

ELABORAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ÁREAS INDUSTRIAIS

Mariana Simão de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Henry Xavier Corseuil
Co-Orientadora: Msc: Deise Paludo

2013/2



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Curso de Graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental
Trabalho de Conclusão de Curso

**ELABORAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL
PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM ÁREAS INDUSTRIAIS**

Mariana Simão de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Henry Xavier Corseuil
Co-Orientadora: Msc: Deise Paludo

2013/2


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL


**ELABORAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA
MONITORAMENTO PREVENTIVO DA QUALIDADE DA ÁGUA
SUBTERRÂNEA EM ÁREAS INDUSTRIAIS**

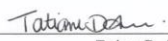
MARIANA SIMÃO DE OLIVEIRA

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão
do curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental- TCC II.

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Henry Xavier Corseuil
(Orientador)


Prof. Fernando S. P. Sant'Anna
(Membro da Banca)


Tatiane D. Adami
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS (SC)
MARÇO/2014

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho marca o fim de uma etapa muito importante da minha vida. Ao longo dos anos de graduação, eu tive a oportunidade de aprender com grandes mestres, e crescer junto com bons amigos, hoje colegas de profissão. Agradeço a todos que de alguma forma estiveram ao meu lado durante esta caminhada.

Muito especialmente, desejo expressar meus agradecimentos:

Ao professor Henry Corseuil, pela oportunidade de realização deste trabalho de conclusão de curso, e pelas valiosas aulas na graduação, que despertaram meu interesse pela área de águas subterrâneas.

A Deise Paludo, por todo o suporte, carinho e bolsos maravilhosos.

Ao Fernando Keske, por confiar no meu trabalho, e pelas orientações.

Ao professor Fernando Santanna, por aceitar o convite de fazer parte da banca, e por ter sido um professor tão dedicado.

Aos grandes amigos de faculdade Luis Felipe Menegassi, Djema Maria Cristiano e Mariana Godke, por terem feito esta caminhada mais leve.

Ao B., por ter conseguido me aturar e estar ao meu lado há 7 anos.

Finalmente, a minha mãe, pelo conforto em tantos dias de angústia, e a toda a minha família, pelo porto seguro.

RESUMO

Visto a importância da água subterrânea no contexto mundial de uso da água, a sua contaminação a partir da liberação de compostos xenobióticos é uma grande preocupação ambiental e socioeconômica nos dias atuais. Dentre as potenciais fontes de contaminação da água subterrânea, estão as áreas industriais onde há manipulação de produtos químicos. Nas empresas do setor produtivo, a problemática das áreas contaminadas figura, portanto, como uma questão importante, havendo nestas uma preocupação com a prevenção da poluição do solo e da água subterrânea. O monitoramento da qualidade da água subterrânea viabiliza o diagnóstico de eventuais contaminações e ações de resposta subsequentes. Estes estudos envolvem diversas etapas, além da amostragem e análise de água subterrânea, e há diferentes normas, além de requisitos legais, aplicáveis ao tema. Em geral, os mesmos são realizados por empresas de consultoria especializadas. Como forma de ordenar o processo de monitoramento das águas subterrâneas em uma empresa do setor produtivo, este trabalhou visou à elaboração de um procedimento operacional, contendo orientações e regras claras para a execução das atividades envolvidas no processo. O procedimento operacional, além de ordenar o processo de monitoramento da água subterrânea, traz outros benefícios, como a maior confiabilidade nos resultados, uma vez que promove o controle sobre as fontes de variabilidade. O procedimento promove também meios mais eficientes para a troca de informações entre a empresa e as consultorias externas, bem como facilita o atendimento a requisitos legais.

Palavras-chave: Água subterrânea, áreas industriais, monitoramento ambiental, procedimento operacional.

ABSTRACT

The contamination of soil and groundwater through the release of xenobiotic compounds is one of the main environmental concerns of today. Due to its relevance in the world context of water usage, the contamination of groundwater is a serious problem not only environmentally but socioeconomically as well. One source of groundwater contamination stems from industrial plants where chemical compounds are handled. The prevention of soil and groundwater pollution is hence a major concern within industrial companies. Monitoring of groundwater enables possible contamination problems to be diagnosed and appropriate actions to take place. This monitoring, besides sampling and analysis of groundwater, has many steps and there are different standards and legal requirements that apply. In general, they are performed by specialized consulting companies. This study aimed to organize the process of groundwater monitoring in a production company by developing a standard procedure containing rules and guidelines for the activities involved in the process. By developing this procedure the process of groundwater monitoring is organized and as a side-benefit the sources of variability are able to be controlled, more efficient ways of exchanging information between the industrial company and the consultation company are created, and compliance with legal requirements are facilitated.

Key-words: Ground water, industrial areas, environmental monitoring, standard procedure.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1. PASSIVOS AMBIENTAIS.....	18
3.1.1. Áreas Contaminadas	19
3.1.1.1. Áreas Contaminadas como Passivos Ambientais.....	20
3.1.2. Valores Orientadores para a Qualidade do Solo e da Água Subterrânea.....	21
3.1.2.1. Lista Holandesa.....	22
3.1.2.2. USEPA Regional Screening Levels	23
3.1.2.3. Valores Orientadores para a Qualidade do Solo no Brasil	
23	
3.2. NORMALIZAÇÃO	24
3.2.1. Níveis de Normalização.....	26
3.2.1.1. Normalização Internacional	27
3.2.1.2. Normalização Regional.....	28
3.2.1.3. Normalização Nacional.....	28
3.2.1.4. Normalização de Associação	28
3.2.1.5. Normalização Empresarial.....	29
3.2.2. Classificação Internacional de Normas	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	31
4.1.1. Estrutura de Padronização da Empresa	32
4.2. MÉTODO DE PESQUISA	33
4.2.1. Pesquisa de Normas.....	34
4.2.2. Pesquisa de Manuais, Guias e Procedimentos	35
5. RESULTADOS	36
5.1. PROCEDIMENTO PARA REALIZAÇÃO DE INVESTIGAÇÕES DE CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA	37
5.1.1. Investigação Preliminar.....	37
5.1.2. Investigação de Campo	37

5.1.2.1.	<i>Análises de Solo</i>	39
5.1.3.	<i>Locação dos Poços de Monitoramento</i>	41
5.1.4.	<i>Instalação e Desenvolvimento dos Poços de Monitoramento</i>	
	41	
5.2.	PROCEDIMENTO PARA REALIZAÇÃO DE CAMPANHAS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	42
5.2.1.	<i>Planejamento da Campanha de Monitoramento</i>	43
5.2.2.	<i>Objetivos do Monitoramento</i>	43
5.2.3.	<i>Condições Locais e Inspeção dos Poços de Monitoramento</i> .	44
5.2.4.	<i>Medições Iniciais nos Poços</i>	44
5.2.4.1.	<i>Aferição de nível d'água</i>	44
5.2.4.2.	<i>Profundidade do poço</i>	45
5.2.4.3.	<i>Detecção e Amostragem de Fase Livre</i>	45
5.2.5.	<i>Purga e Amostragem</i>	45
5.2.6.	<i>Procedimentos de Descontaminação</i>	49
5.2.7.	<i>Preservação e Manuseio das Amostras</i>	49
5.2.7.1.	<i>Coleta e Transferência das Amostras</i>	49
5.2.7.2.	<i>Filtração</i>	50
5.2.7.3.	<i>Acondicionamento e Preservação das amostras</i>	50
5.2.7.4.	<i>Transporte</i>	52
5.2.8.	<i>Análise das Amostras</i>	52
5.2.9.	<i>Documentação</i>	54
5.2.9.1.	<i>Relatório de Campo</i>	54
5.2.9.2.	<i>Cadeia de custódia</i>	55
5.2.10.	<i>Controle e Garantia da Qualidade</i>	55
5.2.10.1.	<i>Controle e Garantia da Qualidade em Campo</i>	56
5.2.1.0.	<i>Especificações de Saúde e Segurança</i>	57
5.3.	PROCEDIMENTO PARA ELABORAÇÃO DE RELATÓRIOS DE INVESTIGAÇÃO	58
5.3.1.	<i>Capa</i>	58
5.3.2.	<i>Premissas, Condições e Limitações</i>	58
5.3.3.	<i>Sumário Executivo</i>	58
5.3.4.	<i>Base Contratual do Projeto e Equipe Envolvida</i>	59
5.3.5.	<i>Modelo Conceitual Inicial</i>	59
5.3.6.	<i>Escopo da Investigação</i>	60
5.3.7.	<i>Resultados e Discussão da Campanha de Monitoramento</i> ..	61

5.3.8. Conclusões e Recomendações.....	63
5.3.9. Documentação.....	63
5.4. PROCEDIMENTO PARA MANUTENÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO ...	63
6. CONCLUSÕES	65
7. BIBLIOGRAFIA	67
8. APÊNDICE	73
9. ANEXOS	76

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. FONTES COMUNS DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ...	19
FIGURA 2. DIFERENTES NÍVEIS DE NORMALIZAÇÃO.....	26
FIGURA 3. ESTRUTURA DE PADRONIZAÇÃO DA EMPRESA	32
FIGURA 4. TELA DE PESQUISA DE NORMAS NO <i>WEBSITE</i> DA INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION.....	34
FIGURA 5. TELA DE PESQUISA DE NORMAS NO <i>WEBSITE STANDARDS CATALOG</i>	34
FIGURA 6. EXEMPLOS DE POÇOS CADEADOS E IDENTIFICADOS.	42
FIGURA 7. ESQUEMA DE CONTRATAÇÃO DE LABORATÓRIOS PELA CONSULTORIA.....	53
FIGURA 8. ESQUEMA DE SUBCONTRATAÇÃO DE LABORATÓRIOS.	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. FILOSOFIA DO GERENCIAMENTO PELO CONTROLE DA QUALIDADE.....	30
TABELA 2. CRITÉRIOS PARA IDENTIFICAÇÃO VISUAL DO TEOR DE UMIDADE.....	39
TABELA 3. CRITÉRIO DE ESTABILIZAÇÃO PARA OS PARÂMETROS INDICADORES.....	47

1. INTRODUÇÃO

Inúmeras atividades antropogênicas vêm causando a liberação de compostos xenobióticos no meio ambiente, o que acaba por gerar efeitos negativos na qualidade do mesmo (ANDREONI & GIANFREDA, 2007).

A preocupação com estes efeitos negativos, em especial nos países desenvolvidos, começou a ganhar força a partir da segunda metade do século XX, levando a uma revisão de procedimentos no processo de gestão ambiental. A cobrança de mudanças pela sociedade, atuações mais fortes dos governos em seu papel de controle e iniciativas no setor empresarial, como a implantação de equipamentos de controle de poluição, foram alguns dos efeitos observados nessa época (MALHEIROS *et al.*, 2004).

A ideia de que a empresa é um sistema aberto que interage com o meio ambiente externo já vem de longa data, sendo que esse meio ambiente era compreendido inicialmente somente pelos fornecedores, instituições financeiras, governo e clientes. Foi a partir da segunda metade do século XX, com o aumento da preocupação com a poluição ambiental, que o meio ambiente natural passou a ser compulsoriamente incluído nessa visão de meio ambiente externo com o qual as empresas interagem (RIBEIRO, 1998).

A partir de então, os custos vinculados às estas interações da empresa com o meio ambiente natural passaram a fazer parte da contabilidade empresarial, ou seja, passaram a existir os chamados “passivos ambientais”. Segundo RIBEIRO (1992), “passivos ambientais são benefícios econômicos ou resultados da empresa que serão imolados em razão da necessidade de *preservar, proteger e recuperar* o meio ambiente, de modo a permitir a compatibilidade entre estes e o desenvolvimento econômico”.

No caso de empresas do setor produtivo, um dos problemas ambientais mais preocupantes é a potencial contaminação do solo e da água subterrânea, através do derramamento de produtos químicos. A contaminação da água subterrânea, em especial, se materializa num sério problema socioeconômico e ambiental, visto a sua grande importância no contexto mundial de uso da água (ABAS, 2005).

O monitoramento da qualidade da água subterrânea em áreas industriais é, assim, uma atividade de grande importância para o diagnóstico e viabilização de ações de resposta mais rápidas, frente a eventuais contaminações. Ainda, o monitoramento da qualidade da água subterrânea é, em muitos casos, exigido por parte dos órgãos

ambientais através de condicionantes de licenças ambientais, passando a representar um passivo ambiental compulsório para a empresa.

Neste contexto, este trabalho consistiu na elaboração de um procedimento operacional para implementação de um programa de monitoramento da qualidade da água subterrânea em áreas industriais.

O objetivo da elaboração do procedimento operacional é a normalização da atividade de monitoramento da água subterrânea na empresa, estabelecendo regras e orientações para a execução de sondagens, instalação e desenvolvimento de poços de monitoramento, amostragem e análise de água subterrânea, entre outros. O procedimento elaborado será integrado ao Sistema de Padronização da empresa, cujo objetivo é a padronização do trabalho na organização.

Dentre os benefícios do trabalho padronizado em uma organização, podem ser citados: a redução na variabilidade de processos, a maior facilidade de treinamento de novos funcionários, a formação de uma base para o desenvolvimento de melhorias, e a promoção de disciplina na execução como cultura empresarial (*LEAN ENTERPRISE INSTITUTE*, 2014). A padronização da atividade de monitoramento da água subterrânea, em específico, também propicia uma maior facilidade de comunicação com Consultorias externas, responsáveis pela condução das investigações ambientais na empresa. Além disto, facilita o atendimento a requisitos legais, uma vez que estabelece regras sobre frequência de monitoramento, compostos a serem avaliados, entre outros.

2. OBJETIVOS

O Objetivo Geral deste trabalho é a elaboração de um procedimento operacional para implementação de um programa de monitoramento da qualidade da água subterrânea em áreas industriais.

Os objetivos específicos desse estudo são:

- a) Definir os requisitos mínimos para investigações iniciais de caracterização do solo e da água subterrânea, e estabelecer as condições para locação e instalação dos poços de monitoramento;
- b) Estabelecer critérios mínimos para a realização das campanhas de monitoramento da qualidade da água subterrânea;
- c) Estabelecer orientações para avaliação dos resultados analíticos das investigações e definir o escopo mínimo dos relatórios técnicos.

- d) Definir critérios mínimos para inspeção e manutenção dos poços de monitoramento

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para dar embasamento ao tema de monitoramento das águas subterrâneas em áreas industriais, como forma de prevenir e controlar eventuais contaminações, a primeira parte da Revisão Bibliográfica tratará do conceito de passivos ambientais, em especial aqueles relacionados às áreas contaminadas.

Ainda, como o presente trabalho consistiu em uma forma de normalização, por meio da elaboração de um procedimento, a segunda parte da Revisão Bibliográfica tratará do conceito de normalização e suas funções. Será discorrido também sobre os organismos de normalização cujas normas foram utilizadas como referência para o procedimento elaborado.

3.1. Passivos Ambientais

Antes de entender o conceito de passivo ambiental, faz-se necessário conhecer o conceito de ativos e passivos de uma empresa.

Segundo SPROUSE & MOONITZ *apud* IUDÍCIBUS (2000), ativos representam benefícios futuros esperados, direitos que foram adquiridos pela entidade como resultado de alguma transação corrente ou passada. Já os passivos são definidos por HENDRICKSEN & BREDÁ, 1999, como as obrigações ou compromissos de uma empresa no sentido de entregar ativos (bens) ou serviços em um momento futuro, a uma pessoa, empresa ou organização externa.

Assim, os passivos ambientais podem ser definidos como as obrigações que exigirão a entrega de ativos ou prestação de serviços em um momento futuro, em decorrência das transações passadas ou presentes que *envolveram a empresa e o meio ambiente*. (RIBEIRO & LISBOA, 2000).

Segundo a ONU *apud* RIBEIRO & LISBOA, 2000, o passivo ambiental passa a existir quando houver uma obrigação de a entidade *prevenir, reduzir ou retificar* um dano ambiental, sob a premissa de que a entidade não possui condições para evitar tal obrigação ou quando o valor da exigibilidade pode ser razoavelmente estimado.

Pela relevância atual do tema, o termo passivo ambiental é comumente associado a áreas contaminadas, ainda que ambos sejam conceitos fundamentalmente diferentes. Além disso, embora as questões relativas à poluição do solo tenham hoje alta relevância, por muito tempo as mesmas foram preteridas. Tais questões serão apresentadas nos Itens que se seguem.

3.1.1. Áreas Contaminadas

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB (1999), uma área contaminada pode ser definida como “*uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Nessa área, os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, por exemplo, nos sedimentos, nas rochas, nos materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas ou, de uma forma geral, nas zonas não saturada e saturada do solo, além de poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções*”.

A contaminação do solo e águas subterrâneas pode ser originária de “fontes pontuais” ou “fontes não pontuais”. As fontes não pontuais são aquelas em que os contaminantes estão distribuídos em uma área ampla, de difícil delimitação. Podem ser citadas como exemplo as extensas áreas agrícolas, nas quais são espalhados fertilizantes, adubos e pesticidas. As fontes pontuais, por sua vez, são aquelas que podem ser facilmente delimitadas, como por exemplo: áreas de descarte de efluentes industriais, tanques com vazamento e outros tipos de derramamentos de produtos químicos, fossas sépticas e aterros. (USGS, 1999).

A Figura 1 apresenta exemplos comuns de fontes de contaminação do solo e águas subterrâneas.

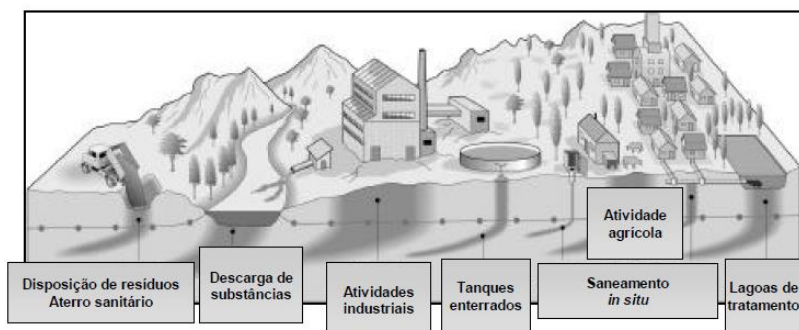


Figura 1. Fontes comuns de contaminação do solo e águas subterrâneas
(Fonte: Adaptado de FOSTER *et al.*, 2002).

Dentre os vários problemas gerados pelas áreas contaminadas, SÁNCHEZ (1998) aponta três problemas principais: existência de riscos à segurança das pessoas e das propriedades, riscos à saúde pública e aos ecossistemas e restrições ao desenvolvimento urbano e imobiliário das propriedades. Os riscos à segurança das pessoas podem ser evidenciados por problemas imediatos, como a possibilidade de explosões e incêndios, mas também por processos que se manifestam em longo prazo, como o aumento da incidência de doenças em pessoas expostas às substâncias químicas. As restrições ao desenvolvimento urbano e imobiliário das propriedades, por sua vez, são devidas à limitação dos usos possíveis do solo, as quais induzem problemas econômicos relativos ao valor dos imóveis.

Com o objetivo de reduzir a níveis aceitáveis os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente, órgãos ambientais e governamentais de diversos países desenvolveram metodologias para o gerenciamento de áreas contaminadas. Estas metodologias visam, de maneira geral, proporcionar informações que suportem a tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.

O monitoramento da qualidade da água subterrânea é uma das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas, e tem como propósito prevenir a contaminação, e controlá-la durante e após a etapa de remediação. O monitoramento é feito a partir de amostragem da água subterrânea, e análise das amostras para os parâmetros químicos de interesse.

3.1.1.1. Áreas Contaminadas como Passivos Ambientais

Por muito tempo, as políticas ambientais priorizaram as questões relativas à poluição do ar e das águas superficiais, deixando de lado as questões ligadas à proteção do solo. Com base na crença na sua capacidade de contenção de contaminantes e de autodepuração, este meio foi por muito tempo depositário dos mais diversos tipos de resíduos.

BEAULIEU *apud* CETESB, 1999 descreve que o mundo industrializado começou a se conscientizar dos problemas causados pelas áreas contaminadas no final da década de 70 e início da década de 80, após a ocorrência de casos graves, como "*Love Canal*", nos Estados Unidos; "*Lekkerkerk*", na Holanda; e "*Ville la Salle*", no Canadá.

O caso do *Love Canal*, em especial, tornou-se paradigmático no que se refere à temática em questão. O local consistia em um canal abandonado na cidade de Niagara, Nova York, que foi utilizado por cerca de três décadas, de 1920 a 1953, como aterro de resíduos industriais. Nesta data a área foi vendida à Comissão Escolar de Niagara Falls, a qual construiu uma escola, levando à consolidação de um bairro de classe média no local. Posteriormente, em 1976, visto a edição de uma reportagem em um jornal local sobre o depósito de resíduos e queixas de moradores sobre problemas de saúde, o assunto tornou-se público. Após o fechamento da escola e a retirada de inúmeras famílias do local, sucedeu-se uma batalha jurídica que culminou em 1994, com um acordo com a empresa Oxychem, sucessora da antiga proprietária da área. A empresa foi obrigada a assumir os encargos financeiros futuros de remediação e do monitoramento da área, além de indenizar o estado de Nova York em 98 milhões de dólares (SÁNCHEZ, 2001).

Foi então, a partir destes eventos, que as áreas contaminadas passaram a representar obrigações (ou custos) das empresas para com terceiros, constituindo-se em passivos ambientais.

Cabe destacar que, seguindo-se a definição apresentada anteriormente, os custos com a *prevenção, redução ou retificação* dos danos causados pelas áreas contaminadas é que representam um passivo ambiental. Deste modo, pode-se dizer que, por exemplo, os gastos com monitoramento de águas subterrâneas em áreas industriais, visando à identificação prévia e prevenção da contaminação, são um passivo ambiental.

3.1.2. *Valores Orientadores para a Qualidade do Solo e da Água Subterrânea*

A partir da conscientização, do mundo industrializado com os problemas causados pelas áreas contaminadas, na década de 90, em virtude da necessidade de se obter parâmetros comparativos que permitissem definir o grau de poluição de um local, diversos países passaram a desenvolver listas de valores orientadores, i.e., concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a condição de qualidade do solo e da água subterrânea.

A seguir, serão descritas as listas de valores orientadores mais relevantes atualmente, comumente utilizadas como parâmetros comparativos em investigações de solo e água subterrânea no Brasil e no mundo.

3.1.2.1. Lista Holandesa

A Holanda foi pioneira no estabelecimento de valores orientadores, considerando para tal a multifuncionalidade do solo, ou seja, suas funções na agricultura, ecologia, transporte, suprimento de água potável, etc., através da Lei de Proteção do Solo (*Soil Protecting Act*) promulgada em 1987. Em atendimento a essa lei, o Ministério de Planejamento Territorial e Meio Ambiente da Holanda (VROM) publicou em 1994 uma proposta de valores orientadores de solo e água subterrânea, conhecida como “Lista Holandesa”. (CETESB, 1999).

Os valores orientadores da Lista Holandesa são divididos em três categorias:

- ✓ *Target Values* (Valores de Referência): indicam um nível de qualidade do solo e da água subterrânea que permite considerá-los “limpos”, considerando-se a sua utilização para qualquer finalidade;
- ✓ *Intervention Values* (Valores de Intervenção): indicam um nível de qualidade do solo e da água subterrânea acima do qual existem riscos para a saúde humana e para o ambiente. Os valores de intervenção foram determinados pela quantificação dos riscos toxicológicos e ecotoxicológicos advindos da contaminação do solo. A quantificação dos riscos para a saúde humana (riscos toxicológicos) foi feita através de um modelo denominado Csoil, considerando-se nos cálculos as propriedades físicas e químicas dos solos, características dos contaminantes, dados de toxicidade, e estimativas de ingresso desses contaminantes pelas vias de exposição relevantes (cenário de exposição). Os riscos para o ambiente, por sua vez, foram calculados de maneira indireta, e indicam a concentração no solo de determinado contaminante, acima da qual 50% das espécies do ecossistema avaliado foram afetadas de alguma forma. (CETESB, 1999);
- ✓ *Indicative Level of Serious Contamination* (Valor de Alerta): são valores intermediários entre os valores de referência e os de intervenção. Tais valores têm, entretanto, um grau de incerteza maior que os valores de intervenção, de modo que concentrações acima dos mesmos não devem afetar decisões relacionadas à severidade da uma dada contaminação (VROM, 2009).

A última revisão da Lista Holandesa ocorreu em 2009, sendo esta a versão atualmente utilizada.

3.1.2.2. USEPA Regional Screening Levels

Nos Estados Unidos, os primeiros valores orientadores foram publicados em 1993, quando a Agência de Proteção Ambiental Americana - *United States Environmental Agency* (USEPA) apresentou, para 30 substâncias químicas, os “*Soil Screening Levels*” (SSLs). Os SSLs são concentrações baseadas em risco à saúde humana, derivadas de equações padronizadas combinando cenários de exposição genéricos com dados de toxicidade dos contaminantes. Os SSLs não consideram impactos ecológicos.

Em 1996 a USEPA publicou um relatório final com uma lista de SSLs revisada e ampliada para 110 substâncias químicas, chamada de RSL (*Regional Screening Levels*). A partir de 2008, esta lista é revisada ao menos anualmente (USEPA, 2014).

Os *Soil Screening Levels* são utilizados para a identificação de áreas nas quais investigações adicionais fazem-se necessárias, e não devem representar metas finais de remediação (USEPA, 2014).

3.1.2.3. Valores Orientadores para a Qualidade do Solo no Brasil

No Brasil, a primeira lista de valores orientadores para solo e águas subterrâneas foi publicada pela CETESB em 2001, contemplando 37 substâncias. Em 2005 a lista foi atualizada, passando a contemplar 84 substâncias.

A lista da CETESB foi utilizada como referência no país até que, em dezembro de 2009, a CONAMA publicou a Resolução n^o 420, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas pelas substâncias determinadas na resolução.

Três níveis de valores orientadores foram identificados pela Resolução:

- ✓ *Valores de Referência da Qualidade (VRQ)*: concentrações de determinada substância que definem a qualidade natural do solo, sendo determinados com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos. Conforme especificado pela Resolução CONAMA 420, os VRQs do solo para substâncias químicas

naturalmente presentes devem ser estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal.

- ✓ *Valores de Prevenção* (VP): concentrações limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais. Os Valores de Prevenção foram estabelecidos com base em ensaios de fitotoxicidade ou em avaliação de risco ecológico (BRASIL, 2009), sendo utilizados em caráter preventivo. Quando excedidos no solo, poderá ser exigido o monitoramento das águas subterrâneas, identificando-se e controlando-se as fontes de poluição. (SOARES, 2011).
- ✓ *Valores de Investigação* (VI): Valores derivados com base em avaliação de risco à saúde humana, em função de cenários de exposição padronizados para diferentes usos e ocupação do solo (BRASIL, 2009). Indicam, portanto, concentrações, no solo ou na água subterrânea, acima das quais existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. Concentrações acima dos valores de investigação indicam a necessidade de realização de investigação detalhada e avaliação de risco à saúde humana no local, de modo a analisar a necessidade de remediação. (BRASIL, 2009).

3.2. Normalização

Segundo a ABNT (2006), “*normalização é a atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com vistas à obtenção do grau ótimo de ordem, em um dado contexto*”.

Já para DANTAS FILHO (1995), normalização é um “*processo de formulação e aplicação de regras para um tratamento ordenado de uma atividade repetitiva específica, para o benefício e com a cooperação de todos os interessados e em particular para a promoção da economia global, levando na devida conta condições funcionais e requisitos de segurança*”.

Em outras palavras, a normalização consiste no estabelecimento de padrões, regras e requisitos mínimos para produtos, processos e serviços, sendo um dos instrumentos básicos para a organização da produção, assim como para a racionalização dos mercados.

De acordo com IPQ (2009) e UNIDO (2006), os objetivos da normalização são, nomeadamente:

- ✓ *Economia e Simplificação*: a normalização busca proporcionar a redução da crescente variedade de produtos e procedimentos, proporcionando desta forma economia de recursos empregados, e selecionando uma gama adequada às necessidades do mercado.
- ✓ *Compatibilidade*: o desenvolvimento paralelo de processos, produtos ou serviços que necessitam ser utilizados em conjunto impõe um problema se os mesmos não forem compatíveis. Um dos objetivos da normalização é a compatibilidade, isto é, a adequação de processos, produtos ou serviços para serem utilizados conjuntamente, dentro de condições específicas para cumprimento dos requisitos pertinentes, e sem causar interação desnecessária.
- ✓ *Saúde e Segurança de Consumidores e Proteção do Meio-Ambiente*: a segurança de um processo, produto ou serviço é de grande importância se, dentro de algumas circunstâncias, o uso de um dos mesmos possa representar risco à vida humana, à propriedade ou ao meio-ambiente. Deste modo, a identificação de parâmetros de segurança é um dos mais importantes requisitos da normalização.
- ✓ *Proteção ao Consumidor*: visa prover a sociedade de mecanismos eficazes para aferir a qualidade dos produtos.
- ✓ *Remoção de Barreiras Comerciais*: as normas agem na eliminação de barreiras comerciais através da harmonização de requisitos em diferentes países, evitando a existência de regulamentos conflitantes sobre produtos e serviços.
- ✓ *Comunicação*: a normalização tem por objetivo promover meios mais eficientes para a troca de informações entre os fabricantes e os clientes, aumentando desta forma a confiabilidade das relações comerciais e de serviços.

As normas técnicas, resultantes do processo de normalização são documentos de caráter voluntário e com conteúdo técnico obtido por consenso envolvendo o conjunto das partes interessadas. Referem-se em geral à classificação, especificação, método de ensaio, procedimento, padronização, simbologia ou terminologia.

Pela sua natureza, uma norma é documento de aplicação voluntária, que pode tornar-se de cumprimento obrigatório se, por exemplo, for expressa em legislação ou referida em um contrato entre fornecedor e cliente (IPQ, 2009).

A seguir são detalhados os níveis de normalização, dando ênfase, devido ao conteúdo deste trabalho, aos níveis internacional, de associação e empresarial. Ainda, será descrita brevemente a Classificação Internacional de Normas, uma vez que a mesma foi utilizada como base para a pesquisa de normas relevantes para o trabalho.

3.2.1. Níveis de Normalização

A atividade de normalização ocorre em diferentes níveis, de modo a servir a um propósito específico. De acordo com o seu campo de aplicação, as normas podem designar-se como: internacional, nacional, regional, de associação e empresarial (Figura 2).



Figura 2. Diferentes níveis de normalização
(Fonte: CNI, 2002).

A pirâmide parte de uma estrutura mais restritiva em sua base para uma menos restritiva em seu topo. As normas internacionais, no topo da pirâmide, tendem a ser mais genéricas, uma vez que servem de referência para países com diferentes hábitos, costumes e culturas. Na mesma linha, as normas regionais tendem a ser mais genéricas que as normas nacionais, e estas mais genéricas que as normas de associação. As normas de empresa, na base da pirâmide, representam as normas

mais restritivas, uma vez que abrangem somente a área de atuação da organização, e incorporam requisitos específicos das mesmas.

Entretanto, como afirma a CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS (2002) existe a necessidade de atuação harmônica e integrada entre os níveis, uma vez que os objetivos da normalização são comuns a todos. Uma empresa de abrangência internacional, por exemplo, deve possuir ou se basear em normas que atendam os requisitos mínimos estabelecidos pelas normas internacionais.

3.2.1.1. Normalização Internacional

As normas internacionais são estabelecidas por um Organismo Internacional de Normalização (OIN) para aplicação em escala mundial. Dentre os OIN, destaca-se a *International Standardization Organization* (ISO).

A ISO é uma organização não governamental formada por organismos nacionais de normalização de 164 países, contando com um representante por país, e com o seu secretariado central situado em Genebra, Suíça (ISO, 2013). A ISO abrange no seu domínio toda a atividade econômica, com exceção da eletrotécnica e telecomunicações (IPQ, 2009).

A ISO foi fundada em 1947, em função de decisão tomada na Conferência de Organizações Nacionais de Normalização ocorrida em Londres em 1946, a qual contou com a participação de 25 países, dentre eles o Brasil (CNI, 2002). O nome ISO deriva da palavra grega *isos*, que significa “igual”. Portanto, qualquer que seja o país, seja qual for o idioma, a abreviatura para o nome da organização é sempre ISO.

As normas ISO são desenvolvidas nos seus 3.000 Comitês Técnicos (ISO/TC), organizados em bases temáticas, por cerca de 100.000 especialistas de indústrias e comércio, órgãos governamentais, institutos acadêmicos e de pesquisa, consumidores, organismos de normalização e organizações não governamentais (ISO, 2013). A aprovação das normas é feita mediante votações entre os seus membros.

Dentre os Comitês Técnicos da ISO, existe o comitê de Qualidade da Água (ISO/TC 146), com 279 normas publicadas (dados de 2014), e o comitê de Qualidade do Solo (ISO/TC 190), com 149 normas publicadas (dados de 2014).

A participação brasileira nos trabalhos de normalização da ISO é efetuada pela ABNT. A adoção de uma norma ISO como Norma Brasileira recebe a designação NBR ISO.

3.2.1.2. Normalização Regional

Organização regional de normalização é aquele que congrega organismos nacionais de normalização reconhecidos por cada país situado numa mesma área geográfica, política ou econômica.

Dentre os organismos de normalização regional existentes, destacam-se o *Comité Européen de Normalisation* (CEN), a Comissão Pan-americana de Normas Técnicas (COPANT) e a Associação Mercosul de Normalização (AMN), sendo os dois últimos organismos aos quais o Brasil é associado, através da ABNT.

3.2.1.3. Normalização Nacional

Normas nacionais são normas técnicas estabelecidas por um Organismo Nacional de Normalização (ONN) para aplicação em um dado país.

Normalmente, existe um Organismo Nacional de Normalização por país, sendo ele indicado para ser membro das correspondentes organizações internacional e regional de normalização (IPQ, 2009). No caso do Brasil, o único ONM é a ABNT, a qual representa os interesses nacionais na ANM, na COPANT e na ISO.

As normas brasileiras (NBR) são desenvolvidas em Comissões de Estudo (ABNT/CE). A participação nas comissões de estudo é aberta a qualquer interessado, independente de ser associado a ABNT (CNI, 2002).

Faz parte das Comissões de Estudo da ABNT, a comissão de “Avaliação da Qualidade do Solo e Água para Levantamento de Passivo Ambiental e Análise de Risco à Saúde Humana” (ABNT/CEE-068), com 12 normas publicadas (dados de 2014).

3.2.1.4. Normalização de Associação

As normas de associação (ou indústria) são normas desenvolvidas no âmbito de entidades associativas e técnicas para o uso de seus associados, apresentando procedimentos altamente especializados (CNI, 2002).

A normalização de nível industrial serve para integrar as normas empresariais e unificá-las no interesse da indústria como um todo. Do mesmo modo, serve para a formação de base para a integração em nível nacional.

Em países desenvolvidos, como nos Estados Unidos, a padronização de nível industrial é altamente desenvolvida. Como exemplo de organismos americanos de normalização de associação, podem ser citados o *American Petroleum Institute* (API), a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), e a *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Tais organismos tem um papel essencial para a normalização no país, uma vez que a normalização de nível nacional é muito limitada no mesmo (UNIDO, 2006).

Dentre os organismos de normalização de associação destaca-se a ASTM, organismo de normalização reconhecido mundialmente como um dos líderes do mercado, com mais de 12.000 normas publicadas. A organização conta com mais de 30.000 especialistas, em mais de 150 países (ASTM, 2014).

A ASTM foi fundada em 1898 por um grupo de cientistas e engenheiros, desenvolvendo normas para o aço utilizado em ferrovias. (ASTM, 1998). Hoje o organismo desenvolve normas para mais de 100 diversos setores, de materiais de construção e avaliações de risco ambiental, a equipamentos médicos e produtos de petróleo (ASTM, 2014).

O organismo é também dividido em comitês e subcomitês técnicos, responsáveis pela elaboração das normas. Atualmente, existem 143 comitês técnicos (dados de 2014), dentre eles o comitê de Gestão de Resíduos (ASTM D34), o qual inclui em seu escopo normas para Monitoramento de Água Subterrânea, através, dentre outros, dos subcomitês de “Planejamento para Amostragem” (D34.01.01) e Técnicas de Amostragem (D34.01.02).

O comitê ASTM D34 mantém intensa ligação com a Agência de Proteção Ambiental Americana, USEPA, como resultado de um acordo de cooperação para o desenvolvimento de normas na área (ASTM, 2014).

3.2.1.5. Normalização Empresarial

As empresas procuram desenvolver sistemas de normalização próprios, uma vez que as normas internacionais ou nacionais abrangem um largo campo de conhecimento. Sua linguagem geralmente é inadequada para o operário da produção. Além disso, às vezes há áreas da empresa que não são cobertas por normas internacionais ou nacionais.

Dentre as normas empresariais, estão os Padrões de Gestão da Qualidade, que estabelecem a padronização do trabalho na

organização, e compõem os chamados Sistemas de Padronização das empresas. Seu objetivo é reduzir a variabilidade nos processos através de sua documentação e de treinamentos na melhor maneira de realizá-los (*LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2014*).

Além da redução na variabilidade dos processos, os benefícios do trabalho padronizado numa organização incluem maior facilidade no treinamento de novos funcionários, formação de uma base para o desenvolvimento de melhorias, e promoção de disciplina na execução como cultura empresarial (*LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2014*). Ainda, a padronização propicia suporte em auditorias, facilita o atendimento a requisitos legais, e contribui para a retenção na empresa do conhecimento gerado com a prática e experiência de seus colaboradores.

A padronização é, assim, o principal instrumento de sistemas de gestão da qualidade, fazendo parte das três ações gerenciais que os compõem (CAMPOS, 1998), conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1. Filosofia do Gerenciamento pelo Controle da Qualidade.
(Fonte: CAMPOS, 1998).

Ação Gerencial de Controle da Qualidade	Conteúdo da Ação Gerencial
Planejamento da Qualidade	Definir novos padrões para atingir as metas de qualidade.
Manutenção da Qualidade	Cumprir os padrões estabelecidos para o processo, verificando os resultados e atuando no processo para corrigir os desvios (anomalias).
Melhoria da Qualidade	Alterar os padrões estabelecidos no planejamento da qualidade para atingir novas metas de qualidade.

Um procedimento padrão geralmente inclui três grupos de informações (CAMPOS, 1998):

- 1) Os objetivos do trabalho que está sendo realizado;
- 2) Os cuidados que asseguram a qualidade do trabalho e a segurança dos que o executam;
- 3) A maneira de executar o trabalho.

3.2.2. *Classificação Internacional de Normas*

A Classificação Internacional de Normas – CIN (em inglês: *International Classification for Standards - ICS*) é um documento original da ISO, traduzido e adaptado pela ABNT em julho de 2010. A CIN se destina a ser utilizado como uma estrutura para catálogos de normas e outros documentos normativos, e como uma base para sistemas regulares de normas nacionais, regionais e internacionais (ISO, 2005).

Na definição encontrada na ABNT ISO IEC Guia 59, 1994, a CIN provê, por meio do uso de códigos numéricos, a facilidade de comunicação, independentemente do idioma, entre usuários de normas e aqueles que as desenvolvem por todo o mundo.

A CIN se baseia em uma classificação hierárquica que consiste em três níveis. O primeiro nível cobre 40 áreas de atividade em matéria de normalização, que são subdivididos em 392 grupos (nível 2). Destes, 144 são subdivididos ainda em 909 subgrupos (nível 3). Há notações para os grupos e subgrupos, que identificam os assuntos das normas. Por exemplo:

- 13 - Meio Ambiente. Proteção da Saúde. Segurança.
- 13.060 - Qualidade da Água.
- 13 060 50 - Análise da água relativa a substâncias químicas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização do Local de Estudo

O presente procedimento foi desenvolvido para uma empresa multinacional do setor produtivo, com plantas fabris em diferentes países na América, Ásia e Europa.

O procedimento foi desenvolvido pelo departamento corporativo de EHS (*Environment, Health and Safety*) da empresa, responsável pela coordenação de ações globais e por dar suporte aos times locais de EHS em questões ligadas a Meio-Ambiente, Saúde e Segurança.

O departamento corporativo de EHS é responsável, entre outros, pela elaboração de procedimentos globais, a serem utilizados por todas as plantas fabris da empresa. Os procedimentos globais são elaborados em inglês, e podem ser traduzidos e adaptados às características da

planta local. As adaptações locais devem obedecer minimamente aos critérios estabelecidos no padrão global.

Assim, o padrão desenvolvido foi um padrão global, o qual será repassado às cinco plantas locais para eventual tradução e adaptações.

4.1.1. Estrutura de Padronização da Empresa

A empresa em questão possui implantado um sistema de padronização estruturado, conforme apresentado na Figura 3.

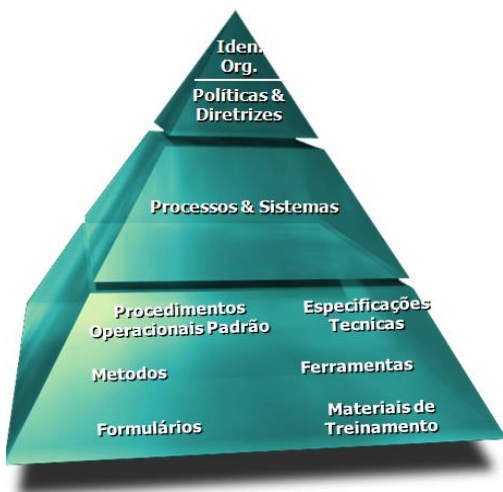


Figura 3. Estrutura de Padronização da empresa

(Fonte: Arquivos empresa).

O primeiro nível, no topo da pirâmide, representa os Padrões Estratégicos (Identidade Organizacional e Políticas & Diretrizes), quem têm o propósito de formalizar a identidade organizacional e as regras aplicáveis à empresa. O segundo nível, no meio da pirâmide, representa os Padrões Táticos (Processos & Sistemas), que têm o propósito de definir o que é feito e quem o faz, e quais são os entregáveis e as interfaces de cada área da empresa. Já o terceiro nível, na base da pirâmide, representa os Padrões Operacionais, que têm o propósito de detalhar como as atividades devem ser executadas.

Os Padrões Operacionais são divididos em 06 categorias:

- ✓ *Procedimentos Operacionais Padrão*: Grupo de padrões operacionais (manufatura ou administrativos) que definem regras e orientações indicando “como” o trabalho deve ser executado. São as últimas subdivisões de uma atividade, e as tarefas nele descritas são executadas por uma pessoa de cada vez.
- ✓ *Métodos*: Padrões especificando a maneira de executar uma sequência lógica de atividades ou tarefas para alcançar, manter e melhorar resultados.
- ✓ *Formulários (Templates)*: Documento modelo pré-formatado, utilizado para a criação de um novo padrão ou, quando apropriado, geração de um registro.
- ✓ *Especificações Técnicas*: Grupo de padrões que estabelecem as características técnicas (requisitos necessários) para materiais, produtos e processos.
- ✓ *Ferramentas*: Técnicas para a execução de uma atividade/tarefa ou método específico.
- ✓ *Materiais de Treinamento*: Documentos criados com o objetivo de fortalecer a compreensão de determinado padrão, e prover treinamento sobre a maneira de utilização do mesmo.

O procedimento elaborado é uma Especificação Técnica, um padrão de terceiro nível, i.e., operacional.

4.2. Método de Pesquisa

A metodologia de pesquisa aplicada neste trabalho foi a pesquisa exploratória, e os procedimentos técnicos utilizados para a realização da pesquisa foram a pesquisa bibliográfica e a pesquisa documental. Foram consultadas normas técnicas, legislações e procedimentos relevantes para o monitoramento de água subterrânea, incluindo campos como: investigações geofísicas, sondagens, instalação e desenvolvimento de poços, amostragem e análise de água subterrânea. Além disso, foram consultados documentos privados, fornecidos para obtenção de informações específicas sobre a área de interesse.

Por se tratar de um procedimento global, foram pesquisadas referências com influência internacional. A pesquisa foi feita basicamente nos organismos de padronização ISO e ASTM, e na USEPA.

4.2.1. Pesquisa de Normas

A pesquisa das normas foi feita através dos próprios sites das organizações, e através do *website* www.standardscatalog.com, o qual reúne no seu catálogo normas da ISO e da ABNT. Utilizou-se como critério de pesquisa a Classificação Internacional de Normas. As Figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, as telas de pesquisa utilizadas nos sites da ISO e no *website* do “Standards Catalog”.

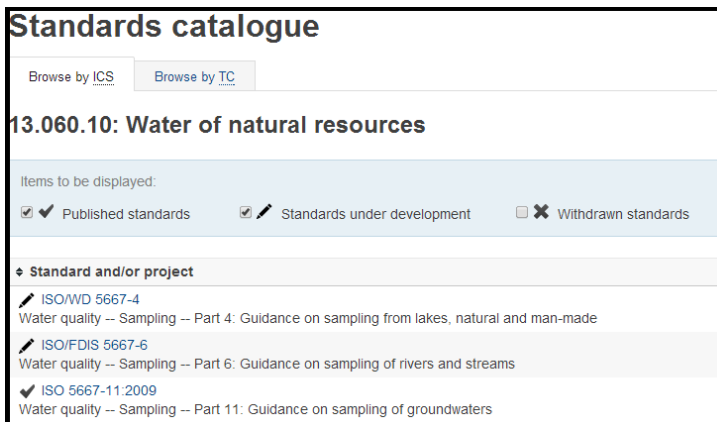


Figura 4. Tela de pesquisa de normas no *website* da International Standard Organization

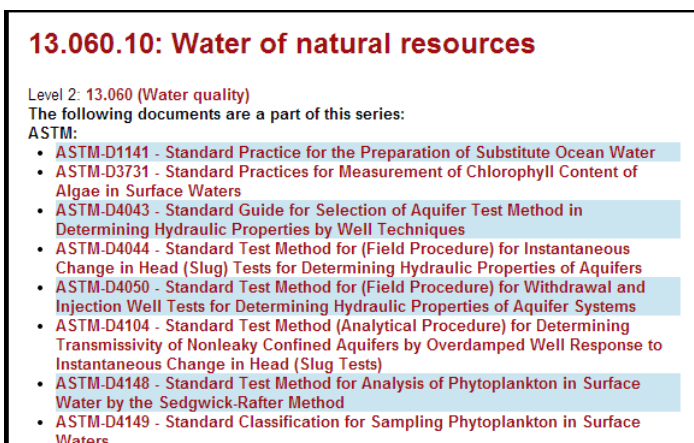


Figura 5. Tela de pesquisa de normas no *website* Standards Catalog

Os seguintes códigos foram utilizados para a pesquisa: 13.060.10 – Água de Fontes Naturais e 13.060.50 – Determinação de Substâncias Químicas na Água. Além das normas presentes nestas categorias, algumas outras normas foram pesquisadas através do assunto específico.

Dentre as normas pesquisadas, algumas foram utilizadas como referência para elaboração de trechos do procedimento e outras foram simplesmente citadas como normas a serem utilizadas na íntegra. Ao todo, as seguintes normas foram utilizadas:

- ✓ ASTM D6286 – *Standard guide for selection of drilling methods for environmental site characterization.*
- ✓ ASTM D6169 – *Standard guide for selection of soil and rock sampling devices used with drill rigs for environmental investigations.*
- ✓ ASTM D5092 – *Standard practice for the design and installation of groundwater monitoring wells.*
- ✓ ASTM D5521 – *Guide for development of ground water monitoring wells in granular aquifers.*
- ✓ ASTM D6452 – *Standard guide for purging methods for wells used for ground water quality investigations.*
- ✓ ASTM D4448 – *Standard guide for sampling ground-water monitoring wells.*
- ✓ ASTM D5978 – *Standard guide for maintenance and rehabilitation of ground water monitoring wells.*
- ✓ ISO 5667-11 – *Guidance on sampling of ground waters.*
- ✓ Normas ISO 13.060.10 – Determinação de substâncias químicas na água.

Utilizou-se em maior quantidade as normas ASTM em função da maior variedade e especificidade encontrada nas mesmas para o tema em questão.

4.2.2. Pesquisa de Manuais, Guias e Procedimentos

Além das normas ISO e ASTM, foram pesquisados manuais, guias e procedimentos relevantes, de outras entidades.

A pesquisa foi feita inicialmente através do *International Groundwater Resources Assessment Centre* (IGRAC). Esta organização, fundada em 1999 com o objetivo de promover mundialmente a troca de conhecimento no campo de águas

subterrâneas, publicou em 2003 um documento intitulado *Inventory of existing guidelines and protocols for groundwater assessment and monitoring*, no qual fez uma compilação dos documentos relacionados ao tema publicados até então.

A partir da pesquisa no inventário do IGRAC foram identificados diversos documentos relevantes, principalmente da USEPA.

Os Estados Unidos foram um dos países pioneiros no desenvolvimento de políticas relacionadas a áreas contaminadas (SOARES, 2011), o que impulsionou o desenvolvimento de extensas e completas publicações sobre o tema. Após a pesquisa no Inventário, passou-se então à pesquisa individual, diretamente em *websites* da USEPA. As seguintes referências foram utilizadas para elaboração do procedimento:

- ✓ *Ground Water Technical Enforcement Guidance Document: RCRA, USEPA, 1986.*
- ✓ *Ground-Water Monitoring: Draft Technical Guidance: RCRA, USEPA 1992.*
- ✓ *Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Wells: USEPA, 1991.*
- ✓ *Waste Management Area (WMA) and Supplemental Well (SPW) Guidance: USEPA, 1993.*
- ✓ *Technical Guidance Manual for Ground water Investigations. Chapter 3, Ground water sampling: OHIO EPA, 2012.*
- ✓ *Operating Procedure on Groundwater Sampling: SESD, USEPA Region 4, 2013.*

5. RESULTADOS

A partir da compilação de dados de normas e outros documentos relevantes, foi elaborado um procedimento para monitoramento da qualidade da água subterrânea, a ser incorporado pelo sistema de padronização da empresa em questão.

O Procedimento foi dividido em quatro capítulos:

- ✓ Realização de Investigações de Caracterização Inicial do Solo e Água Subterrânea;
- ✓ Realização de Campanhas de Monitoramento da Qualidade da Água Subterrânea;
- ✓ Elaboração de Relatórios de Investigação;

- ✓ Manutenção dos Poços de Monitoramento.

5.1. Procedimento para Realização de Investigações de Caracterização Inicial do Solo e Água Subterrânea

Investigações conduzidas com o propósito de gerar dados para a instalação de poços de monitoramento, aqui chamadas de “Caracterização Inicial do Solo e da Água Subterrânea”, podem variar muito de acordo com a disponibilidade de dados confiáveis. O procedimento padrão consiste em reunir dados factuais, a partir de investigação preliminar e investigação de campo, desenvolver um modelo conceitual do local, e então localizar os poços de monitoramento com base no mesmo. Poços de monitoramento devem ser instalados somente quando houver entendimento suficiente das condições geológicas, hidrológicas e geoquímicas do local.

Esta seção apresenta orientações e requisitos básicos para a execução das Investigações de Caracterização Inicial de Solo e Água Subterrânea.

As Investigações devem ser executadas por empresas de Consultoria especializadas, ficando a contratação das mesmas a cargo de cada planta local.

5.1.1. Investigação Preliminar

De maneira a formular um modelo conceitual inicial do local e prover uma base para o planejamento da investigação de campo, é fundamental fazer uma pesquisa abrangente das informações disponíveis sobre o local. As seguintes informações devem ser coletadas:

- ✓ Descrição dos arredores: informações sobre a ocupação do solo nos arredores do local (e.g. fábricas, residências, etc.);
- ✓ Descrição das atividades antigas e atuais desenvolvidas no local da investigação;
- ✓ Potenciais contaminantes presentes no local;
- ✓ Características da geologia e hidrogeologia local.

5.1.2. Investigação de Campo

O objetivo da investigação de campo é refinar o modelo conceitual inicial do local, de modo que as zonas de monitoramento

alvo sejam identificadas anteriormente a instalação dos poços de monitoramento.

Todas as investigações de campo devem incluir métodos de investigação direta, como sondagens, medições de nível d'água e análise granulométrica de amostras de solo. Métodos indiretos, como estudos geofísicos, podem ser utilizados para planejar e detalhar os métodos de investigação direta, mas não devem ser utilizados como um substituto para os mesmos.

Um programa de sondagens deve ser planejado da seguinte maneira:

- ✓ O número inicial de sondagens e seu espaçamento devem ser baseados em informações obtidas durante a investigação preliminar, como a hidrogeologia local, fluxo da água subterrânea e fontes potenciais de contaminação (e.g. tanques subterrâneos);
- ✓ Sondagens adicionais devem ser executadas se necessário para prover mais informações sobre o local e refinar o modelo conceitual;
- ✓ Toda sondagem em que não será instalado um poço de monitoramento deve ser propriamente fechada.

A seleção dos métodos para a execução das sondagens depende das características específicas de cada local. Para orientação neste tema, é sugerida a norma “ASTM D6286 – 12 - *Standard Guide for Selection of Drilling Methods for Environmental Site Characterization*”. Os métodos utilizados devem ser descritos no Relatório da Investigação.

Sempre que possível, é aconselhável utilizar procedimentos de perfuração que não requeiram a introdução de águas ou outros fluidos de perfuração no furo de sondagem. Quando a utilização de água ou outros fluidos for inevitável, o fluido selecionado deve ter o menor impacto possível sobre os constituintes de interesse na água subterrânea. A química do fluido de interesse deve ser avaliada para determinar o potencial de alteração da qualidade da amostra de água subterrânea.

Perfis e anotações de campo devem ser preparados para cada sondagem executada, detalhando, no mínimo, as seguintes informações:

- ✓ A litologia ou pedologia (i.e. classificação geológico ou do solo) de cada unidade geológica e horizontes do solo na zona

saturada e não saturada. O sistema de classificação utilizado deve ser um sistema descrito em literatura, e deve ser mencionado no Relatório da Investigação.

- ✓ Nível d'água;
- ✓ Profundidade da sondagem e razão para finalização da mesma;
- ✓ Profundidade e identificação de evidências de contaminação (e.g. odor, manchas) encontradas nas sondagens.
- ✓ Identificação visual do teor de umidade (saturado, úmido, seco), grau de intemperismo, cor e presença de manchas (e.g. presença de Fe_2O_3);

A Tabela 2 apresenta os critérios gerais para a identificação visual do teor de umidade, conforme a norma ASTM D2488-09a (*Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)*).

Tabela 2. Critérios para Identificação visual do teor de umidade

(Fonte: ASTM D488-09a)

DESCRIÇÃO	CRITÉRIOS
Seco	Ausência de umidade, seco ao toque.
Úmido	Úmido, sem água visível.
Saturado	Água livre, geralmente solo abaixo do nível freático.

Durante a execução das sondagens, amostras de solo devem ser coletadas para análise, sendo que existem diversos dispositivos para esta finalidade. A seleção do dispositivo de amostragem deve ser baseada nas características da geologia local, no método de perfuração utilizado e nos objetivos da investigação.

Para orientação sobre a seleção de dispositivos de amostragem, quando as sondagens forem perfuradas através de trados mecânicos, sugere-se a norma “ASTM Guide D6169 – 98(2005): *Standard Guide for Selection of Soil and Rock Sampling Devices Used With Drill Rigs for Environmental Investigations*”.

O dispositivo de amostragem utilizado deve ser descrito no Relatório da Investigação.

5.1.2.1. Análises de Solo

Análises de campo e de laboratório devem ser realizadas para cada unidade geológica e horizonte do solo significativo.

Os parâmetros Teor de Umidade e Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) devem ser analisados em todas as perfurações de sondagem. Nas perfurações em que será instalado um poço de monitoramento, deverão ser analisados também: Distribuição Granulométrica, Condutividade Hidráulica, Densidade e Porosidade Total. Todos os métodos e dispositivos utilizados para as análises devem ser descritos no Relatório da Investigação.

A seguir são apresentadas especificações para cada parâmetro a ser analisado.

- ✓ *Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)*: o solo deve ser avaliado quanto à presença de COVs utilizando-se um sensor PID (detector de fotoionização) ou FID (detector de ionização de chama). As medições devem preferencialmente ser feitas a cada 0,5 m de profundidade.
- ✓ *Teor de umidade*: análises laboratoriais e de campo existem para a determinação do teor de umidade, devendo ser avaliado qual o método mais apropriado em cada caso específico.
- ✓ *Distribuição Granulométrica*: a distribuição granulométrica pode ser determinada em laboratório com o uso de peneiras, ou em campo através de um densímetro.
- ✓ *Condutividade Hidráulica*: a condutividade hidráulica do solo pode ser determinada em laboratório ou em campo, através de ensaios de permeabilidade (*bail/slug tests*). Em geral, é preferível que a determinação seja feita em campo, uma vez que esta representa a condição *in situ* do solo.
- ✓ *Densidade Real e Aparente*: a determinação da densidade real e aparente deve ser feita em laboratório, utilizando-se uma amostra de solo indeformada.
- ✓ *Porosidade Total e Porosidade Efetiva*: a porosidade total pode ser medida em laboratório, para o que existem diversas técnicas. A porosidade total também pode ser estimada através da densidade real e aparente, utilizando-se a fórmula abaixo:

Porosidade Total

$$= 1 - \left(\frac{\text{densidade aparente}}{\text{densidade real}} \right)$$

A porosidade efetiva, por sua vez, é de difícil medição, sendo geralmente estimada com base na descrição e classificação do solo, e na porosidade total.

5.1.3. *Locação dos Poços de Monitoramento*

A instalação de uma rede adequada de poços de monitoramento é geralmente um processo iterativo. A rede de poços deve ser continuamente avaliada conforme as características do local fiquem mais bem definidas.

Na Investigação de Caracterização Inicial do Solo e Água Subterrânea, os poços serão instalados de acordo com as informações reunidas nas Investigações Preliminares e de Campo.

Em alguns casos, a fábrica deve ser monitorada como unidades múltiplas enquanto que em outros casos a fábrica pode ser monitorada em sua totalidade como uma unidade individual. Esta decisão deve ser baseada em cinco fatores: produtos químicos manuseados; hidrogeologia local; histórico da fábrica; número, espaçamento e orientação das unidades da fábrica (uma unidade pode ser um prédio onde determinados produtos químicos sejam manuseados); e o projeto de engenharia das unidades. O Guia “*Waste Management Area and Supplemental Well Guidance*” (USEPA,1993) apresenta orientações sobre este tópico.

Para a locação dos poços, devem ser levadas em consideração as fontes potenciais de contaminação, os receptores potenciais, e o espaçamento necessário entre os poços. No mínimo, um poço a montante (*background*) e dois poços a jusante devem ser instalados.

5.1.4. *Instalação e Desenvolvimento dos Poços de Monitoramento*

Os poços de monitoramento devem ser instalados de acordo com as orientações apresentadas na norma *ASTM D5092-04(2010): Standard Practice for the Installation of Groundwater Monitoring Wells*. Os poços devem ser construídos de maneira a prevenir riscos ou danos à água subterrânea.

Os poços de monitoramento devem, sempre que possível, ser construídos com extensão acima do nível do solo. Exceções são permitidas quando os poços forem instalados em área de tráfego de veículos, para o que podem ser utilizadas câmaras de calçada. Em áreas onde há ocorrência de neve, atenção especial deve ser dada à extensão do poço acima do nível do solo, de modo a prevenir que o mesmo seja eventualmente coberto.

Todos os poços devem possuir um tampão de fechamento com um cadeado, para prevenir acesso não autorizado, e devem ser identificados.



Figura 6. Exemplos de poços cadeados e identificados.

Uma etapa importante do processo de instalação de poços de monitoramento é o seu desenvolvimento, que consiste prioritariamente na remoção da água do interior do tubo-filtro, de modo que sejam restabelecidas as condições naturais do meio aquífero que sofreu interferências devido às operações de perfuração (ABNT, 2008). Para sua execução, devem ser seguidas as orientações apresentadas na norma *ASTM D5521 - 05 – Guide for Development of Ground Water Monitoring Wells in Granular Aquifers*.

5.2. Procedimento para Realização de Campanhas de Monitoramento da Qualidade da Água Subterrânea

O monitoramento da água subterrânea nas áreas industriais deve ocorrer minimamente uma vez por ano, cobrindo a análise de todos os parâmetros relacionados aos produtos químicos utilizados no local e com potencial de vazamento para o meio-ambiente.

As campanhas de monitoramento devem ser executadas por empresas de Consultoria especializadas, ficando a contratação das mesmas a cargo de cada planta local.

5.2.1. *Planejamento da Campanha de Monitoramento*

Recomenda-se que a Consultoria estabeleça um Plano de Trabalho, ou Plano de Amostragem e Análise, que deve definir os objetivos e o escopo da investigação. Tal plano deve prover detalhes suficientes para que os funcionários de campo possam operar os equipamentos e executar os procedimentos necessários de maneira a garantir a obtenção de dados representativos. Os seguintes componentes, no mínimo, devem ser endereçados:

- ✓ Objetivos do Monitoramento
- ✓ Condições de campo e inspeção dos poços de monitoramento;
- ✓ Medição de nível d'água e profundidade do poço, e detecção de fases imiscíveis;
- ✓ Purga do Poço, incluindo métodos, equipamentos e disposição da água purgada;
- ✓ Análises de campo, incluindo: parâmetros físico-químicos, calibração dos equipamentos, e descrição dos métodos de análise;
- ✓ Amostragem de água subterrânea, incluindo: métodos, equipamentos e ordem de coleta das amostras;
- ✓ Preservação e manuseio das amostras, incluindo: métodos de manuseio, preservação, e transporte;
- ✓ Análises da água subterrânea coletada, incluindo: laboratórios, métodos analíticos, e limites de detecção;
- ✓ Documentação, incluindo: relatórios de campo/fichas de amostragem e cadeias de custódia.
- ✓ Procedimentos de Controle e Garantia da Qualidade;
- ✓ Especificações de Saúde e Segurança.

5.2.2. *Objetivos do Monitoramento*

Os objetivos exatos da investigação devem ser claramente definidos, e todas as partes interessadas devem estar de acordo com os mesmos. Os objetivos devem ser claramente expressos em escrito (no Plano de Trabalho e no Relatório da Investigação), de modo a orientar a realização da investigação.

5.2.3. *Condições Locais e Inspeção dos Poços de Monitoramento*

Quando da coleta de água subterrânea, condições climáticas e do local que podem vir a afetar a representatividade das amostras devem ser documentadas. Dentre estas, podem ser citadas: temperatura ambiente, precipitação, condições do vento, escavações ou construções nas proximidades dos poços, derramamentos de produtos químicos, etc.

Em relação às condições dos poços de monitoramento, devem ser inspecionados: o revestimento protetor e a tampa de fechamento, o tampão (*cap*) de proteção interno (ver Anexo I), e o cadeado. Observações devem ser anotadas para documentar se ocorreram danos ou violações aos poços.

5.2.4. *Medições Iniciais nos Poços*

Algumas medições devem ser feitas antes do início da purga e coleta de água subterrânea. Estas incluem medições de nível d'água (medida do nível estático) e profundidade do poço, e dependendo da suspeita de contaminação, detecção de fases imiscíveis (*Non-Aqueous Phase Liquids - NAPL*).

5.2.4.1. *Aferição de nível d'água*

Anteriormente a cada amostragem, o nível d'água (nível estático) deve ser medido em todos os poços. O equipamento utilizado para as medições e a sua precisão, que não deve exceder 0,3 cm, devem ser mencionados no Relatório da Investigação.

Todos os poços devem possuir pontos de referência para determinação do nível d'água, cujos dados topográficos sejam conhecidos e documentados. Este ponto de referência pode ser um ponto marcado dentro do tubo de revestimento ou a própria boca do poço.

Alguns critérios devem ser observados quando da medição de nível d'água:

- ✓ Logo após a construção ou desenvolvimento do poço, deve-se permitir a recuperação do nível de água no mesmo. O tempo de recuperação deve ser de, no mínimo, 24 horas, ou maior em aquíferos com baixa recarga.

- ✓ Medições devem ser tomadas de todos os poços de monitoramento antes de qualquer coleta, e dentro de um período de tempo curto o suficiente para evitar variações temporais do fluxo de água subterrânea, não excedendo 24 horas.

5.2.4.2. Profundidade do poço

A medição da profundidade do poço fornece uma indicação da quantidade de assoreamento ocorrida. O assoreamento é capaz de bloquear a entrada de água no poço, podendo ocasionar medições erradas de nível d'água e interferir nos resultados analíticos, devido a um aumento da turbidez.

A profundidade do poço deve ser medida no mínimo uma vez por ano, podendo-se utilizar um medidor de nível d'água, composto de materiais inertes e descontaminado antes do uso em cada poço.

5.2.4.3. Detecção e Amostragem de Fase Livre

Caso se suspeite da presença de contaminantes imiscíveis (*Light Non-Aqueous Phase Liquids - LNAPLs* e *Dense Non-Aqueous Phase Liquids - DNAPLs*), o Plano de Trabalho deve incluir a descrição de equipamentos e protocolos para a detecção e amostragem dos mesmos. As normas ISO 5667-11 e ASTM D448-01 apresentam instruções para tais procedimentos.

Quando da abertura de poços que potencialmente contenham *LNAPLs* e/ou *DNAPLs*, o ar ao redor da boca do poço deve ser monitorado para determinar o potencial de explosão e outros potenciais efeitos adversos aos trabalhadores.

5.2.5. Purga e Amostragem

A seleção de métodos e equipamentos a serem utilizados para a purga (remoção de água existente no poço) e a amostragem de água subterrânea deve ser baseada nas características do local. Hidrogeologia, geoquímica, tipos de contaminantes e perfil do poço podem afetar o desempenho dos equipamentos. O conjunto ideal deve empregar material inerte, não submeter as amostras a pressões negativas ou altas pressões positivas, e minimizar a exposição das mesmas ao ar atmosférico.

Os seguintes equipamentos são recomendados: Amostradores Descartáveis (*Bailers*), Bombas Submersíveis Pneumáticas (*Bladder Pumps*); Bombas Submersíveis Elétricas (*Electric Submersible Pumps*), e Bombas Peristálticas e Centrífugas (*Suction Lift Pumps*). Para mais detalhes sobre equipamentos disponíveis, devem ser consultadas as normas ISO 5667-11, e/ou ASTM D4448 e ASTM D6452. Equipamentos não mencionados nestas normas podem ser utilizados somente se houver sido demonstrado, através de estudos científicos, que são capazes de coletar amostras representativas.

Para auxiliar na escolha do método de purga, devem ser consultados, se disponíveis, notas de campo de purgas/amostragens anteriores, assim como relatórios/notas de campo da construção e desenvolvimento(s) do poço. Seja qual for a técnica de amostragem escolhida, deve-se utilizar uma taxa de bombeamento que minimize o rebaixamento do nível d'água no poço, sendo o que o mesmo nunca deve ser purgado até completo esgotamento.

A purga e a amostragem podem geralmente ser realizadas através dos métodos de volume determinado e baixa vazão, sendo preferível o método de baixa vazão. Este método tem as vantagens de diminuir o volume de água purgada, reduzir a volatilização, manter a integridade do pré-filtro e minimizar distúrbios na coluna d'água e arredores do poço, reduzindo assim a turbidez. Se ambos os métodos não forem possíveis, outros métodos devem ser considerados. Para mais detalhes em métodos de purga e coleta, devem ser consultadas as normas ISO 5667-11, e/ou ASTM D4448 e ASTM D6452.

Os métodos e equipamentos utilizados devem ser descritos no Relatório da Investigação.

Algumas instruções para a realização da purga e amostragem pelos métodos de volume determinado e de baixa vazão são apresentadas a seguir.

- ✓ Quando não for utilizado equipamento dedicado, a amostragem deve prosseguir dos poços possivelmente menos contaminados para aqueles possivelmente mais contaminados, de forma a minimizar a possibilidade de ocorrer contaminação cruzada.
- ✓ Para calcular o volume de água a ser purgado (método de volume determinado) ou o rebaixamento do nível d'água (método de baixa vazão), o nível d'água no poço deve ser medido antes do início da purga (Item 5.2.3).
- ✓ Quando da utilização do método de baixa vazão, o nível d'água no poço sendo amostrado deve ser continuamente monitorado,

utilizando-se um medidor de nível de água eletrônico. Ao iniciar a purga, a bomba deve ser ligada a aproximadamente 100L/min e gradualmente ajustada até que a taxa de bombeamento se iguale à taxa de recarga do aquífero (quando o rebaixamento estabilizar). Os parâmetros indicadores condutividade específica, pH e oxigênio dissolvido devem ser monitorados e a purga deve continuar até que a variação nos mesmos se torne estável. Outros parâmetros, como turbidez, temperatura e potencial de óxido-redução podem também ser monitorados.

Os parâmetros indicadores devem ser medidos no mínimo a cada três minutos utilizando-se uma célula de fluxo contínuo. A estabilização é alcançada quando pelo menos três medidas consecutivas se mantenham constantes, de acordo com a variância definida na Tabela 03. As medições devem apresentadas no Relatório da Investigação.

Tabela 3. Critério de estabilização para os parâmetros indicadores

Parâmetro	Critério de Estabilização
pH	± 0.1 unidade
Condutividade Elétrica (CE)	$\pm 3\%$
Potencial de Óxido-Redução	± 10 millivolts
Turbidez	Menor ou igual a 10 UTNs, ou $\pm 10\%$ se a turbidez for maior que 10 UTNs
Oxigênio Dissolvido	$\pm 10\%$ ou ± 0.2 mg/L, o que for maior
Temperatura	± 0.2 ° Celsius

Em geral, uma amostra deve ser considerada significativa somente quando ambos os parâmetros indicadores e o rebaixamento tenham estabilizado.

Entretanto, deve-se tomar cuidado ao utilizar esta técnica em aquíferos com baixa recarga, uma vez que pode acontecer de o poço ser completamente esgotado antes de os parâmetros estabilizarem. Nestes casos especiais, os critérios de estabilização podem ser reavaliados, ou mesmo a efetividade da purga ser avaliada com base exclusivamente nas medições de rebaixamento. Pode também ser recomendável avaliar a necessidade de utilizar outras técnicas de amostragem que não dependam de, ou utilizem mínima purga, como as técnicas de amostragem passiva, e purga mínima.

- ✓ Quando da utilização da purga de volume determinado, o volume a ser purgado deve variar de acordo com as condições hidrogeológicas, e deve ser indicado no Plano de Trabalho. Normalmente, utiliza-se como medida três a cinco vezes o volume de água no poço de monitoramento.
Parâmetros indicadores não são utilizados neste caso para avaliar quando a purga deve ser encerrada, mas são importantes para a interpretação dos resultados. Deste modo, devem ser medidos pelo menos antes do início e ao final da purga. As medições devem ser apresentadas no Relatório da Investigação
- ✓ A calibração dos instrumentos utilizados para a medição dos parâmetros indicadores deve ocorrer em campo, o mais próximo possível da realização das medições, e deve estar de acordo com a frequência estabelecida pelo fabricante.
- ✓ A disposição da água purgada deve ser levada em consideração, uma vez que a mesma pode estar contaminada. Provisões necessárias devem ser tomadas caso seja necessário remoção para local de tratamento/disposição.

Ordem de Coleta

As amostras devem ser coletadas e armazenadas de acordo com a volatilidade dos parâmetros de interesse. A ordem preferencial de coleta de alguns dos parâmetros mais comuns é a seguinte (adaptado de USEPA, 1986).

- ✓ Compostos orgânicos voláteis (COVs);
- ✓ Compostos orgânicos semivoláteis (COSVs)
- ✓ Pesticidas/PCBs
- ✓ Carbono orgânico total (COT);
- ✓ Halogêneos Orgânicos Totais (TOX)
- ✓ Metais totais
- ✓ Metais solúveis
- ✓ Fenóis
- ✓ Cianeto
- ✓ Sulfato e Cloreto
- ✓ Radionuclídeos.

Em adição à sensibilidade, a importância relativa de cada parâmetro deve ser avaliada em cada caso específico. Quando estiver

sendo amostrado um poço com baixa taxa de recarga, pode ser necessário mudar a ordem de coleta, de modo a garantir que sejam coletadas amostras representativas ao menos para os parâmetros mais importantes no caso específico.

5.2.6. Procedimentos de Descontaminação

Quando não for utilizado equipamento dedicado, todo material que entra em contato com a água subterrânea (medidores de nível d'água, equipamentos de purga/amostragem, e equipamentos de filtração, etc.) deve ser propriamente descontaminado antes do uso em cada poço, de maneira a garantir a integridade das amostras e prevenir contaminações cruzadas. Estes procedimentos podem variar de acordo com a severidade e o tipo de contaminação.

Um branco de equipamento (Item 5.2.9.1) deve ser coletado para avaliar a efetividade dos procedimentos de descontaminação. Equipamentos descontaminados não devem ser colocados no chão ou outras superfícies possivelmente contaminadas antes da inserção no poço.

5.2.7. Preservação e Manuseio das Amostras

Uma vez coletadas as amostras, procedimentos adequados devem ser utilizados para contê-las, preservá-las e transportá-las até o laboratório. Algumas requisições gerais são apresentadas a seguir, entretanto procedimentos específicos podem ser necessários de acordo com os parâmetros de interesse e os métodos analíticos a serem utilizados.

5.2.7.1. Coleta e Transferência das Amostras

Antes da ida a campo, todos os frascos a serem utilizados devem ser limpos e organizados em isopores. Após fechamento dos frascos, estes não devem mais ser abertos em campo.

A transferência das amostras para frascos ou filtros deve ser conduzida de maneira a evitar agitação e aeração das mesmas. As amostras devem ser transferidas diretamente para o frasco final, de modo a evitar perda de constituintes para as paredes dos frascos (exceções são permitidas em caso de filtração).

5.2.7.2. Filtração

Amostras para análise de compostos orgânicos não devem ser filtradas. Já para a análise de compostos inorgânicos, a filtração é necessária quando for necessário dar ênfase na concentração dos componentes dissolvidos, e não na concentração total. Análises que geralmente requerem amostras filtradas incluem: metais, parâmetros radioativos, carbono orgânico total, ortofosfato dissolvido, e fósforo dissolvido total.

Se a filtração for necessária para a análise de outros parâmetros, os seguintes critérios precisam ser demonstrados para justificar o seu uso:

- ✓ **A turbidez estabilizou acima de 5 UTNs.**
- ✓ **As amostras foram coletadas em poços de monitoramento adequadamente instalados e desenvolvidos.** A instalação e o desenvolvimento adequados dos poços são essenciais para a minimização da turbidez e a obtenção de amostras representativas. Quando a turbidez excessiva for um problema recorrente, deve-se considerar um novo desenvolvimento do poço (item 5.2.4).
- ✓ **As amostras foram coletadas utilizando procedimentos que minimizem a perturbação do lençol freático.** O método de baixa vazão é recomendado para minimizar agitação da coluna d'água e a turbidez. Deve-se alcançar a estabilização dos parâmetros indicadores antes da amostragem, para garantir que a amostra é representativa das condições naturais do aquífero.

Se a filtração for realizada, ambas as amostras filtradas e não filtradas devem ser submetidas à análise. A filtração deve ser realizada preferencialmente em campo, utilizando-se filtros com poros entre 0,4 e 0,5 *mícrons*. Todos os métodos e aparelhos utilizados devem ser descritos no Relatório da Investigação.

O Fluxograma 8.1 do Apêndice apresenta os critérios de tomada de decisão para a filtração das amostras.

5.2.7.3. Acondicionamento e Preservação das amostras

Uma vez coletadas, as amostras devem ser acondicionadas apropriadamente para garantir a sua integridade. Especificações sobre

o material dos frascos e preservativos devem ser definidas de acordo com os parâmetros e métodos de análises a serem utilizados.

Entretanto, independente da técnica de preservação utilizada, nem todas as amostras mantêm completa estabilidade. Portanto, o tempo de armazenamento máximo, entre a coleta e a análise laboratorial, deve ser respeitado para cada parâmetro específico. Para o caso de compostos orgânicos, as amostras devem ser entregues ao laboratório dentro de um dia após a coleta. O horário de coleta e chegada ao laboratório deve ser documentado para garantir que os tempos de armazenamento máximos foram atendidos.

Para evitar erros de identificação, os frascos devem ser propriamente identificados com etiquetas, as quais devem ser suficientemente duráveis para permanecerem legíveis mesmo quando molhadas. Os detalhes fornecidos em qualquer combinação de etiquetas e relatórios de campo dependem dos objetivos da amostragem, mas devem incluir todas as informações necessárias para permitir a sua repetição em condições idênticas.

As etiquetas devem conter, no mínimo, as seguintes informações:

- ✓ Número de identificação das amostras;
- ✓ Data e horário da amostragem;
- ✓ Identificação do poço de monitoramento;
- ✓ Parâmetros e métodos requeridos para a análise;
- ✓ Detalhes das técnicas de preservação utilizadas.

Amostras para análise de parâmetros sensíveis à temperatura (e.g. compostos orgânicos) devem ser preservadas imediatamente após a amostragem, através de armazenamento em uma caixa térmica mantida a 4°C ($\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Para garantir que as amostras foram adequadamente preservadas durante o transporte, no momento da chegada ao laboratório deve-se verificar se a caixa térmica possui alguma quantidade de gelo visível. Caso não houver presença de gelo, o laboratório deve obter uma estimativa da temperatura das amostras no momento do recebimento, o que pode ser feito por um branco de temperatura (Item 5.2.9.1), ou através da medida da temperatura interna da caixa térmica. Qualquer desvio na temperatura deve ser anotado e avaliado quanto ao seu impacto sobre a qualidade da amostra.

5.2.7.4. Transporte

O transporte e recebimento das amostras devem ser coordenados com o(s) laboratório(s), de forma a minimizar o tempo em trânsito. Antes de dar início ao transporte, os funcionários de campo devem verificar que algum funcionário do laboratório estará presente para efetuar o recebimento das amostras e checar etiquetas e demais documentos, de forma a garantir que as amostras serão claramente identificadas posteriormente.

As amostras devem ser transportadas até o laboratório em um recipiente apropriado, sendo comumente utilizadas caixas térmicas com gelo. Os recipientes devem ser entregues lacrados ao laboratório, protegidos do efeito da luz e de calor excessivo.

5.2.8. Análise das Amostras

Parâmetros que podem sofrer alterações rapidamente com o armazenamento, incluindo temperatura, pH, potencial de óxido-redução, alcalinidade, gases dissolvidos e turbidez devem ser medidos em campo. A condutividade elétrica, embora seja mais acuradamente medida em laboratório, é frequentemente medida em campo quando é utilizada como um parâmetro indicador na purga. Para estes parâmetros, um método de análise contínuo é mais adequado, e melhor executado com o uso de células de fluxo, que previnam o contato da amostra com a atmosfera.

Em relação aos procedimentos laboratoriais, a seleção dos métodos analíticos deve ser determinada levando em consideração os seguintes aspectos: limites de detecção e quantificação, referências prioritárias e viabilidade do laboratório.

As seguintes referências devem ser prioritárias durante a escolha dos métodos analíticos a serem utilizados: Padrões ISO 13.060.50 (Determinação de substâncias químicas na água), *Standard Methods* e Métodos da USEPA SW-846. Quando outros métodos analíticos forem utilizados, deve-se descrever no Relatório da Investigação porque as referências prioritárias não puderam ser utilizadas.

Em relação à sensibilidade requerida, os métodos analíticos devem ser capazes de medir acuradamente os constituintes nas amostras. Portanto, o limite de quantificação do método (LDM) deve ser igual ou menor aos limites de intervenção utilizados na investigação. Os limites de detecção do método são normalmente indicados na descrição do método analítico, mas dependendo da

sensibilidade dos instrumentos e da preparação das amostras, o LDM pode não ser obtido pelo laboratório. Portanto, os laboratórios devem reportar os seus limites de quantificação praticáveis (LQP) de modo a demonstrar a sua capacidade de obedecer a este critério.

Os laboratórios devem ser acreditados ISO 17025 para cada método analítico utilizado. Se necessário, mais de um laboratório pode ser contratado (Figura 07). A responsabilidade por garantir que todos os laboratórios sejam acreditados ISO 17025 para os métodos analíticos específicos é da Consultoria.

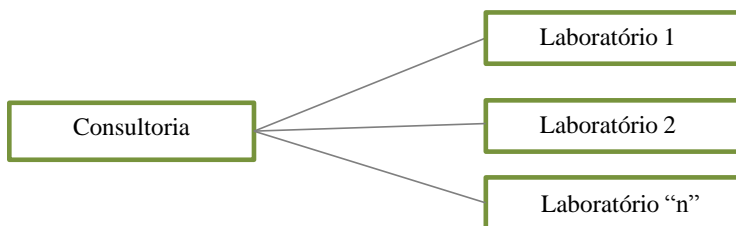


Figura 7. Esquema de contratação de laboratórios pela Consultoria.

Podem ocorrer também de o laboratório contratado pela consultoria contratar outro(s) laboratório(s) para realização de algumas análises (Figura 08). Esta situação é menos recomendada, mas é permitida desde que todos os laboratórios sejam acreditados ISO 17025 para os métodos analíticos específicos utilizados, o que deve ser garantido pela consultoria e pelo Laboratório 01.



Figura 8. Esquema de subcontratação de laboratórios.

O Fluxograma 8.2 do Apêndice apresenta os critérios para a tomada de decisão quanto ao método analítico a ser utilizado.

Uma vez definidos os métodos analíticos e os laboratórios em que as amostras serão analisadas, a consultoria e o(s) laboratório(s)

devem trabalhar juntos para garantir que os procedimentos de coleta e preservação das amostras obedçam aos padrões de qualidade requeridos. Todos os laudos analíticos devem ser anexados ao Relatório da Investigação.

Os métodos analíticos de ambas as análises de campo e de laboratório, e todos os métodos de preservação utilizados em conjunto, devem ser claramente identificados (por número e nome do método) no Relatório da Investigação. Os limites de quantificação atingidos durante as análises devem ser reportados juntamente com os resultados.

5.2.9. Documentação

Minimamente, devem ser preparados, para cada Campanha de Monitoramento, um Relatório de Campo e um Formulário de Cadeia de Custódia.

5.2.9.1. Relatório de Campo

Se a análise de uma amostra produzir um resultado inesperado, será necessário determinar primeiramente se houve influência das circunstâncias de amostragem. Deste modo, um relatório deve ser preenchido em cada evento de amostragem, contendo minimamente as seguintes informações:

- ✓ Data e horário da coleta;
- ✓ Nome e assinatura de quem coletou a amostra;
- ✓ Condições do local e condições climáticas;
- ✓ Identificação do poço;
- ✓ Profundidade do poço e profundidade da amostragem;
- ✓ Nível d'água no poço e técnica de medição utilizada;
- ✓ Presença e espessura de fases imiscíveis;
- ✓ Taxa de recarga do poço (alta ou baixa);
- ✓ Método de purga, volume purgado e taxa de bombeamento;
- ✓ Resultados das análises de campo e métodos utilizados;
- ✓ Método de coleta das amostras;
- ✓ Sequência de coleta;
- ✓ Aparência da amostra no horário da coleta (e.g. cor e odor);
- ✓ Detalhes sobre os métodos de filtração utilizados (e.g. tamanho dos poros do filtro);

- ✓ Detalhes sobre métodos de preservação e contenção utilizados/necessários;
- ✓ Parâmetros a serem analisados;
- ✓ Eventuais problemas e desvios em relação ao protocolo de amostragem estabelecido.

O Relatório de Campo deve ser anexado ao Relatório da Investigação.

5.2.9.2. Cadeia de custódia

Um registro de toda a movimentação das amostras, desde a coleta até a análise laboratorial, deve ser estabelecido, visando garantir a rastreabilidade das mesmas. A cadeia de custódia deve conter, minimamente, as seguintes informações:

- ✓ Número de identificação das amostras;
- ✓ Nome impresso e assinatura de quem coletou a amostra;
- ✓ Data e horário da coleta;
- ✓ Tipo de amostra (i.e. água subterrânea);
- ✓ Identificação do ponto de coleta (poço);
- ✓ Número de recipientes;
- ✓ Análises e métodos requeridos;
- ✓ Preservativos utilizados;
- ✓ Transportadora utilizada;
- ✓ Nome impresso e assinatura das pessoas envolvidas na cadeia possessória;
- ✓ Data/horário em que as amostras foram recebidas pelo laboratório;
- ✓ Presença/ausência de gelo;
- ✓ Temperatura interna do recipiente contendo as amostras quando da abertura no laboratório, se aplicável;
- ✓ Considerações especiais de manuseio (se aplicável).

A cadeia de custódia deve ser anexada ao Relatório da Investigação.

5.2.10. Controle e Garantia da Qualidade

Com o objetivo de garantir que os dados da investigação sejam cientificamente válidos, defensíveis e de qualidade e precisão

conhecida, é recomendável que todas as Campanhas de Monitoramento estabeleçam um Programa de Controle e Garantia da Qualidade, cobrindo ambos os procedimentos de campo e de laboratório. O programa deve incluir tanto um componente de garantia da qualidade (QA), que deve englobar os procedimentos de gestão, assim como um componente de controle rotineiro da qualidade (QC). Estes componentes podem ser descritos em um documento a parte, ou ser incluídos no Plano de Trabalho.

Algumas instruções são listadas a seguir para o controle e garantia da qualidade em campo.

5.2.10.1. *Controle e Garantia da Qualidade em Campo*

Para garantir a qualidade dos procedimentos de campo, o Plano de Trabalho deve ser seguido consistentemente. E para verificar se os procedimentos utilizados estão contaminando as amostras de água subterrânea, uma variedade de amostras e brancos deve ser coletada e analisada:

- ✓ *Réplicas de Campo*: Réplicas de campo são amostras coletadas tão próximo uma da outra quanto possível em um ponto específico. Idealmente, ambas deveriam apresentar resultados analíticos dentro de uma faixa de variação aceitável. Variações excessivas nos resultados indicam problemas com os métodos de coleta ou análise. Réplicas de campo devem ser coletadas com uma frequência de, no mínimo, uma por evento de amostragem e uma a cada vinte amostras. Estas amostras devem ser etiquetadas de forma a não serem identificadas pelo laboratório.
- ✓ *Branco de Campo*: Branco de campo são amostras de água destilada, envasilhadas em campo, preservadas e transportadas para laboratório da mesma maneira que as amostras de água subterrânea. Estes brancos são utilizados para avaliar se há potencial de contaminação das amostras pelas condições de campo. No mínimo, brancos de campo devem ser coletados com uma frequência de um por evento de amostragem.
- ✓ *Branco de viagem* (utilizados quando as amostras forem analisadas para compostos orgânicos voláteis): Branco de viagem são geralmente preparados em laboratório, e levados a campo e manuseados juntamente com as amostras de água subterrânea, agindo então como amostras de controle para

determinar o potencial de contaminação por compostos orgânicos voláteis (COVs) pelos frascos. Um branco de viagem, no mínimo, deve acompanhar cada evento de amostragem, e os mesmos não devem ser abertos em campo.

- ✓ *Branco de equipamento*: Brancos de equipamento são utilizados para determinar a efetividade dos procedimentos de descontaminação realizados entre as amostragens em cada poço, quando não for utilizado equipamento dedicado. Os brancos de equipamento são obtidos passando-se água destilada sobre equipamentos utilizados (que entraram em contato com a água subterrânea) após os mesmos serem descontaminados, e coletando a água em um frasco de coleta. No mínimo, brancos de equipamento devem ser coletados com uma frequência de um por evento de amostragem, e um a cada 20 amostras. Os brancos de equipamento devem ser coletados após amostragem do poço que historicamente apresenta maiores níveis de contaminação.
- ✓ *Branco de Temperatura* : Um branco de temperatura pode ser utilizado para estimar a temperatura das amostras no horário em que estas são recebidas pelo laboratório.

Todas as amostras de controle da qualidade devem ser submetidas às mesmas análises que as amostras de água subterrânea. Contaminantes encontrados nos brancos podem ser resultado de procedimentos inapropriados de descontaminação, técnicas inadequadas de coleta e manuseio das amostras, ou interação entre a amostra e o frasco. Quando uma contaminação for identificada nas amostras de controle da qualidade, uma reavaliação dos procedimentos utilizados deve ser realizada para determinar as causas do problema. As concentrações encontradas nos brancos para qualquer contaminante não devem ser utilizadas para corrigir os resultados das análises de água subterrânea.

5.2.1.0. Especificações de Saúde e Segurança

As atividades envolvidas na amostragem de água subterrânea de áreas (potencialmente) contaminadas são potencialmente perigosas. Portanto, o Plano de Trabalho deve compreender especificações de saúde e segurança, tanto para os procedimentos de rotina quanto para os procedimentos de emergência. As regulamentações locais devem ser

obedecidas, e somente pessoas treinadas e qualificadas devem realizar as atividades.

Riscos decorrentes das seguintes fontes devem ser considerados:

- ✓ Os materiais sendo manuseados (amostras, produtos químicos, etc.);
- ✓ Riscos mecânicos (equipamentos de perfuração, veículos, etc.);
- ✓ Equipamentos elétricos (geradores, bombas, etc.);
- ✓ Ambiente (proteção pessoal, gases, estabilidade do solo, etc.).

Os funcionários de campo devem estar cientes das rotas de exposição (i.e., inalação, contato dérmico e ingestão) e ser instruídos no uso correto dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). Protocolos também devem ser definidos estabelecendo quando os EPIs devem ser utilizados.

5.3. Procedimento para Elaboração de Relatórios de Investigação

A seguir são apresentadas orientações para a elaboração dos Relatórios de Investigação. O formato do Relatório não é limitado, porém as informações descritas abaixo devem estar presentes.

5.3.1. Capa

A capa deve informar a versão do relatório (e.g. “Versão para Revisão”, “Versão Final”) e as datas de entrega (mês e ano) de todas as versões.

5.3.2. Premissas, Condições e Limitações

Todas as premissas, condições e limitações que se aplicam ao trabalho devem ser resumidas nesta seção, devendo-se fazer referência aos objetivos e ao escopo de trabalho propostos. Deve ser informado se os objetivos foram alcançados e se o escopo de trabalho foi cumprido.

5.3.3. Sumário Executivo

O sumário executivo deve ser escrito de forma a permitir um entendimento rápido dos objetivos e escopo do trabalho, e dos principais resultados obtidos.

5.3.4. *Base Contratual do Projeto e Equipe Envolvida*

Devem ser relatadas as bases contratuais do projeto, incluindo o número do contrato.

Devem ser listados também os nomes e os papéis das principais pessoas que participaram da realização da investigação, incluindo atividades terceirizadas (e.g. análises laboratoriais).

5.3.5. *Modelo Conceitual Inicial*

Um resumo dos dados de caracterização do local, os quais vão formar um modelo conceitual inicial, devem ser apresentados. As seguintes informações devem ser incluídas:

- ✓ *Histórico de Investigações Anteriores*: Cada relatório de investigação deve em si conter toda a informação necessária para permitir uma rápida interpretação dos resultados. Para tanto, é necessário que os resultados de investigações anteriores sejam descritos em cada novo relatório.
- ✓ *Descrição do Local e dos Arredores*: Uma descrição do local e dos arredores deve ser apresentada, incluindo informações relacionadas ao tipo de atividade realizada, produtos químicos manuseados, localização de fontes potenciais de contaminação, etc. É recomendado apresentar um mapa, locando os poços de monitoramento e os principais pontos de interesse.
- ✓ *Geologia e Hidrogeologia*: Informações sobre a geologia e a hidrogeologia regional e local devem ser fornecidas. Estas incluem, mas não se limitam a, litologia e porosidade do solo, e direção e velocidade do fluxo de água subterrânea.
- ✓ *Potenciais Receptores e Rotas de Exposição*: De acordo com as informações disponíveis, devem ser identificados quais são os potenciais receptores e as rotas de exposição pelas quais os mesmos podem ser expostos a uma contaminação.

É importante notar que o modelo conceitual deve ser continuamente atualizado de acordo com a aquisição de novas informações. Idealmente, cada Relatório de Investigação deveria apresentar um modelo conceitual inicial, anterior à realização da investigação, e um modelo conceitual atualizado, posterior à

investigação. Entretanto, se as informações disponíveis anteriormente à investigação forem muito limitadas, ou não houver aquisição de novas informações relevantes na investigação, apenas um modelo conceitual pode ser apresentado, incluído em “Resultados” no Relatório.

5.3.6. *Escopo da Investigação*

As seguintes informações devem ser apresentadas para caracterização do escopo da investigação:

- ✓ *Base Estratégica:* Deve ser descrita a estratégia de monitoramento e quais técnicas foram utilizadas para sua implantação e por que. A localização de todos os poços amostrados deve ser ilustrada em uma planta do local devidamente orientada e com escala adequada.
- ✓ *Amostragem de Água Subterrânea:* Deve-se discorrer sobre a realização da amostragem, incluindo os seguintes detalhes: número e descrição dos poços amostrados; data(s) da(s) amostragem(s) e condições de campo no dia; protocolos e equipamentos utilizados para as aferições de nível d’água e profundidade do poço, para a purga e a amostragem, e para as análises realizadas em campo; protocolos de manuseio e preservação das amostras; e protocolos de controle e garantia da qualidade.
- ✓ *Análises Laboratoriais:* Devem ser apresentadas informações sobre as análises laboratoriais, incluindo: tempo em trânsito, e horário e condição das amostras quando da chegada ao laboratório; laboratórios contratados; métodos analíticos utilizados e número de amostras analisadas, e situação de acreditação do laboratório para as análises realizadas.

Para os Relatórios das Investigações de Caracterização Inicial do Solo e Água Subterrânea, devem ser apresentadas também as seguintes informações:

- ✓ *Investigação e Análise do Solo:* Devem ser descritos os métodos e equipamentos utilizados, número, posição e identificação das amostragens de solo, parâmetros analisados, e métodos analíticos utilizados.
- ✓ *Locação, Construção e Desenvolvimento dos Poços de Monitoramento:* Deve-se listar as considerações utilizadas

para a locação dos poços de monitoramento, e as técnicas e normas utilizadas para a instalação e desenvolvimento dos mesmos. Todos os poços de monitoramento instalados devem ser ilustrados em uma planta local devidamente orientada e com escala adequada.

5.3.7. *Resultados e Discussão da Campanha de Monitoramento*

De acordo com a investigação realizada, o modelo conceitual da área pode ser atualizado com as seguintes informações:

- ✓ *Fluxo da Água Subterrânea:* Deve-se apresentar as direções inferidas para o fluxo de água subterrânea. Uma tabela deve ser apresentada com, minimamente, a carga hidráulica calculada para cada poço, as coordenadas geográficas do poço, e a data das medições. A Tabela 8.1 do Apêndice apresenta um exemplo de como estas informações podem ser apresentadas. É importante que uma notação seja adotada para a Tabela, de modo que seja possível diferenciar medições não realizadas de medições em que o poço estava seco. Um mapa potenciométrico também deve ser apresentado. O mapa deve ser representado em escala adequada, e mostrar a localização dos poços de monitoramento, as superfícies potenciométricas com as respectivas cargas hidráulicas, e setas indicando a direção do fluxo.
- ✓ *Parâmetros hidráulicos:* Deve-se apresentar, quando medido/calculado: condutividade hidráulica, gradiente hidráulico, velocidade do fluxo de água subterrânea, etc.
- ✓ *Análise de parâmetros físico-químicos:* Deve ser apresentado o resultado das análises dos parâmetros físico-químicos. Para os parâmetros indicadores medidos para avaliar o término da purga, devem ser apresentadas as três medidas consecutivas mantidas estáveis. Os certificados de calibração dos instrumentos utilizados para análise devem ser anexados ao relatório.
- ✓ *Resultados das análises químicas de solo de água subterrânea:* Os resultados do monitoramento devem ser comparados com os valores orientadores definidos pela legislação local. Quando não houverem valores orientadores estabelecidos na legislação local para algum composto, os resultados devem ser comparados com os *Screening levels* para *Tap water* e *MCLs*

da *USEPA Region 9*, e com os *Intervention Values* da Lista Holandesa.

Os resultados devem ser descritos em texto e também apresentados em uma tabela, onde devem ser indicadas as concentrações (em $\mu\text{g/L}$) encontradas em cada poço, assim como os valores orientadores comparativos. Resultados acima dos valores orientadores devem ser destacados. O número CAS de cada composto químico também deve ser apresentado no Relatório.

Para os Relatórios das Investigações de Caracterização Inicial do Solo e Água Subterrânea, devem ser apresentadas também as seguintes informações:

- ✓ *Geologia e Hidrogeologia local*: Detalhes sobre a natureza, profundidade, espessura e distribuição espacial dos estratos geológicos principais devem ser apresentados. Depósitos artificiais devem ser claramente distinguidos dos estratos naturais. Se possível, deve-se representar os estratos geológicos em seções transversais do local. Devem ser apresentados os perfis das sondagens e os perfis construtivos dos poços de monitoramento.
- ✓ *Resultados das análises químicas de solo*: Os resultados do monitoramento devem ser comparados com os valores orientadores definidos pela legislação local. Quando não houverem valores orientadores estabelecidos na legislação local para algum composto, os resultados devem ser comparados com os *Screening levels* para *Industrial Soil* da *USEPA Region 9*, e com os *Intervention Values* da Lista Holandesa.
Os resultados devem ser descritos em texto e também apresentados em uma tabela, onde devem ser indicadas as concentrações (em mg/kg) encontradas em cada amostra de solo, assim como os valores orientadores comparativos. Resultados acima dos valores orientadores devem ser destacados. O número CAS de cada composto químico também deve ser apresentado no Relatório.

5.3.8. *Conclusões e Recomendações*

Esta seção deve resumir de forma clara e concisa os principais resultados da investigação, assim como as conclusões relacionadas. Deve-se discorrer também sobre a adequação da rede de monitoramento existente e do programa de monitoramento proposto, assim como quaisquer alterações consideradas apropriadas, como a necessidade de investigações adicionais ou mudança na ênfase do programa proposto.

5.3.9. *Documentação*

Relatórios de campo, certificados de calibração dos equipamentos, formulários de cadeia de custódia, laudos laboratoriais e registros fotográficos de todas as fases da investigação devem ser anexados ao Relatório da Investigação.

5.4. Procedimento para Manutenção dos Poços de Monitoramento

Os poços de monitoramento devem ser mantidos identificados, cadeados e em boas condições de funcionamento. O tubo de revestimento, a tampa de fechamento do revestimento protetor e o tampão (*cap*) de proteção interno (ver Anexo I) devem ser mantidos de maneira a prevenir que água e contaminantes da superfície entrem no poço.

Inspeções visuais de todos os poços devem ser realizadas rotineiramente, devendo a frequência ser definida pelo setor responsável na fábrica. As inspeções devem ser documentadas através de um *checklist* de inspeção, e devem incluir descrições dos problemas encontrados, e das ações corretivas necessárias. Os registros de inspeção devem ser mantidos na fábrica.

As inspeções visuais devem incluir, mas não estão limitadas a, identificação de problemas como:

- ✓ Tubo de revestimento rachado ou corroído;
- ✓ *Cap* e cadeado danificado ou ausente;
- ✓ Rachaduras no selo superficial;
- ✓ Ocorrência de erosão ao redor do poço;
- ✓ Acúmulo de água na proximidade do poço ou dentro do revestimento protetor;

- ✓ Identificação do poço ausente ou de difícil visualização;
- ✓ Solo, vegetação ou outros cobrindo o poço, atrapalhando a sua localização.

É também necessário avaliar o desempenho do poço de monitoramento. Isto deve incluir a observação de queda significativa no rendimento durante a purga, aumento da turbidez, e medição da profundidade do poço para verificar se houve depósito de sedimentos. Estas inspeções do desempenho do poço devem ser feitas durante as investigações de campo (no mínimo uma vez por ano) e ser mantidas na fábrica.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu a elaboração de um procedimento operacional para monitoramento da qualidade da água subterrânea, a ser aplicado em uma empresa multinacional do setor produtivo. O procedimento foi elaborado para utilização em escala global, de modo a guiar a execução das investigações ambientais em todas as plantas fabris da empresa, localizadas em três continentes. O procedimento poderá ser traduzido e adaptado às condições das plantas locais, conforme necessidade.

A partir da pesquisa bibliográfica realizada, pôde-se concluir que existe uma extensa produção de documentos (normas, guias, manuais, procedimentos, entre outros) na área de monitoramento de águas subterrâneas. A elaboração do procedimento visou deste modo, agregar as informações disponíveis, adequando-as às especificidades da empresa. Com isto, obtém-se simplificação, economia e agilidade, uma vez que todas as informações necessárias se encontram em um único documento, de fácil acesso a quem necessitar.

Até a data de emissão deste Relatório, o procedimento ainda não havia entrado em vigor. Entretanto, algumas melhorias são esperadas:

- ✓ Redução na variabilidade do processo: Com a padronização das atividades envolvidas no processo de monitoramento das águas subterrâneas, espera-se obter resultados mais confiáveis e comparáveis entre si.
- ✓ Maior facilidade de treinamento de novos funcionários: Uma vez que o processo esteja padronizado e documentado, o treinamento de novos funcionários na execução do mesmo é facilitado.
- ✓ Maior facilidade de comunicação com Consultorias externas: O procedimento deve facilitar a troca de informações entre a empresa e as Consultorias externas, responsáveis pela execução das investigações, visto que as necessidades e requisitos básicos do processo já estão estabelecidos.
- ✓ Maior facilidade de atendimento a requisitos legais: O procedimento facilita o atendimento a requisitos legais, visto que estabelece regras sobre frequência de monitoramento e compostos a serem avaliados, e permite a incorporação de requisitos técnicos para execução das atividades.
- ✓ Formação de base para a implantação de melhorias: A documentação do processo forma uma base para a

identificação de pontos fracos e consequentes oportunidades de melhoria.

7. BIBLIOGRAFIA

AMERICAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **1898-1998, A century of progress**. 1998. 34p.

_____. **D5092**: Standard Practice for the Design and Installation of Groundwater Monitoring Wells. Philadelphia, 2010. 16p.

_____. **D5978**: Standard Guide for Maintenance and Rehabilitation of Ground water Monitoring Wells. Philadelphia, 2011. 7p.

_____. **D6286**: Standard Guide for Selection of Drilling Methods for Environmental Site Characterization. Philadelphia, 2012a. 17p.

_____. **D6452**: Standard Guide for Purging Methods for Wells Used for Ground water Quality Investigations. Philadelphia, 2012b. 6p.

_____. **D5521**: Guide for Development of Ground Water Monitoring Wells in Granular Aquifers. Philadelphia, 2013a. 17p.

_____. **D4448-01**: Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells. Philadelphia, 2013b. 17p.

_____. **Overview**. Disponível em: http://www.astm.org/ABOUT/full_overview.html. Acesso em 14 de janeiro de 2014.

ANDREONI, V.; GIANFREDA, L. **Bioremediation and monitoring of aromatic-polluted habitats**. Spriger, 76, p. 287-308, 2007.

APICCIRELLA, Emanuel S. P. L. **Contaminação e áreas de restrição de uso de água subterrânea no entorno do canal Jurubatuba em São Paulo – SP**. 2009. 136p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Orientações para a utilização de águas**

subterrâneas no estado de São Paulo. Brasil, setembro 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISO/IEC GUIA 59:** Códigos de boas práticas para normalização. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **ABNT NBR 15495-2:** Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 1: Projeto e Construção – Rio de Janeiro, 2007.

_____. **ABNT NBR 15495-2:** Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 2: Desenvolvimento – Rio de Janeiro, 2008.

_____. **ABNT ISO/IEC GUIA 2:** Normalização e atividades relacionadas - Vocabulário geral – Rio de Janeiro, 2006

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009.** *Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.* Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, 2009.

CAMPOS, VICENTE FALCONI. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial. Belo Horizonte, 1998. 276p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.** São Paulo, 1999. 389p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDUSTRIAS. **Normalização, conhecendo a sua empresa.** 2ed. Brasília, 2002. 74p.

CORREIA, Luís Cláudio da Conceição. MELO, Maria Auxiliadora do Nascimento. MEDEIROS, Denise Dunke. Modelo de diagnóstico e

implementação de um sistema de gestão da qualidade: estudo de um caso. **Produção**, v. 16, n. 1, p. 111-125, jan/abr 2006.

DANTAS FILHO, João Frutuoso. **Noções básicas de normalização técnica**. Belém: Ed. Universitária UFPA, 1995. 68p.

FOSTER Stephen, HIRATA Ricardo, GOMES Daniel, D'ELIA Mônica, PARIS Marta, 2002. **Groundwater Quality Protection: A guide for water utilities, municipal authorities, and environmental agencies**. The World Bank, Washington, 2002. 114p

HENDRIKSEN, Eldon S.; VAN BREDA, Michael F. **Teoria da contabilidade**. São Paulo: Atlas, 1999.

INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. **Manual de Normalização**. Caparica, 2009. 104p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **International Classification for Standards**. Geneva, 2005. 112p.

_____. **ISO 5667-11**: Guidance on Sampling of Ground waters. Geneva, 2009. 26p.

_____. **ISO Membership Manual**. Geneva, 2013. 96p.

IUDÍCIBUS, Sérgio de. **Teoria da contabilidade**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. **Standardized work: the foundation for Kaizen**. Disponível em: <http://www.lean.org/workshops/WorkshopDescription.cfm?WorkshopId=20>. Acesso em 11 de janeiro de 2014.

LORDÊLO, P. M. **Sistemas ISO 9001:2000 – Estudos de Casos em Empresas Construtoras de Edifícios**. 2004. 298p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

MALHEIROS, Tadeu Fabrício; VARELLA, Ana Carolina Cosenza; BAPTISTA, Christiane; GAMACHO, Gualberto; CARDONE, Marcos; DEFINE, Maria Fernanda. SOUZA, Nilton. **Passivos**

ambientais e Saúde Pública. ICTR 2004 – Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologias em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, 2004.

MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND ENVIRONMENT (VROM). **Soil Remediation Circular.** Netherlands, 2009. 57p.

PENKAITIS, Gabriela. **Impacto ambiental gerado pela disposição de areias de fundição: estudo de caso.** 2012. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

POLO-REDONDO Y. CAMBRA-FIERRO J. Influence of the standardization of a firm's productive process on the long-term orientation of its supply relationships: An empirical study. **Industrial Marketing Management**, v. 37, n. 4, p. 407-420, 2008.

RIBEIRO, Maisa de Souza. **Contabilidade e o Meio Ambiente.** 1992. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

RIBEIRO, Maisa de Souza. **Custeio das Atividades de Natureza Ambiental.** 1998. Tese (Doutorado em Contabilidade) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

RIBEIRO, Maisa de Souza. LISBOA, Lázaro Plácido. Balanço Social. **Revista Brasileira de Contabilidade.** Brasília – DF, ano 28 n° 115, p. 72-81, jan/fev 1999.

RIBEIRO, Maisa de Souza. LISBOA, Lázaro Plácido. Passivo ambiental. **Revista Brasileira de Contabilidade.** Brasília – DF, ano 29 n° 126, p. 8-19, nov/dez 2000.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental.** 1998. 178p. Dissertação (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Desengenharia: O Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 254p.

SOARES, Marilda de Souza. **Áreas Contaminadas e águas subterrâneas na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê**. 2011. 212p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

TOLEDO, J.C. & CARPINETTI, L.R. *Gestão da Qualidade: A Fábrica do Futuro*, cap. 13, Editora Banas, 2000.

TROVÃO, Renata Silva. **Análise Ambiental de Solos e Águas Subterrâneas Contaminadas com Gasolina: Estudo de Caso no Município de Guarulhos – SP**. 2006. 224p. Tese (Mestrado em Engenharia Mineral). – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

UNITED NATIONS. The Intergovernmental Working group of experts on International Standards of Accounting and Reporting. **Objectives and concepts underlying financial statements**. New York, 1989. 32p.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO). **Role of Standards: A guide for small and medium-sized enterprises**. Vienna, 2006. 56p.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. Office of Solid Waste and Emergency Response. **Ground Water Technical Enforcement Guidance Document**, 1986. 329p.

_____. Office of Research and Development. **Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Ground-Water Monitoring Wells**. Las Vegas, 1991. 224p.

_____. Office of Solid Waste and Emergency Response. **Ground-Water Monitoring: Draft Technical Guidance**. Washington, 1992. 236p.

_____. Office of Solid Waste and Emergency Response. **Waste Management Area (WMA) and Supplemental Well (SPW) Guidance**. Washington, 1993. 32p.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. Division of Drinking and Ground Waters. **Technical Guidance Manual for Ground water Investigations**. Chapter 3: Ground water sampling. Ohio, 2012. 73p.

_____. Science and Ecosystem Support Division. **Operating Procedure: Groundwater Sampling**. Athens, 2013a. 31p.

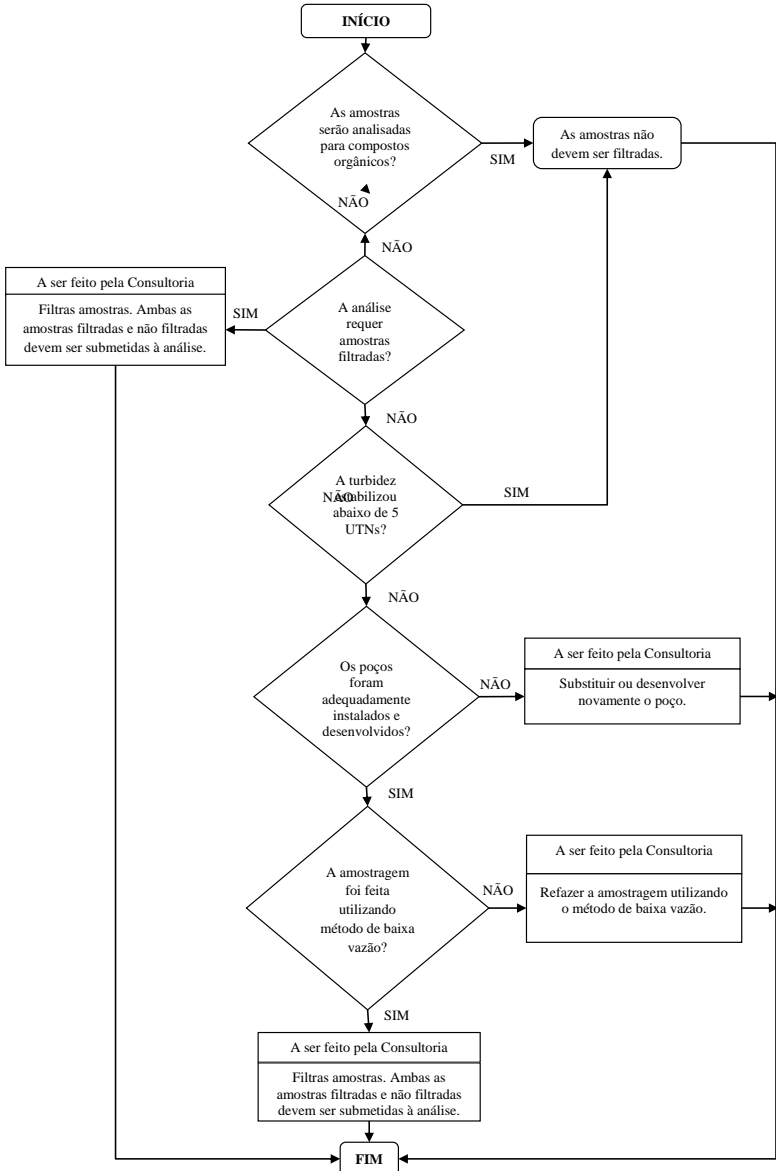
_____. Science and Ecosystem Support Division. **Guidance: Design and Installation of Monitoring Wells**. Athens, 2013b. 33p.

_____. Mid Atlantic Risk Assessment. **Frequently Asked Questions**. Disponível em: < http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-concentration_table/faq.htm>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICES (USGS). **Sustainability of Ground-Water Resources**, Circular 1186. Denver, 1999. 79 p.

8. APÊNDICE

Fluxograma 8.1. Critérios de tomada de decisão para a filtração das amostras.



Fluxograma 8.2. Critérios para a tomada de decisão quanto ao método analítico a ser utilizado.

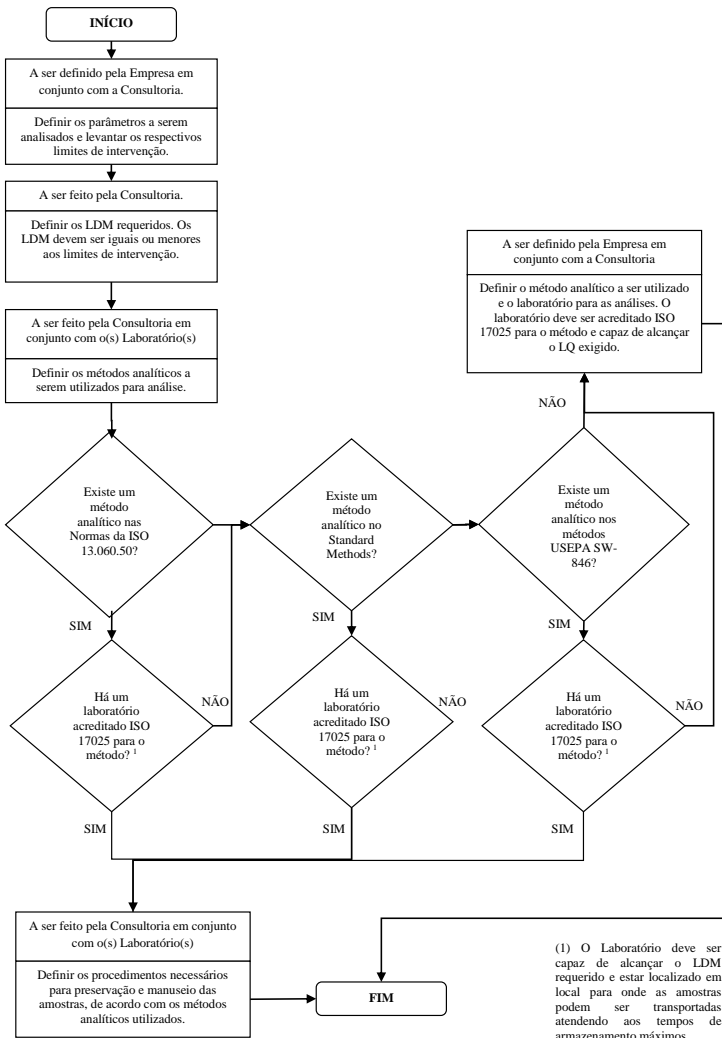


Tabela 8.1. Exemplo de Tabela para Apresentação de Dados de Cálculo de Carga Hidráulica.

Poço	Coordenadas Geográficas		Cota do Terreno (m)	Cota da Boca do Poço (m)	Nível d'Água (m)	Carga Hidráulica (m)	Espessura da Zona Não Saturada (m)	Data
	LESTE	NORTE						

Onde:

- ✓ Poço: Identificação do Poço Amostrado;
- ✓ Coordenadas Geográficas: Coordenadas Geográficas (Leste e Norte) do Poço Amostrado;
- ✓ Cota do Terreno: Cota topográfica do terreno ao redor do poço;
- ✓ Cota da Boca do Poço (m): Cota topográfica do ponto de referência utilizado para determinação do nível d'água. Este ponto de referência pode ser um ponto marcado dentro do tubo de revestimento ou a própria boca do poço;
- ✓ Nível d'água (m): Distância entre o ponto de referência e o nível d'água;
- ✓ Carga Hidráulica (m): Cota topográfica da superfície do lençol freático, calculada como:

$$"Cota da Boca do Poço" - "Nível d'Água";$$
- ✓ Espessura da Zona Não Saturada (m): Distância entre a cota do terreno e a superfície do lençol freático, calculada como:

$$"Cota do Terreno" - "Carga Hidráulica";$$
- ✓ Data: Data em que a amostragem foi realizada.

Exemplo de Notação:

- (1) Poço obstruído na campanha
- (2) Poço seco na campanha
- (3) Poço inexistente na campanha

9. ANEXOS

Anexo I – Perfil Construtivo de um Poço de Monitoramento (Fonte: ABNT, 2007).

