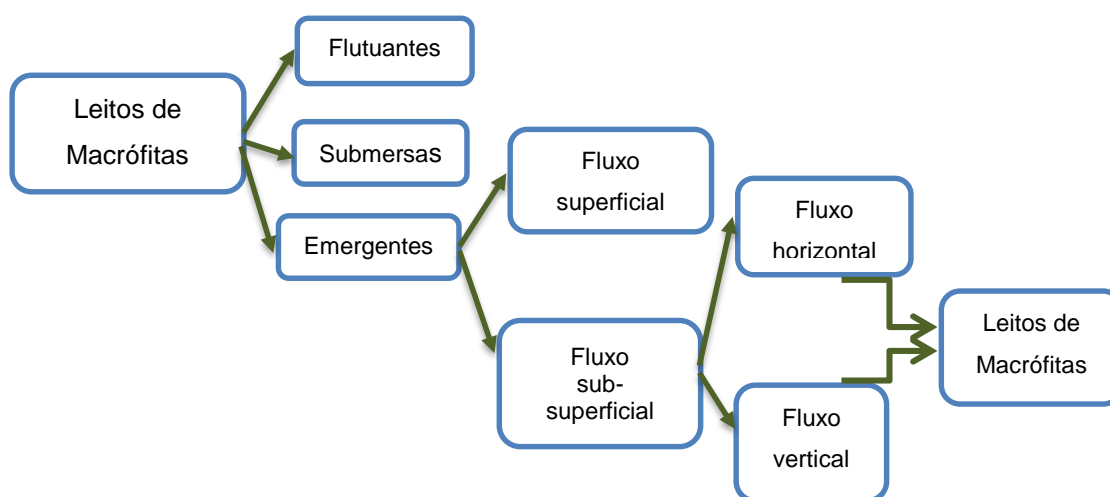


Figura 5. 7 Classificação dos leitos macrófitas

Fonte: Adaptado de Vymazal, (2003)

Estas plantas estão adaptadas a habitat com elevada carga orgânica e, através da fotossíntese, enviam oxigénio às raízes favorecendo a degradação da matéria orgânica, por intermédio dos microrganismos que vivem associados ao seu sistema radicular (Vymazal, 2003).

Os leitos de macrófitas são uma tecnologia que, do ponto de vista económico e técnico, se revelam exequíveis e vantajosos no tratamento de água residual e escorrências pelas seguintes razões:

- Menores custos a nível de construção do que outras opções de tratamento;
- Despesas de operação e manutenção são baixas;
- Operação e manutenção necessitam de intervenções locais apenas periodicamente;
- Capacidade de tolerar flutuações de caudal;
- Aptidão de tratamento de efluentes com carga orgânica baixa;
- Facilidade em reutilização e reciclagem de água.

Numa perspectiva ambiental, os leitos de macrófitas podem também ser uma escolha muito apelativa, pois a sua construção pode ser efectuada de maneira a que os leitos se adaptem ao meio circundante e podem constituir habitat para vários seres animais e diferentes ecossistemas.

5.4.3 Principais problemas operacionais observados

Os inquéritos realizados às entidades gestoras dos sistemas estudados permitiram fazer um levantamento dos principais problemas associados ao funcionamento dos sistemas com leitos de macrófitas, nomeadamente (Vymazal, 2003):

- Manutenção deficiente dos sistemas;
- Ausência de limpeza das grelhas, de lavagem das tubagens de distribuição e recolha e de uma intervenção atempada e adequada na resolução de problemas;
- Colmatação dos leitos, que se traduz na sua inundação superficial resultando em perda de eficiência do tratamento, uma vez que os poros do leito deixam de estar livres para permitir a percolação do efluente a tratar;
- Ausência de um plano de monitorização adequado ao controlo de qualidade do efluente tratado e das várias etapas do processo de tratamento, capaz de prevenir problemas de colmatação devido à introdução no leito de cargas de sólidos demasiado elevadas;
- Deficiências no desenvolvimento das macrófitas plantadas, apresentando uma taxa de crescimento superior no início do leito, o que favorece a ocupação predominantemente do resto do leito por espécies invasoras;
- Ligação clandestina de águas residuais industriais, alterando as características das águas residuais domésticas.

Deverão ser tidos em conta factores directamente associados à alta percentagem de sistemas sem um plano de monitorização e controlo da qualidade dos processos de tratamento, efectuando análises ao efluente tratado e evitando negligências das questões associadas ao comportamento hidráulico dos leitos de macrófitas, nomeadamente ao nível da verificação das condições de projecto relativas às perdas de carga e aos tempos de retenção necessários para desejada degradação da matéria orgânica (Vymazal, 2003).

Serão necessários incentivos à realização de estudos aprofundados sobre a relação existente entre a eficiência dos sistemas, o clima, os métodos de dimensionamento e as espécies de plantas utilizadas, com o intuito de incrementar a eficiência de remoção de nutrientes.

A tecnologia dos leitos de macrófitas actualmente, pode ser utilizada para a construção de piscinas biológicas, no tratamento de águas pluviais com metais pesados e de lamas de ETAR, áreas de investigação com grande potencial de desenvolvimento (Vymazal, 2003).

5.5 Sistemas compactos pré-fabricados

De forma a propor soluções sustentáveis e descentralizadas, actualmente nos países desenvolvidos, existem tratamentos alternativos compactos de utilização individual, adequados para pequenos aglomerados ou como opção para as indústrias, correspondendo a soluções que se podem denominar de Micro-ETAR.

Trata-se de soluções que podem ser implantadas em condomínios, empreendimentos turísticos de pequena dimensão, escolas, complexos desportivos e em unidades industriais de pequena dimensão. Actualmente já existem no mercado diversos modelos adaptados e com diferentes características de escolha de acordo as necessidades de tratamento requeridas.

São equipamentos compactos, que têm sido aceites pela eficiência comprovada que apresentam e pelas suas características, que em seguida se descrevem a título exemplificativo:

- Integram um reactor de lamas activadas em regime de baixa carga (sistema de leito misto fluidizado) e um decantador secundário lamelar (EDODEPUR, 2013);
- Na activação biológica permitem dispensar a tradicional recirculação de lamas do decantador secundário para o reactor biológico, reduzindo o consumo de energia associado a sistemas semelhantes (EDODEPUR, 2013);
- Estes sistemas deverão ser dimensionados para garantir o cumprimento dos Valores Limite de Emissão, estabelecidos na normativa reguladora (NB 512 e *Ley del Medio Ambiente 1333*).
- Na sua implantação deve-se garantir um sistema de drenagem por sistemas separativos, evitando águas pluviais.

Tem sido aceite este sistema alternativo em países desenvolvidos (União Europeia), pois estão regulados pela Comissão Europeia e correspondentes regulamentos, atingindo os parâmetros de qualidade exigidos.

Como proposta alternativa para a inovação e revisão da NB 688, este sistema de tratamento deverá ser analisado de forma a ser possível uma aprovação e regulação do mesmo, para atingir objectivos de saneamento básico e tratamento apropriado.

5.6 Aspectos técnicos a considerar no projecto de ETAR para a inovação da NB 688

5.6.1 Enquadramento

Existe um conjunto de aspectos técnicos que deverão ser tidos em conta e apresentados de forma explícita e concisa, durante o procedimento inerente à fase de estudo prévio ou de anteprojecto (De Assis, 1999).

Deverão ser apresentadas alternativas, para uma análise e comparação face ao impacto ambiental que poderão causar, para assim adoptar a solução mais eficiente, sustentável e mais vantajosa para a sociedade.

O tratamento de efluentes constitui um aspecto técnico central de um projecto de ETAR e descreve-se seguidamente a sequência de processos mais frequente quer em projectos de grandes ou de pequenas dimensões.

Nessa sequência serão abordados os processos desde a recolha de águas residuais à respectiva descarga no meio receptor (De Assis, 1999).

5.6.2 Caracterização da água residual afluyente

As ETAR recebem águas residuais de diferentes composições, o que implica a adopção de diferentes tipos de operações e processos de tratamentos adequados em função do tipo de águas residuais a tratar (De Assis, 1999):

- **Águas residuais domésticas**, provenientes dos serviços e de instalações residenciais, essencialmente provenientes de actividades humanas, também chamadas de águas cinzentas (lava louças, chuveiros, lava roupas) e águas negras (sanitários);
- **Águas residuais industriais**, são as águas provenientes de qualquer tipo de actividade que não possa ser classificada como águas residuais domésticas nem sejam águas pluviais;
- **Águas residuais urbanas** são águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais, ou com águas pluviais;

Actualmente é mais comum o tratamento integrado de águas residuais domésticas e industriais, o que implica uma adaptação do sistema de tratamento às características dos efluentes a tratar, já que existe uma diferença entre as águas residuais industriais e domésticas pela composição das cargas poluentes (químicos tóxicos ou contaminantes biológicos) que possam apresentar.

Deverá ser realizada uma avaliação e controlo das ligações de colectores industriais aos colectores municipais, já que, actualmente, estas ligações carecem de uma autorização, respeitando as características do efluente industrial, consoante o regulamento para as descargas admitidas, o que estabelece os valores-limite (máximos permissíveis), sem comprometer o tratamento na ETAR, controlo esse realizado pelas instituições bolivianas e *Ley del Medio ambiente 1333*.

A caracterização das águas residuais a tratar é importante para o adequado dimensionamento e eficiência pretendida na ETAR, respeitando os dois parâmetros de projecto mais importantes:

- ✓ O caudal afluyente;
- ✓ A carga poluente afluyente.

A capacidade de tratamento das ETAR é expressa em função do número de habitantes-equivalentes (hab-eq.), ou seja:

- Um habitante-equivalente corresponde à carga orgânica biodegradável produzida em média por um habitante, expresso em gramas de CBO₅ por dia. Assim, a capitação de CBO₅ em águas residuais domésticas possui o valor médio de 54 g/hab.dia (este valor poderá ser diferente nas situações de determinação directa, NB 688);
- A população equivalente corresponde ao número de habitantes que produzem uma carga orgânica semelhante, sendo um parâmetro usualmente utilizado para estabelecer a equivalência entre a carga poluente de um efluente industrial e a respectiva carga poluente produzida pela população de um aglomerado populacional. Assim, em geral, a população equivalente não é igual à população do aglomerado populacional (De Assis, 1999).

Porém, além da matéria orgânica biodegradável, as águas residuais transportam sólidos, areias, gorduras, nutrientes como fósforo e azoto, e uma série de outros possíveis contaminantes, que deverão ser removidos antes da sua descarga no meio receptor.

5.6.3 Sequência de concepção e dimensionamento de uma ETAR

a) **Caracterização do efluente tratado (Amaral, 2013)**

Caracterização qualitativa - Refere-se à qualidade física, química e biológica, baseada nas cargas, concentrações e suas variações:

- Variação de comunidade para comunidade;
- Variações em função da expressão das diferentes componentes do efluente (domésticos, industriais, e outros).

Caracterização quantitativa – Referente às variações de comunidade para comunidade, que deverão ser analisadas para um eficiente funcionamento:

- Clima, pois as condições climáticas são um factor importante;
- Dimensão do aglomerado populacional;
- Tipo de habitações (apartamentos ou habitações individuais);
- Nível económico e social das populações;
- Preço da água, discriminado segundo escalões baseados na capacidade de pagamento;
- Qualidade e permanência do abastecimento de água da rede pública;
- Variações diárias;

- Variações sazonais (zonas de praias pluviais, cidades com actividade estudantil ou industrial sazonal).

a) **Caracterização do efluente tratado**

Na prossecução do objectivo desta dissertação é necessário adaptar várias medidas com a finalidade de promover a reutilização das águas residuais tratadas (fluxo cíclico), para o que deverá ser analisada a Norma 688.

Assim, antes da implementação de um projecto que vise a reutilização da água residual tratada, deverá ser feito um estudo que aborde as questões das tecnologias a serem adoptadas, a viabilidade económica, os impactos ambientais e sociais, ou seja a sustentabilidade do projecto (Pesci, 1995).

No entanto, existem normas que regulamentam os limites permissíveis de contaminação hídrica como a *Ley del Medio ambiente 1333*, que especifica as concentrações máximas de descarga de águas residuais nos meios receptores, pretendendo-se no futuro potenciar a monitorização e avaliação da qualidade hídrica, a reutilização das águas residuais segundo a qualidade apresentada, e estabelecer medidas de prevenção e controlo da contaminação e de conservação dos recursos hídricos (GTZ, 2008).

Sendo assim, é importante caracterizar o efluente tratado, segundo o destino final das águas residuais após tratamento, permitindo atingir o objectivo da sua reutilização, de forma a fechar o ciclo hidrológico e de nutrientes.

b) **Eficiência de tratamento pretendida**

As eficiências de tratamento são definidas de acordo com as características do afluente bruto à ETAR, e os objectivos de descarga do efluente tratado, de acordo com as características e usos do meio receptor (De Assi, 1999).

c) **Definição dos esquemas de tratamento**

Deve-se definir o grau de tratamento mínimo necessário de acordo com os parâmetros pretendidos e a potencial reutilização do efluente tratado.

Na sequência da definição do tratamento adequado, segundo (GTZ, 2013), deve-se adoptar e contemplar as seguintes fases de caracterização:

- Características do efluente bruto;
- Qualidade exigida ao efluente tratado;

- Custo e disponibilidade de tecnologias e de pessoal especializado dependendo do sistema de tratamento a implantar;
- Simplicidade de operação e manutenção;
- Evolução previsível das normas de rejeição.

5.6.4 Dimensionamento dos equipamentos complementares

Sistema de recolha e drenagem de águas residuais

O sistema de recolha e drenagem de águas residuais deverá ser definido como uma rede fixa de colectores que, com os demais componentes de transporte e de elevação, fazem afluir as águas residuais a uma ETAR, englobando os seguintes órgãos (De Assis, 1999):

- a) **Coletores** - São tubagens em que o escoamento se processa normalmente com superfície livre, e são utilizados nos sistemas de recolha de águas residuais e pluviais. Podem ser de diversos materiais (betão, fibrocimento, PVC, ferro fundido, etc.);
- b) **Estações elevatórias** - São consideradas quando o escoamento das águas residuais nos colectores não é possível de efectuar exclusivamente por acção da gravidade, sendo necessário instalar estações elevatórias para transportar o caudal de água residual até à ETAR, ou até uma cota topográfica superior a partir da qual o escoamento se possa efectuar novamente de forma gravítica.

As estações elevatórias, sempre que as características das águas residuais afluentes e a protecção do sistema a jusante o justifiquem, devem possuir dispositivos de tratamento preliminar como: gradagem e trituradores.

Estes órgãos geralmente estão associados a um tanque de equalização, de forma a nunca trabalharem “em seco”, e a um descarregador a montante (*bypass*), ligado a um colector de recurso, para contemplar a eventual ocorrência de avarias, a necessidade de colocação fora de serviço ou a afluência excessiva de águas residuais

- c) **Caixas de visita** - São órgãos dos sistemas de drenagem, que permitem o acesso para manutenção e inspecção;
- d) **Sumidouros e sarjetas** - São dispositivos de entrada lateral ou superior das águas de escorrência superficial, normalmente instaladas na via pública.

Os sistemas de drenagem podem ser unitários ou separativos. No caso de se tratar de um sistema unitário, o mesmo colector serve a drenagem das águas residuais em conjunto com as águas pluviais. No caso de se tratar de um sistema de drenagem separativo, existem duas redes independentes de colectores, em que uma esco exclusivamente as águas residuais e a outra as águas pluviais. Este sistema é mais eficiente, pois evita a mistura de águas residuais e águas pluviais, que não necessitam do mesmo tipo de tratamento e apresentam um caudal elevado,

facilitando assim o funcionamento da ETAR, evitando o sobredimensionamento da mesma (CEPIS, 2003).

5.6.5 Sistema de tratamento de águas residuais

O tratamento de águas residuais apresenta duas fases:

- Fase líquida, cujo objectivo é o tratamento das águas residuais, de forma a cumprir as condições exigidas na licença de descarga (*Ley del Medio Ambiente 1333*), para posterior rejeição no meio receptor;
- Fase sólida, que corresponde ao tratamento adequado dos sólidos removidos da água residual na fase líquida.

5.6.5.1 Fase líquida

Geralmente existem quatro fases de tratamento de águas residuais numa ETAR (*Metcalf & Eddy, 1998*), designadas por tratamento preliminar, primário, secundário e terciário ou de afinação.

A escolha de um sistema de tratamento é determinada por vários factores, como as características quantitativas e qualitativas da água residual, a localização do sistema e os valores-limite de emissão dos efluentes da ETAR, que deverão ter em atenção a qualidade da água a respeitar no meio receptor onde será descarregada a água residual tratada (Amaral, 2013).

De forma a assegurar os objectivos de descarga necessários, existem várias tecnologias e processos disponíveis. No entanto, deverá ser adoptado um saneamento sustentável e eficiente, considerando também os sistemas não centralizados e não convencionais, sendo que é ao nível do tratamento secundário que existe uma maior variedade de tecnologias que influenciam a configuração da ETAR (GTZ, 2013).

Tratamento preliminar - O tratamento preliminar consiste num conjunto de operações físicas, de forma a remover da água residual as matérias: grosseiras, areias e gorduras. O objectivo desta etapa é proteger os órgãos e processos de tratamento seguintes, bem como evitar obstruções dos circuitos hidráulicos e contaminações das águas e lamas, permitindo uma maior eficiência. Os órgãos possíveis de aplicação nesta fase são (Amaral, 2013):

- a) Gradagem** - Sistema de grelhas, instalado num ou mais canais por onde circula a água residual, que retém os sólidos de maiores dimensões (ex. papéis, paus, folhas, latas, plásticos, entre outros). Estes sólidos grosseiros deverão ser temporariamente armazenados e encaminhados para um destino final adequado.
- b) Tamisação** - Tem o mesmo efeito que o sistema de gradagem, mas apresenta uma maior eficiência de remoção pois possui uma malha mais fina, retendo os sólidos de menores dimensões. Na realidade este processo é utilizado de forma complementar à gradagem (operação realizada por equipamentos electromecânicos).

- c) **Desarenação** - O objetivo desta operação é retirar as areias (material que provoca desgaste acelerado nos equipamentos, por abrasão) do efluente, e consiste num tanque onde o efluente passa com uma velocidade reduzida, permitindo que as areias assentem por gravidade, sendo removidas e encaminhadas para um classificador de areias. Esta operação de desarenação pode ser realizada de forma conjunta com a remoção de óleos e gorduras (desarenadores/desengorduradores).
- d) **Remoção de óleos e gorduras** - Tem como objectivo remover as gorduras e óleos existentes no efluente e pode recorrer à injeção de um fluxo de ar ascendente no seio do efluente, levando à acumulação de gorduras na superfície. Após a sua remoção, são geralmente encaminhados para um concentrador de gorduras e, posteriormente, encaminhados para destino final adequado.

Tratamento primário - O tratamento primário pode ser constituído por processos físicos e químicos e tem como objectivo remover os sólidos facilmente sedimentáveis. Nesta fase, pretende-se que a CBO₅ das águas residuais seja reduzida, no mínimo, em 20%, e que o total das partículas sólidas em suspensão (SST) das águas recebidas seja reduzido, no mínimo, em 50%. O tratamento primário é efectuado genericamente através de sedimentação/decantação, ou flotação (Metcalf & Eddy, 1998):

- a) **Decantação** - Tem como objectivo principal retirar os sólidos em suspensão decantáveis (pela acção da gravidade). Esta operação é realizada num decantador, onde a água permanece o tempo suficiente para permitir que as partículas suspensas sedimentem no fundo, sendo também removidas as escumas que se acumulam à superfície dos decantadores.

Existem sistemas de decantação lamelar e de decantação assistida através da coagulação e floculação, com a adição de regentes químicos, de forma a aumentar a sua eficiência, permitindo a redução da área de ocupação dos decantadores. Este tipo de órgãos pode ser de planta circular, quadrada ou rectangular, e enterrados ou semi-enterrados. A água residual clarificada passa para o tratamento secundário, enquanto as lamas primárias são recolhidas para um posterior tratamento na fase sólida e as escumas são encaminhadas para o concentrador de gorduras do tratamento preliminar.

- b) **Flotação** - Tem como objectivo remover sólidos de dimensões tão reduzidas que não é viável a sua separação por acção da gravidade. Consiste na injeção de um fluxo de ar ascendente de ar no interior do tanque, sendo arrastados os sólidos, juntamente com as bolhas de ar para a superfície, onde são recolhidos e encaminhados para tratamento na fase sólida.

Tratamento secundário - O tratamento secundário é constituído, geralmente, por processos biológicos e visa retirar a matéria orgânica biodegradável existente no efluente, na forma coloidal, dissolvida ou suspensa, que não foi retirada através do tratamento primário (Metcalf & Eddy, 1998):

O tratamento secundário também pode ser dimensionado para a remoção de nutrientes, como o fósforo e o azoto. A água residual é colocada em contacto com um meio “rico” em microrganismos que vão metabolizar essa matéria orgânica, retirando-a da fase líquida e incorporando-a na sua biomassa.

Os processos biológicos podem ser aeróbios (na presença de oxigénio dissolvido), anaeróbios (sem oxigénio dissolvido), anóxicos (sem oxigénio) e processos mistos.

Esta fase de tratamento apresenta maior variedade de sistemas, podendo ser de biomassa fixa, suspensa, híbridos e sistemas combinados.

Nos sistemas de tratamento biológico por biomassa suspensa, os microrganismos responsáveis pela metabolização da matéria orgânica encontram-se em suspensão na água residual. Estes sistemas podem ser:

a) Lamas activadas - Este sistema consiste num processo biológico de biomassa suspensa, que tem por objectivo transformar matéria solúvel em matéria decantável.

O efluente proveniente do tratamento primário é encaminhado para um tanque de arejamento (com adição de ar ou oxigénio puro), onde é fornecido o oxigénio necessário para que os microrganismos metabolizem a matéria orgânica. Seguidamente, estes são removidos num decantador secundário, onde ocorre a separação da fase líquida (efluente tratado) e da fase sólida (lamas secundárias) (De Assis, 1999).

Num sistema convencional de lamas activadas, existe uma produção de lama em excesso, que é removida e encaminhada para a fase sólida. Se o sistema funcionar por arejamento prolongado, a quantidade de lama produzida é menor (De Assis, 1999).

É geralmente utilizado, nos casos em que a ETAR serve um número significativo de habitantes-equivalentes, (o sistema de biomassa suspensa por lamas activadas, que pode apresentar várias configurações, como tanques de arejamento convencionais, valas de oxidação, e *Sequencing Batch Reactor (SBR)*).

b) Lagoas - No tratamento por lagunagem (sistema não convencional), a água residual atravessa um conjunto de lagoas onde ocorrem processos idênticos aos que ocorreriam no meio natural.

O efluente é encaminhado graviticamente e em contínuo para lagoas com diferentes profundidades e dimensões, onde ocorrem processos de degradação através de microrganismos e microalgas.

Existem lagoas anaeróbias, que se destinam ao pré-tratamento de efluentes com elevada carga orgânica, lagoas facultativas, para efluentes de carga orgânica intermédia e para a afinação de efluentes de outras lagoas, e lagoas de maturação, onde ocorre a remoção de microrganismos patogénicos e de nutrientes.

Existem também lagoas arejadas, onde é fornecido oxigénio através de arejadores mecânicos, de forma a aumentar a eficiência do tratamento.

- c) Sistemas de biomassa fixa** – Onde os microrganismos crescem num substrato inerte fixo, que pode ser de pedras ou areia, criando um biofilme por onde a água residual circula permitindo aos microrganismos a degradação da matéria orgânica da água residual. Os sistemas mais utilizados são:

Leitos Percoladores - Estes sistemas são compostos por tanques circulares onde é colocado um material de enchimento que serve de meio de suporte à biomassa. O meio de enchimento poder ser constituído por pedras ou material sintético granulado (De Assis, 1999).

O efluente é injectado pela parte superior do leito e, à medida que passa através do enchimento, os microrganismos captam os nutrientes e descompõem a matéria orgânica. O efluente escoado é recolhido na zona inferior do leito, e pode ser recirculado. Para assegurar as necessidades de oxigénio e o crescimento dos microrganismos, é promovida a circulação do ar (De Assis, 1999).

Conforme a espessura da camada de biofilme vai aumentando, as camadas inferiores caracterizam-se pela anaerobiose, possibilitando a desnitrificação do efluente.

O efluente tratado é encaminhado para um decantador secundário, de forma a assegurar a separação dos fragmentos de biofilme, que se descolaram da superfície do meio de enchimento.

Discos biológicos - Consiste num conjunto de discos circulares, dispostos paralelamente e unidos por um eixo horizontal. Esta configuração permite um grande aumento da área de contacto. Devido à rugosidade da superfície dos discos, os microrganismos aderem, constituindo um bio-filme (De Assis, 1999).

Os discos giram em torno do eixo e mergulham parcialmente num canal com o efluente a tratar, o que garante que os microrganismos estão alternadamente em contacto com o ar e com a matéria orgânica. Estas unidades de discos biológicos são cobertas para evitar a incidência de radiação solar, o desenvolvimento de algas e as perdas de calor.

Biofiltros - São tanques com enchimento de pequenas esferas (meio filtrante) mantidas em contacto com o efluente e arejadas com ar, introduzido através de uma rede distribuidora existente na secção inferior. A água residual a tratar circula por gravidade e atravessa o meio filtrante com um movimento descendente (ar e água em contra-corrente) (De Assis, 1999).

Assim, a eliminação de carbono solúvel e a filtração de sólidos em suspensão, bem como a retenção simultânea de fósforo, são possíveis graças à flora bacteriana existente no material filtrante.

- d) Leitões de macrófitas** – São sistemas de tecnologias adequados para um tratamento sustentável de águas residuais domésticas para pequenos aglomerados populacionais, face aos seus baixos custos de implantação, manutenção e operação (Dias e Soutinho, 1999).

O pós-tratamento primário é assegurado por um órgão de decantação e de flotação (fossa séptica ou tanque Imhoff), com eficiência de 30 a 50% na remoção de sólidos em suspensão (SS) e de 20% da remoção de matéria orgânica, incluindo óleos e gorduras. Este órgão, além de reduzir, por processo de separação simples, a concentração de alguns poluentes e contaminantes, visa evitar a colmatação sub-superficial do leito, aumentando assim o seu período de funcionamento (Dias e Soutinho, 1999).

O tratamento secundário é assegurado por um ou mais leitões de macrófitas, constituídos pelo material de enchimento, natural ou artificial, que contém microrganismos (aeróbios e anaeróbios) responsáveis pelo processo de biodegradação da matéria orgânica (Dias e Soutinho, 1999).

- e) Sistemas compactos pré-fabricados** - Na aplicação de um sistema compacto como uma fossa séptica, as águas residuais domésticas serão sujeitas a um tratamento físico e biológico de nível primário e as lamas produzidas serão removidas periodicamente e conduzidas para tratamento e deposição adequados (GTZ, 2013).

O objectivo secundário do tratamento das águas residuais é potenciar a reutilização das mesmas, sejam elas de origem doméstica ou industrial, devendo esses sistemas apresentar capacidade de remoção de microrganismos patogénicos e de redução do valor de parâmetros como a carência química e bioquímica de oxigénio (CQO e CBO₅, respectivamente), sólidos suspensos totais (SST), azoto (N) e fósforo (P), minimizando as agressões no meio receptor, quando o efluente final é descarregado (Ecodepur, 2013).

O sistema de tratamento compacto destina-se mais comumente ao tratamento de águas residuais domésticas, sendo constituído por módulos pré-fabricados em poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV) ou aço carbono (Ecodepur, 2013).

Tratamento terciário - O tratamento terciário ou de afinação completa as etapas anteriores de tratamento, quer pela exigência de qualidade do meio receptor, quer pelos usos previstos para o mesmo. Este tratamento tem como objectivo a remoção de determinados poluentes que se mantêm na água, após as fase anteriores de tratamento, como partículas dificilmente decantáveis, microrganismos patogénicos, nutrientes, como azoto e fósforo, ou outros compostos, como herbicidas ou pesticidas (De Assis, 1999).

A remoção de azoto e fósforo pode ser obtida por via biológica, normalmente associada ao tratamento secundário, ou por via química, que no caso de azoto, se faz por *stripping*, e no caso do fósforo é, normalmente, efectuado por precipitação.

A desinfecção tem como objectivo a destruição/inactivação parcial dos microrganismos patogénicos que poderá realizar-se pela adição de agentes químicos (por exemplo: ozono, cloro, dióxido de cloro e hipoclorito de sódio) e físicos, nomeadamente através de radiação ultravioleta.

Existem, no entanto, outros tipos de tratamento para a remoção de poluentes específicos que podem ser realizados através de operações físicas e/ou químicas, nomeadamente coagulação, floculação e decantação, adsorção sobre carvão activado, troca iónica e osmose inversa.

5.6.5.2 Fase sólida

O tratamento das lamas (primárias e secundárias) geradas em ETAR consiste no espessamento, digestão e desidratação. Esta operação, pela qual se extrai a água das lamas, por meio de filtração e evaporação, nos órgãos denominados leitos de secagem, permite uma maior facilidade na condução das lamas até um destino final, potenciando o seu aproveitamento, nomeadamente em campos agrícolas e solos com fortes índices de erosão (Amaral, 2003).

Espessamento - O espessamento de lamas tem por objectivo reduzir o volume de lamas afluente aos órgãos subsequentes, diminuindo as dimensões desses órgãos e o seu custo de investimento, permitindo ainda a homogeneização das lamas e, assim, a optimização do funcionamento dos processos biológicos na digestão de lamas e a sua desidratação (Amaral, 2013).

Os principais processos existentes de espessamento de lamas são o espessamento gravítico, o espessamento por flotação com ar difuso e o espessamento mecânico, recorrendo a equipamentos electromecânicos, como mesas de espessamento, crivos, tambores rotativos e centrífugas. A água extraída das lamas é encaminhada para o início do tratamento da fase líquida (De Assis, 1999).

Estabilização - Os principais objectivos da estabilização de lamas são evitar, reduzir ou eliminar o potencial de putrefacção, remover microrganismos patogénicos e eliminar odores. Estes fenómenos ocorrem quando os microrganismos têm a oportunidade de sobreviver e de se multiplicar na fracção da matéria orgânica das lamas. A estabilização das lamas pode ser feita de diversas formas, segundo (Metcalf & Eddy, 2003):

- a) **Digestão anaeróbia** - Consiste num processo de mineralização biológica da matéria orgânica, na ausência de oxigénio, sendo uma das principais características a valorização de biogás para a produção de calor, para uso na ETAR, e energia eléctrica, para uso interno e venda à rede de distribuição de electricidade;
- b) **Digestão aeróbia** - Consiste na mineralização biológica da matéria orgânica, a partir de uma fonte externa de oxigénio, da qual resultam lamas estabilizadas e dióxido de carbono (CO₂), que não pode ser valorizado;
- c) **Esterilização química por adição de cal** - A utilização de cal não reduz a matéria orgânica das lamas. A sua acção de estabilização/desinfecção dos microrganismos presentes nas

lamas é evidenciada quer através de simples elevação do pH das mesmas (valores superiores a 12), com a utilização de cal hidratada $[Ca(OH)_2]$, quer através da conjugação deste fenómeno com o aumento de temperatura para valores superiores a $60^{\circ}C$, quando utilizada sob a forma de cal viva (CaO);

- d) **Esterilização térmica** - Este processo consiste em reduzir o teor de humidade das lamas por adição de calor (através da evaporação da água), até um teor desejado que pode chegar aos 90%. Consegue-se desta forma um produto quase sólido, com cerca de 75% a 95% de matéria seca, de textura geralmente granular, adequado a vários destinos finais. Permite ainda estabilizar e higienizar as lamas, facilitando a sua valorização orgânica ou a sua incineração, bem como reduzir os custos associados ao tratamento das lamas;
- e) **Compostagem** - é um processo de degradação biológica aeróbia de resíduos até à sua estabilização, produzindo uma substância húmida (composto), utilizável como corrector de solos.

Desidratação - A desidratação das lamas tem como objectivo retirar o máximo de água presente nas lamas, tendo em atenção a relação custo/benefício. As vantagens em desidratar as lamas relacionam-se com um menor custo de transporte das lamas para o destino final e nas facilidades de manuseamento (Metcalf & Eddy, 2003).

Nas ETAR de grandes dimensões procede-se à desidratação mecânica de lamas, através da instalação de determinados equipamentos electromecânicos, tais como filtros banda, filtros prensa ou centrífugas.

As lamas desidratadas são temporariamente armazenadas em contentores ou silos com o volume adequado, que permitam armazenar as lamas desidratadas até que estas sejam encaminhadas para valorização ou destino final adequado.

5.6.6 Órgãos de emergência/minimização de descargas não tratadas

Como forma de garantir a segurança de instalação e a minimização de descargas de águas residuais não tratadas, as ETAR, devem preconizar a existência de *by pass* total à estação, e *by pass* parciais em cada fase do processo de tratamento da fase líquida. Complementarmente existe, em regra, um tanque de retenção de emergência, que permite armazenar águas residuais, nos períodos de emergência em que o caudal afluente excede a capacidade de tratamento da ETAR, até ser possível proceder ao devido tratamento (De Assis, 1999).

5.6.7 Sistema de desodorização

Uma das características indesejáveis de uma ETAR é a produção de odores e de compostos orgânicos voláteis (COV), resultantes da degradação da matéria orgânica presente nas águas residuais, e que se verifica, essencialmente, nas fases de tratamento preliminar e primário, bem como nas diversas operações da fase sólida. (Metcalf & Eddy, 2003).

De forma a controlar a emissão de compostos odoríferos, o projecto poderá prever a cobertura parcial ou total da ETAR, em que os órgãos de tratamentos se encontram em edifícios fechados, com pressão atmosférica negativa devido à aspiração de ar, que será encaminhado para uma central de desodorização antes da sua rejeição na atmosfera.

As principais tecnologias utilizadas são os Biofiltros, sistemas de adsorção, geralmente equipados com carvão activado, e os sistemas de lavagem química (*scrubbers*).

5.6.8 Edifício de exploração

Neste edifício estão localizados a sala de comando, os quadros eléctricos, a sala da central hidropneumática, a sala de compressores, os gabinetes, a sala de reuniões, o laboratório, as instalações sanitárias, a cozinha, as zonas para armazenamento de reagentes, entre outros.

5.7 Descarga de águas residuais tratadas

Para proceder à descarga das águas residuais tratadas no meio receptor, é necessário construir um emissário, que consiste num coletor que transporta as águas residuais tratadas ao ponto final de descarga sendo nos meios receptores, ou nas suas diferentes reutilizações como sistema de recuperação de recursos (De Assis, 1999).

5.8 Reutilização das águas residuais e parâmetros para a irrigação dos cultivos agrícolas segundo recomendações da OMS e de Normas Internacionais

O objectivo de atingir o fecho do fluxo cíclico garante a devolução da água ao ciclo hidrológico e o aproveitamento dos nutrientes, mediante a reutilização das águas residuais tratadas para a irrigação dos cultivos agrícolas. Na Bolívia é imprescindível, pois estas águas chegam a ser utilizadas sem receberem um pré-tratamento adequado ou sem sequer passarem por uma estação de tratamento (GTZ, 2013).

A inexistência de uma norma técnica ou legislação para disciplinar o uso dos efluentes em irrigação, põe em causa a saúde das pessoas, animais e ecossistemas. Mesmo assim, muitos países ainda não estabeleceram as suas normas para o uso agrícola das águas residuais, enquanto outros não têm capacidade estrutural ou financeira para aplicar os tratamentos de águas residuais apropriados para atender a essas normas (GTZ, 2013).

Além de contribuir para o aumento e preservação dos recursos hídricos e dos ecossistemas, as águas residuais voltam ao ciclo hidrológico mediante a descarga de águas tratadas com qualidade adequada. Adaptar esta prática de maneira sustentável tem uma finalidade com um benefício socioeconómico, para as populações, especialmente nas regiões semi-áridas e áridas de Oruro, La Paz, Potosí e parte do Chaco Boliviano de Tarija, pois existe um *deficit* hídrico acentuado para a maioria das culturas (GTZ, 2013).

O fluxo cíclico garante a reutilização das águas tratadas e, se funcionar de forma eficaz e sustentável, contempla os aspectos ambientais, económicos, técnicos, sociais e legais.

Dos diferentes sistemas propostos, uns já contemplados na NB 688 e outros não contemplados, destacam-se os sistemas não convencionais: leitos de macrófitas e sistemas compactos pré-fabricados. Na sequência da implementação dos sistemas de tratamento, deve-se garantir valores limites admissíveis a água residual a reutilizar na irrigação, sendo esses limites recomendados pela CEPIS e pela OMS.

As normas para a reutilização de águas residuais estabelecidas em vários países em desenvolvimento têm sido influenciadas pelas indicações da Organização Mundial da Saúde (OMS, 1989). Os padrões de qualidade definidos pela OMS, mais do que estabelecer limites que devem ser respeitados localmente, são também guias confiáveis para as autoridades responsáveis seguirem na definição dos processos de tratamento das águas residuais mais indicados para os variados usos agrícolas, e que cultivos e métodos de irrigação são compatíveis com a produção agrícola segura para a saúde, considerando a qualidade das águas residuais disponíveis.

Esses padrões de qualidade são estabelecidos para vários parâmetros, de entre os quais se destacam os indicadores microbiológicos de contaminação fecal: bactérias fecais coliformes e para os ovos de nematóides. A primeira tem o propósito de proteger as pessoas de infecções bacterianas e virais (ex. salmonela), e a segunda de infecções produzidas pelos helmintos (e protozoários). As normas estabelecidas pela OMS foram importantes em muitas regiões na Europa, Ásia e América Latina, e conseguiram criar consciência sobre a necessidade do tratamento de águas residuais e relativamente à necessidade de definição de normas de qualidade das águas residuais para uso na agricultura. Além disso, os limites que essas pautas estabelecem são acessíveis por meio de métodos de tratamento de custo relativamente baixo.

Segundo as recomendações da OMS, actualmente são utilizados, no essencial, três métodos para estabelecer as normas de qualidade microbiológica e os parâmetros dessas normas para a reutilização de águas residuais tratadas nas culturas agrícolas:

- I. A medição de organismos indicadores de poluição fecal na água residual;
- II. A ocorrência de um número de casos excessivos de doenças infecciosas associadas à população exposta (utilização de estudos epidemiológicos e estudos microbiológicos);
- III. A Utilização de um risco estimado a partir de um modelo conceptual-estatístico (mediante uma avaliação de risco microbiano quantitativo baseado num modelo).

Segundo estes três métodos apresentados pela OMS, para o controlo das águas residuais lançadas aos meios receptores, na necessidade do controlo da qualidade microbiológica e os parâmetros, na actualidade existem ferramentas de apoio para monitorizar as águas superficiais, que são as mais poluídas das bacias hidrográficas na Bolívia, mediante modelos da qualidade da água, como QUAL2E (River and Stream Water Quality Model – Modelo matemático) desde

que sejam correctamente calibrados e validados, respeitando as condições de caudal mistura, escoamento e temperatura. No entanto, para aplicar este modelo, permite simular quinze parâmetros: oxigénio dissolvido, carência bioquímica de oxigénio, temperatura, algas como clorofila-a, azoto orgânico, azoto amoniacal, nitritos, nitratos, fósforo orgânico, fósforo dissolvido, coliformes, um parâmetro não-conservativo arbitrário e três parâmetros conservativos. Sendo assim de forma sucinta, deveram ser abordados os aspectos relacionados e representativos da bacia hidrográfica em estudo os dados de natureza hidrológica e a definição das características hidráulicas do escoamento, dados meteorológicos e a avaliação e distribuição da carga poluente afluente à bacia hidrográfica (Coelho, 2012). Desta forma permite-nos conhecer o grau de poluição dos meios receptores e medidas a adoptar de acordo as descargas pontuais ou difusas das ETAR, lançamentos de águas contaminadas das indústrias e entre outros existentes. Protegendo à população de doenças infecciosas, epidemiológicas e microbiológicas. E para uma reutilização garantida, das águas residuais tratadas.

A OMS em 1989 propõe, de acordo com exemplos de estudos sobre o controle de qualidade das águas residuais, normas que indicam e pretendem limitar os riscos para a saúde. No entanto, a OMS baseia-se num conceito de “irrigação sem restrições” e classifica-os em categorias:

Categoria A – Apresenta resultados dos estudos sobre riscos ao consumidor de Coliformes Fecais ≤ 1000 NMP/100ml, para a irrigação livre. Existe riscos epidemiológicos de infecção significativos, somente quando essas recomendações são multiplicadas por 13, pelo menos.

Dentro das recomendações da Comissão Internacional sobre Especificações Microbiológicas para Alimentos (1974), que estabelece o limite de ≤ 100.000 CF por 100 g de peso fresco para hortaliças consumidas cruas. Porém, indica que as recomendações estabelecidas pela OMS são adequadas em climas temperados.

Não obstante, em situações onde não existam suficientes recursos para alcançar a norma de até 1000 NMP CF/100 ml para águas de irrigação, pode-se adoptar uma norma mais viável, de até 10.000 NMP CF/100 ml, complementada por outras medidas de protecção da saúde.

A recomendação para ovos nematóides ≤ 1 ovo/litro, é a norma que fixa como limite para as culturas de hortaliças irrigadas por aspersão, utilizando efluentes tratados de uma qualidade consistentes e em climas temperados.

Sendo assim, as hortaliças irrigadas com efluentes tratados que demorem mais tempo para ser vendidas (ainda não eclodiram os ovos *ascaris galli*) representam um possível risco para os consumidores, caso esses ovos tenham tempo para se tornarem infecciosos, pelo que se recomenda que a concentração não exceda 0.1 ovo/100 ml (*Ascaris galli* por planta irrigada contendo de 1 a 10 ovos por 100 ml).

Sendo assim, de forma sucinta, pode-se recomendar a categoria A, para a irrigação de produtos hortícolas consumidos usualmente crus, rega de campos de desportivos e parques públicos. O

tratamento necessário para alcançar o padrão exigido de qualidade microbiológica, será definido mediante a aplicação de um sistema de tratamento em série de “lagoas de estabilização”, projectadas para atingir a qualidade pretendida e recomendada (OMS, 1989).

Categoria B - Impõe-se na situação em que as águas só podem ser utilizadas em determinados cultivos, tais como grãos, cereais (quinoa, trigo, cevada, entre outros), pasto (forragem para animais), árvores e em produtos que são cozidos antes de serem consumidos, ou processados de modo a eliminarem agentes infecciosos.

As recomendações definidas pela OMS não incluem um limite para as bactérias coliformes fecais nessa categoria, devido à falta de evidência de risco viral e bacteriano para os trabalhadores agrícolas e para os residentes nas áreas próximas aos cultivos.

Evidências recentes (México - 1989) infecções entéricas em famílias de agricultores em contacto directo com águas residuais parcialmente tratadas e em populações que vivem perto de campos irrigados com aspersores indicam que se deveria acrescentar algumas recomendações, para quando a presença de coliformes na água exceder 1.000.000 CF NMP/100 ml.

Informações provenientes de estudos epidemiológicos realizados em Israel e nos EUA indicam que o nível ≤ 100.000 NMP CF/100 ml protegeria tanto os trabalhadores agrícolas, como os moradores das redondezas contra infecções pelo contacto directo ou pelas gotículas de águas residuais aerotransportadas (aerossóis) quando se irriga usando aspersores (Shuval e outros, 1989).

Entretanto, relatórios provenientes do México indicam que em situações de irrigação por inundação em sulcos, utilizando água parcialmente tratada proveniente de áreas urbanas, e com contacto directo, poderia determinar o risco de doenças diarreicas a um nível de 1.000-10.000 NMP CF/100 ml. Portanto, a redução do nível de recomendações para ≤ 1.000 NMP CF/100 ml representaria maior segurança para o trabalhador agrícola adulto que utiliza a irrigação por sulcos ou onde as crianças se encontram, com frequência, expostas (Blumenthal e outros, 1998).

Quando não houver recursos suficientes para proporcionar tratamento para alcançar esta norma mais estrita, a norma de 100.000 NMP CF/100 ml deverá ser complementada com outras medidas de protecção para a saúde (por exemplo, educação para a saúde com relação às águas servidas, e a importância de se lavarem as mãos com sabão depois de ter tido contacto com a água residual) (OMS, 1989).

A recomendação para ovos de nematóides ≤ 0.1 por litro, limite é adequada se não houver crianças expostas ou em contacto directo com águas residuais na irrigação ou quando brincam nos parques, jardins, entre outros.

As crianças em contacto com efluentes de um reservatório de água que atenda as normas da OMS mostraram maior prevalência e intensidade da infecção por *Ascaris*; porém quando os

efluentes haviam estado armazenados em dois reservatórios, e não apresentassem nenhum nematóide, não foi encontrado excesso de infecção por *Ascaris* (Cifuentes, 1998).

Como alternativa, um país de recursos limitados mas que pretenda controlar as doenças transmitidas pela reutilização de águas servidas na agricultura, poderia adotar por recomendações menos estritas e acompanhadas por medidas adicionais de proteção da saúde;

Categoria C – Segundo recomendações, permite uma irrigação localizada de cultivos incluídos na categoria B, se não houver exposição dos trabalhadores agrícolas nem moradores. Não existe ou não se aplicam limites para os coliformes fecais e os ovos nematóides. Aplica-se um sistema de tratamento nunca menor do que uma fase de sedimentação primária (OMS, 1989).

Um tratamento apropriado das águas residuais é essencial para assegurar o atendimento das recomendações de qualidade microbiológica exigidas para a utilização agrícola dessas águas. Em muitas circunstâncias, em países em desenvolvimento, é recomendado o tratamento das águas residuais mediante "lagoas de estabilização de dejectos". Esses sistemas constam de uma ou mais séries de lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação.

As lagoas anaeróbias e facultativas servem principalmente para remover a matéria orgânica, mas também são muito eficientes na eliminação dos ovos de nematóides intestinais e de *Vibrio cholerae* (OMS, 1989).

As lagoas de maturação são utilizadas principalmente para a eliminação de bactérias e vírus. Em áreas áridas e semiáridas, a retenção das águas residuais em lagoas de tratamento é benéfica, porque permite a utilização controlada das águas residuais na irrigação durante todo o ano, mesmo na época mais seca. Porém, permite irrigar uma área duas a três vezes maior. Numa lagoa única, que receba efluentes que passaram por um tratamento anaeróbio seria conveniente se a água que acumula fosse utilizada apenas na "irrigação com restrições", já que o longo período de retenção assegura o assentamento de todos os ovos de helmintos (desde que não haja crianças expostas aos efluentes). São necessárias três lagoas em paralelo, operadas como sistemas consecutivos, para se poder praticar a "irrigação sem restrições" (OMS, 1989).

As normas internacionais dos últimos 50 anos, têm sido muito rigorosas e sempre baseadas nos riscos possíveis para a saúde da contaminação patogénica dos efluentes tratados utilizados para a irrigação. Em 1981, um grupo de peritos como os relatórios de Engelberg, a Organização Mundial e Panamericana da Saúde, o Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente e a Agência de Proteção Ambiental de Estados Unidos de América, concluíram que a utilização produtiva das águas residuais tratadas, como uma alternativa importante para a rega agrícola, pelo seu elevado contributo de nutrientes e matéria orgânica, favorece o crescimento, colheita e melhoramento dos solos, e recomenda-se para forragens e outros cultivos industriais.

Uma compilação de relatórios e artigos das organizações internacionais (Engelberg, OMS, CEPIS, 2008), dão a conhecer dados a adoptar na reutilização das águas tratadas e limites permissíveis. No entanto, não estão reguladas em alguns países em desenvolvimento como na Bolívia, Haiti, Cuba, Perú e México, entre outros. Desta forma existem recomendações que são apresentados na Tabela 5.3, correspondentes a valores limites admissíveis para a reutilização de efluentes tratados, baseados em estudos de investigação desenvolvidos pelas organizações já mencionadas sensíveis à actualidade das questões da água, saúde da população e ambiente.

Tabela 5. 3 Qualidade microbiológica das águas residuais para a irrigação, países em desenvolvimento
 Fonte: Adaptado de Engelberg, Revista das Ciências Biológicas (CEPIS/OMS, 2008)

Localizaçã	Água Residual		Área total (ha)	Áreas de reutilização para rega das culturas						
	Coliformes (NMP/100 mL)	Parásitos (huevos/L)		Cultivos (Porcentaje del área total) (%)						
Países										
Argentina	2,5 E + 03	< 1	2 500	Vinhas	30	Legumes	30	Frutales	30	
Bolivia	2,1 E + 06	—	80	Milho	—	Tomate	—	Pimentos	—	
Chile	1,0 E + 02	—	1 500	Milho	28	Cenoura	10	Algarrobo	9	
CT - CR	—	< 1	26 000		25	Alfalfa	13	Trigo	12	
	México	6,1 E + 04	—	10 800	Milho	49	Beterraba	—	Aveia	—
		5,0 E + 03	< 1	757 000	Milho	7	Alfalfa	4	King grass	3
Perú	2,5 E + 04	—	740	Milho	47	Alfalfa	9	Eucalipto	5	
República Dominicana	5,0 E + 03	—	250	Arroz	100	—	—	—	—	
CT - SR	Brasil	5,1 E + 01	0	—	—	—	—	—	—	
	Costa Rica	2,1 E + 05	—	—	—	—	—	—	—	
	Ecuador	1,7 E + 05	< 1	—	—	—	—	—	—	
	Venezuela	—	—	—	—	—	—	—	—	
ST - CR	Chile	1,0 E + 06	—	52 000	Legumes	27	Pastagens	22	Cereais	19
	Perú	6,5 E + 07	—	535	Aipio	30	Alho frances	23	Cebola	22
ST - SR	Colombia	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Guatemala	1,2 E + 07	—	—	—	—	—	—	—	
	Nicaragua	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Paraguay	—	—	—	—	—	—	—	—	

No relatório de Engelberg recomendam-se novas directrizes, contendo normas menos rigorosas para os coliformes fecais. No entanto, são mais rigorosas para os ovos de *helmitos* (das espécies *ascaris*, *trichuris* e *anquilostomas*). Porém, alguns estudos realizados (CEPIS, OMS - 2008), reconhecem maior risco para a saúde humana decorrentes dos alimentos irrigados com águas residuais tratadas, onde os ovos de *helmitos* deverão ser ≤ 1 , pois eles são os maiores causadores das doenças endémicas nos países em desenvolvimento.

Estas novas directrizes sobre a qualidade bacteriológica foram confrontadas com as águas dos rios utilizadas para rega sem restrições em outros países, sem efeitos nocivos conhecidos, pois

normalmente a concentração de coliformes fecais por apresentarem valores de 10.000 NMP/100 ml. Em Portugal, União Europeia, Estados Unidos e noutros países desenvolvidos, recomenda-se e estabelece-se normalmente 1.000 ou valor máximo 10.000 CF totais NMP/100 ml.

Para condições de aproveitamento de rega de culturas agrícolas, os artigos de Engelberg, OMS, CEPIS (2008), sugerem os tratamentos necessários para atingir uma qualidade microbiológica consoante as categorias já mencionadas (A, B, C), como pode-se observar na Tabela 5.4

Tabela 5. 4 Sistemas de tratamentos mais comuns e disposição das águas residuais
 Fonte: Adaptado de Engelberg, Revista das Ciências Biológicas (CEPIS, OMS, (2008)

Categorias de qualidade das águas tratadas	Condições de reutilização nas diferentes culturas	Grupo expuesto	Nemátodos intestinales	Coliformes fecales	Tratamentos necessários para atingir qualidade microbiológicas exigidas
			(media aritmética ovos de helmintos/l)	(media geométrica /100 mL)	
A	Rega de culturas que se consomem crus; Campos desportivos; Parques públicos	Trabalhadores consumidores, público.	< 1	< 1 000	Lagoas de estabilização em serie ou tratamentos equivalentes
B	Rega de culturas de cereais, industriais, forragem para animais, pastagens	Trabalhadores	< 1	Não recomenda nenhuma norma	Lagoas de estabilização em serie, retenção de 8 ou 10 dias, para eliminação de helmintos
C	Rega de culturas localizados da categoria B, quando os trabalhadores e ou público não estão expostos	Nenhum	Não se aplica	Não se aplica	Tratamentos preliminares, segundo a tecnologia de rega a ser utilizada, deverá existir pelo menos uma sedimentação primaria

Em casos específicos, devem-se ter em conta os factores epidemiológicos, socioculturais e ambientais, adaptando e modificando as directrizes de acordo com o lugar a ser implementado. Convém estabelecer uma directriz mais rigorosa (por exemplo <200 coliformes fecais NMP/100ml) para centros recreativos, hotéis, escolas e outros em que o público pode estar em contacto directo (Engelberg, 2008).

É possível que seja necessário um plano que implemente um tratamento mais exigente para as águas residuais ou que restrinja mais alguns tipos de cultivos. É necessário informar os agricultores que estão a colocar a sua saúde em risco ao usar água contaminada, e que devem pressionar as autoridades políticas para que lhes forneçam água segura para uso agrícola.

O ciclo dos nutrientes é mais complexo e menos visível que o ciclo hidrológico, pois de uma forma sucinta pode-se explicar o aproveitamento de nutrientes como fertilizante na reutilização de águas tratadas contribuindo para o crescimento das plantas com aportes nutritivos de azoto,

fósforo, potássio e outros nos cultivos agrícolas. Porém, favorecem o crescimento dos vegetais, hortaliças, plantas e outros, atendendo à procura de alimentos para as populações.

O forte potencial de contaminação ocorre quando são combinados ambos os ciclos hidrológico e de nutrientes (Figura 5.8), como ocorre no sistema unitário de transporte de água residual.

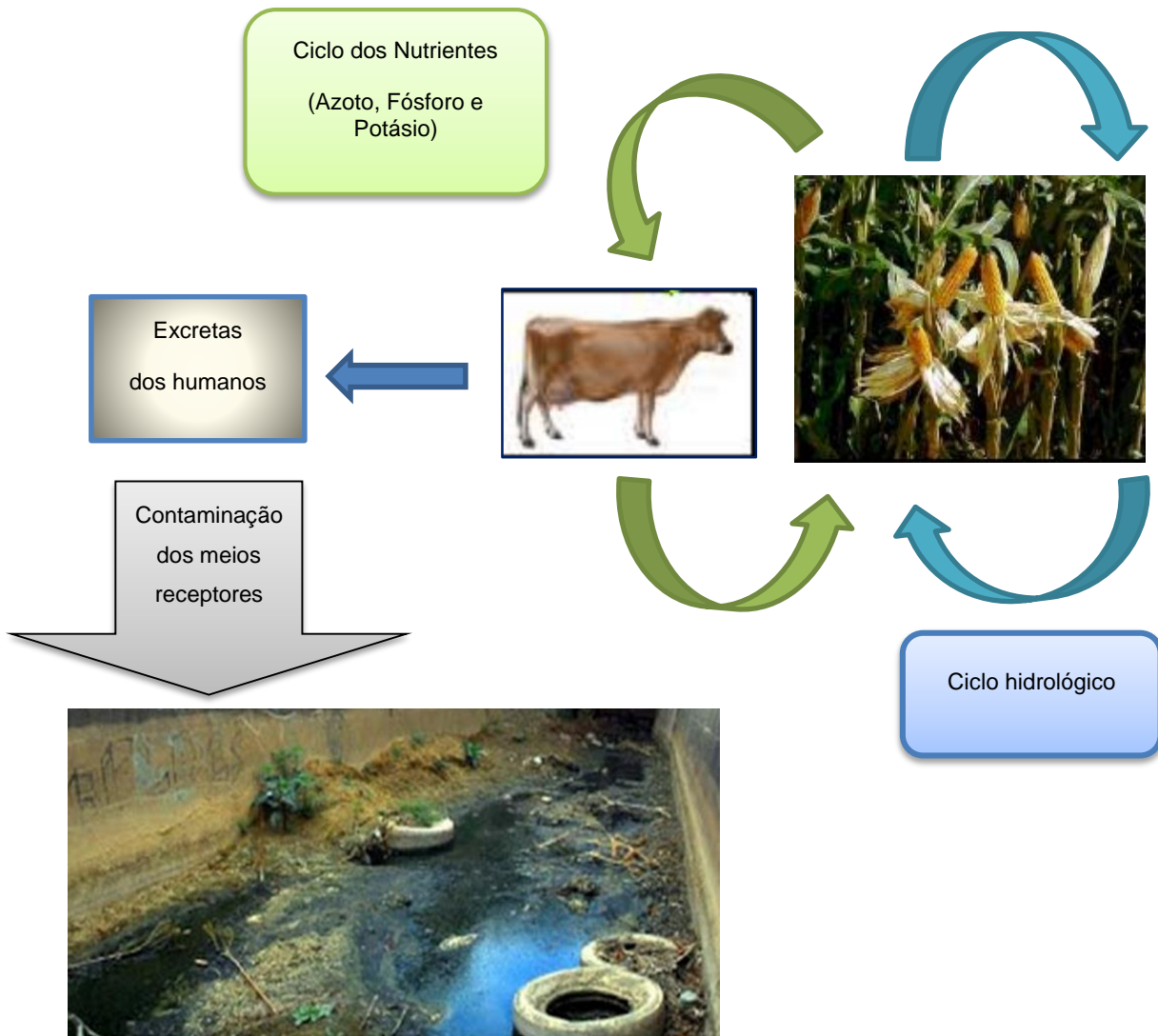


Figura 5. 8 Ciclos dos nutrientes quando combinados com o ciclo hidrológico contaminam

Fonte: Imagens do Jornal La Patria; Aguatuya (1998 - 2000)

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS NA APLICAÇÃO DO MODELO DE FLUXO CÍCLICO E RECOMENDAÇÕES

- O principal objectivo desta dissertação consiste na análise da perspectiva ambiental adaptada, contribuindo para a inovação da NB 688 na implementação de um saneamento sustentável e eficiente de tecnologia adequada. Também se deve considerar a participação da população mediante uma educação sanitária de consciencialização, para a protecção dos ecossistemas e habitats presentes.
- A aplicação do Modelo de Fluxo Cíclico tem como objectivo a reutilização das águas residuais e cuidar dos meios receptores, sustentando os custos de tratamento para uma ampliação e manutenção dos diferentes sistemas de tratamento adaptados para cada zona ou região do país.
- Na qualidade da água, deve-se ter em conta os caudais de água residual pois variam consoante os hábitos, usos e costumes das populações, assim como também variam nos parâmetros de qualidade produzidos por uma pessoa num dia e a sua concentração, relativamente as origens domésticas.
- Promover a reutilização das águas residuais tratadas para a agricultura e aquacultura, corresponde a uma aposta no desenvolvimento económico e social. A água é um recurso limitado e a sua reutilização deve ser considerada como fonte de matéria-prima e energia.
- O controlo da poluição pode ser realizado por diversas entidades, mediante auditorias ambientais, aplicando o conceito poluidor – pagador, no que respeita à remoção e deposição das substâncias poluidoras, desde que não sejam ultrapassados os valores limite que ponham em risco a saúde das populações e dos animais, nem excedam a capacidade de autodepuração dos meios receptores. Quando as águas residuais são originárias de indústrias privadas ou públicas (hospitais, fábricas e especialmente a mineira, entre outros), estas indústrias deverão ser obrigadas a implementar um sistema de tratamento individual, antes do lançamento das suas águas residuais no meio receptor.
- Promover a descentralização dos sistemas de tratamento mediante sistemas não convencionais que são acessíveis para populações rurais e pequenos aglomerados. Este sistema tem uma aceitação social, pelos mais baixos custos económicos de implantação e manutenção.
- Adoptar um planeamento de combinação económica de tratamento de água e de depuração de efluentes para uma série de comunidades, cujas fontes de abastecimento são sucessivamente afectadas pelos efluentes dos utilizadores de montante. Princípios económicos que regem os processos de recuperação e de reutilização da água. Relacionar os custos de vários níveis de qualidade da água destinada à irrigação com o comportamento das culturas e a rendibilidade das actividades agrícolas. Porém, é importante estabelecer a comparação entre o acréscimo de produção agrícola e consequente da utilização de fertilizantes e pesticidas e os efeitos nocivos destas substâncias quando lançadas nos cursos de água, em consequência dos processos de drenagem dos terrenos agrícolas

- Inovar e promover o “Desenvolvimento Humano”, com o objectivo de não poluir os meios receptores, nas zonas rurais indígenas dos Andes (serrania). Uma vez que a água de consumo é escassa. Porém, as doenças transmissíveis pela água são a maior causa de mortes, pela contaminação hídrica por patogénicos (excrementos humanos e outros compostos orgânicos).
- Assegurar a segurança hídrica e a manutenção dos aquíferos, mediante a disponibilidade das chuvas, fechando o ciclo de abastecimento, tratamento de águas residuais e reutilização e aproveitamento de nutrientes.
- Promover o “Desenvolvimento Humano”, evitando as doenças por patogénicos, onde a escassez da água é acentuada. Aplicando um saneamento básico mediante as “Sanitas Secas, Ecológicas” (a água é substituída por cinzas ou serragem) aplicados aos “Resíduos Humanos”, sendo um processo que tem sido usado para se referir aos excrementos humanos, ou seja, fezes e urina, que são subprodutos da digestão e metabolismo. Quando descartados, como geralmente são, esses materiais são chamados de resíduos, mas quando reciclados para fins agrícolas, podem ser transformados num recurso material orgânico rico em nutrientes para o solo convertido em húmus, através do processo de compostagem.

7. CONCLUSÕES

O saneamento sustentável deverá estar considerado no contexto teórico da NB 688 com os objetivos de inovar, informar e adaptar as tecnologias adequadas, com ênfase nos sistemas de tecnologias não convencionais, de forma a ser uma solução sustentável, eficaz e apoiada em estudos realizados e aplicados em países já desenvolvidos.

O controlo da poluição pode ser realizado por diversas formas, actuando sobre o efluente, e no meio receptor. No que respeita à actuação sobre o efluente, pode recorrer-se à sua depuração, modificando a remoção e deposição das substâncias poluidoras, assegurando que não sejam ultrapassados valores-limites máximos permissíveis e que ponham em risco a saúde das pessoas e dos animais, nem excedam a capacidade de renovação/autodepuração dos corpos de água receptores de maneira natural, a qual está limitada pelo forte crescimento demográfico das populações, gerando mais volumes de águas contaminadas não tratadas.

A poluição das águas não implica, obrigatoriamente a sua contaminação, pois é a introdução ou rejeição na água de substâncias tóxicas que a tornam imprópria para o consumo público e para as utilizações domésticas que prejudicam a sua utilização, tornando-a desagradável à vista, paladar ou olfacto.

Devem-se considerar as águas residuais e a lama residual como um recurso e não como resíduos irrecuperáveis. Contudo, deverão ser aceites socialmente e ser economicamente viáveis para todos, sem distinção de classes sociais e etnias.

A escassez de água ou o difícil acesso e o aumento da procura de água principalmente para as necessidades de consumo humano e de produtividade agrícola, é fortemente influenciada pela degradação da mesma. A implementação de propostas para promover o tratamento das águas residuais deverão considerar a variabilidade das mudanças climáticas, o tipo de populações afectadas, cultivar uma solução que oriente as estratégias para uma gestão adequada dos recursos hídricos e promoção de sistemas separativos para as águas residuais até à ETAR.

A população deverá proteger a sua saúde, assumindo os custos de tratamento das águas residuais que geram e garantir uma utilização eficiente e sustentável das águas de consumo *per capita*, obtendo resultados de uma utilização eficiente e assim contribuindo e reduzindo os custos de tratamento, oferecendo benefícios económicos, sociais e ambientais.

Valorizar a qualidade das águas tratadas aptas para a rega de culturas agrícolas, com a presença de nutrientes para o crescimento, uma vez que os agricultores são os maiores consumidores ao nível da reutilização das águas residuais tratadas.

Na elaboração desta dissertação, mediante as pesquisas bibliográficas, normas vigentes, monografias, artigos e estudos de investigação, constata-se um vazio muito grande na

aplicabilidade, na NB 688, de novas tecnologias adequadas e alternativas de tratamento, bem como no que se refere aos incentivos à descentralização das mesmas e à sua adopção.

O objectivo é melhorar a qualidade dos sistemas de tratamentos e descentralizá-los, com base na densidade populacional da população servida, tendo como prioridade o controlo dos patogénicos, contaminação fecal, o controlo da carga orgânica e de nutrientes. Adaptar tecnologias adequadas e sistemas de tratamentos inovadores e eficientes dentro do contexto proposto, porém respeitando os costumes indígenas. Neste sentido, considerar as experiências bem-sucedidas de alternativas tecnológicas de formas de gestão de águas residuais, muito mais eficientes para o controlo de patogénicos.

Além dos problemas económicos existentes para a implantação de sistemas de tratamento, antecede a maior problemática e interesse da actualidade, que corresponde ao abastecimento de água potável, relegando-se para segundo plano o tratamento das águas residuais, tendo como resultado a poluição dos meios receptores, incapazes de uma adequada autodepuração.

Com o presente trabalho pretendeu-se dar um contributo para a melhoria das condições de vida das pessoas e dos ecossistemas numa região onde as condições de saneamento básico estão ainda aquém das exigências e dos padrões de qualidade geralmente aceites e defendidos nos países desenvolvidos. Mediante uma análise detalhada do normativo legal em vigor e das condições das infra-estruturas existentes no país, em particular nas zonas rurais, com a adopção de propostas concretas tendo em vista a implantação de sistemas adequados tanto do ponto de vista técnico, como económico e social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E DIGITAIS

Amaral, Leonor (2013) – Apontamentos da disciplina de “ Sistemas de tratamento de águas e efluentes”, Mestrado em Engenharia e Gestão da Água, FCT, UNL, Monte de Caparica, Portugal.

Blumenthal UJ *et al.* (1998) – Consumer risks From enteric infections and heavy metals thorough agricultural reuse of wastewater, México, London school of Hygiene and Tropical Medicine (Final Report, DFID Research Projecto no. R5468).

Carmona Rodrigues, A. (2013) – Apontamentos da disciplina de “Uso Sustentável da Água”, Mestrado em Engenharia e Gestão da Água, FCT, UNL, Monte de Caparica, Portugal.

CEPIS (2003) - Proyecto REUSO, “*Lineamientos para mejorar la gestión del agua residual y hacer más sostenible la protección de la salud*”. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Cifuentes E. (1998) – The epidemiology of enteric infections in agricultural communities exposed to wastewater irrigation: perspectives for risk control. International Journal of Environmental Health Research.

Coelho, Pedro (2010) – Apontamentos da disciplina de “ Modelação da qualidade das águas interiores “, Mestrado em Engenharia e Gestão da Água, FCT, UNL, Monte de Caparica, Portugal.

Crites Ron y Tchobanoglous George (2000) - *Sistemas de Manejo de Aguas Residuales. Para Núcleos Pequeños y Descentralizados*. ISBN: 958-41-0043-2, Colombia.

Conradin, Katharina (2011) - *Sustainable Sanitation and Water Management (SSVM)*. Publisher Master Thesis. Basel: University of Basel.

Cunha, L. Veiga; Gonçalves, A. Santos; Figueiredo, V. Alves; Lino, Mário (1998) - *A Gestão da Água, Princípios Fundamentais e Sua Aplicação em Portugal*. Editora: Fundação Calouste Gulbenkian.

Dias e Soutinho; Seidel, K; Kickuth, R.; Planck, M. (1999 - 2000) – *Sistemas de Tratamentos Leitos Macrófitas*. Universidade do Alto Douro e Trás-os-Montes Minho.

Ecodepur (2013) – Tecnologias de Proteção Ambiental “Micro-Etar”

Eschique, S. A. *et al.* (2001) - *Qualidade da água como ferramenta na gestão ambiental de estuários – exemplo do litoral sul de São Paulo*. In: Simpósio Brasileiro de Oceanografia, Santos. Anais - São Paulo: Instituto Oceanográfico – USP.

Engelberg, CEPIS, OMS, FAO (2008) - Revista das Ciências Biológicas.

Feria Global de la Feria del Desarrollo del grupo del Banco Mundial (2006) - “Innovaciones en servicios de agua, saneamiento y energía para personas de escasos recursos”.

Foguet, M. Carrillo (2003) - Ingeniería sin Fronteras. Tecnología para el Desarrollo Humano. Ex-Libris, SCCL. ISBN: 84-607-8089-9. Via Laietana, 39. 08003 Barcelona (España)

Grego, Christiana Da Silva, Kelly. et al. (2009) - *Fitoplâncton do ecossistema estuarino do rio Ariquindá* (Tamandaré, Pernambuco, Brasil): variáveis ambientais, biomassa e produtividade primária. Atlântica, Rio Grande.

Guzmán, Luis (2014) – “Sistematización sobre tratamiento y reuso de aguas residuales”. Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable (PROAGRO) asesor técnico. www.proagro-bolivia.org

Hernández, Miguel; Lebrato (2004) – Grupo TAR. Tratamientos Apropriados. Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla. Universidad de Sevilla. Master en Ingeniería del Agua. www.grupotar.com

INE (2001) - Instituto Nacional de Estadística de Bolivia.

Kreamer, Pedro (2003) - Coordinador DEWATS. FEDINA BORDA. *Design Principles for Decentralized Wastewater Treatment Systems (DEWATS)* Presentation at: EcoSan Workshop. Bangalore, Karnataka –June 15th-18th.

Lettinga, Gatzke et al. (1997) – “*Anaerobic Digestion as a Core Technology in Sustainable Management of Organic Matter*”. *Lecture notes. Wageningen Agricultural University.*

Mara, D. (1996) - *Low Cost Urban Sanitation*. Inglaterra, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Medina Hoyos Richard Ivan; CEPIS (2005) - Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. *PROMADE – EIA. Modelaje del Control Biológico de Patógenos en un Reactor Anaerobio a Pistón seguido por Lagunaje.*

Mena, Rosario (1994) - Cosmovisión Andina. *Hijos de la Pachamama . Del Libro Ceremonias de Tierra y Agua. Ritos Milenarios Andinos.* Victoria Castro y Varinia Varela, Chile.

Metcalf y Eddy (1998 - 2003) - Ingeniería de Aguas Residuales. Vol. 1. *Tratamiento, Vertido y reutilización.* ISBN: 0-07-041690-7. McGraw- Hill. Tercera Edición. España.

Morais, A.Q. (1977) - *Depuração de Esgotos Domésticos dos Pequenos Aglomerados Populacionais e Habitações Isoladas.* Lisboa, Ministério das Obras Públicas.

Muñoz e León (1993) - "*Sistemas Integrados de Tratamiento e Uso de Águas Residuais na América Latina: Realidade e Potencial*" (Projecto e Reutilização) orientado pelo Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS).

Norma Boliviana 512, (2007) – *Calidad de Agua Potable*

Norma Boliviana 688, (2007) – *Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial*

ONU (2001) - Informe do Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) del año 2001 - 2010, “*Poner el Adelanto Tecnológico al servicio del Desarrollo Humano*”.

Paixão M. de Assis (1999) - *Águas e Esgotos em Urbanizações e Instalações Prediais*. Editora: Edições Orion.

Pérez-Foguet, A; Carrillo, M y F. Magrinyà. (Eds.) (2003) - *Ingeniería sin Fronteras. Tecnología para el Desarrollo Humano*. Ex-Libris, SCCL. ISBN: 84-607-8089-9. Via Laietana, 39. 08003 Barcelona (España).

Pesci, Ruben (1995a) - *Proyección Ambiental. Cátedra para la UNESCO*.

Pesci, Ruben (1995b) - *Inovação e desenvolvimento de cidades sustentável*.

Philippi Jr., Arlindo; Roméro, Marcelo de Andrade; Bruna, Gilda Collet (Eds.); Manole (2004) - *Curso de Gestão Ambiental*. Barueri.

Plan Decenal de Saneamiento Básico de Bolivia (2001-2015) - Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos de Bolivia.

Reglamentación de La Ley Nº 1333) - Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (1992).

Reed et al., 1995 – *Sistema de Construção de Leitões de Macrófitas*.

Rodrigues, António M. (2013) - Apontamentos da disciplina de “Ecohidráulica”, Mestrado em Engenharia e Gestão da Água, FCT, UNL, Monte de Caparica, Portugal.

Terán, Francisco (2004) – *Lodos y Aguas Servidas Tratadas*

Van Damme Paul (2002) - *Comisión para la Gestión Integral del Agua en Bolivia. Disponibilidad, Uso y Calidad de los Recursos Hídricos en Bolivia. Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo, 2002*.

Vymazal, J (2003) - “Types of Constructed Wetlands”, in 1st International Seminar on the Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands. Fundação Calouste Gulbenkian

Visscher, Jan Teun (2003) - *Energía Participará y Sostenibilidad. Ingeniería Sin Fronteras*.

Visscher, Jan Teun (2003) - *Creación de Capacidades en la Comunidades: Agua y Saneamiento en el Desarrollo Sostenible IRC Centro Internacional de Agua Potable y Saneamiento, Delft, Holanda*.

García E. Velo; Oria J Sneij; Ayats (2006) - *Tecnologías para el Desarrollo Humano*. Editora: Associação Catalana de Ingenierías Sin Fronteras.
<http://catalunya.isf.es/NOVA/energia/publicacions/EPS.pdf>

Plan Nacional de Saneamiento Básico Volumen II Diagnóstico del Sector (Indicadores da TMI) – 2012. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd66/PlanNaISBv2.pdf>

Sistemas de Aguas y Alcantarillados para Condominios (NB 688 - 2013) - Proyecto Piloto El Alto – Bolívia,

https://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/35200761055_prueba5.pdf

Seminário, em conjunto com o “8º Prêmio de Conservação e Reúso de Água”. (2013) - FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) e o CIESP (Centro das Indústrias do Estado de São Paulo). http://youtu.be/HE_k5Usra_0

Shuval HI *et al.* (1989) – Transmission of enteric disease associated with wastewater irrigation: a prospective epidemiological study *American Journal of Public Health*.