

Relatório de consulta técnica

Diretrizes para o desenvolvimento de recarga artificial de aquíferos no distrito federal

Brasília, Outubro de 2015.

Diretor Presidente

Paulo Sérgio Bretas de Almeida Salles

Diretor

Israel Pinheiro Torres

Diretor

Diógenes Mortari

Diretor

José Walter Vazquez Filho

Superintendência de recursos hídricos

Rafael Machado Mello

Consultores contatados

José Eloi Guimaraes Campos

Tatiana Diniz Gonçalves

Brasília, Outubro de 2015.

Sumario

1. INTRODUÇÃO	1
2. SÍNTESE SOBRE O MEIO FÍSICO DO DISTRITO FEDERAL	2
2.1 Clima	2
2.2 Solos	4
2.3 Geomorfologia	6
2.4 Geologia	8
2.5 Hidrogeologia	11
3. RECARGA ARTIFICIAL DOS AQUÍFEROS	14
3.1 Recarga Natural dos Aquíferos	14
3.2 Recarga Artificial dos Aquíferos	15
3.3 Métodos e Técnicas	17
3.3.1 Métodos de Recarga em Superfície	18
3.3.2 Método de Recarga Artificial na Zona Não Saturada	22
3.3.3 Método de Recarga Artificial em Profundidade	24
3.4 Objetivos e Resultados Esperados	26
4. DIAGNÓSTICO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DA RECARGA ARTIFICIAL NO DISTRITO FEDERAL	27
4.1 Introdução	27
4.2 Subdivisão em Áreas de Acordo com as Características dos Aquíferos	28
4.3 Proposta de Técnicas Aplicadas para o Distrito Federal	32
4.4 Critérios de Aplicação	38
5. OPERACIONALIZAÇÃO DA RECARGA ARTIFICIAL NO DISTRITO FEDERAL	39
5.1 Estudos Básicos Necessários	39
5.2 Controles e Critérios de Avaliação para Emissão de Autorização pelo Órgão Gestor	46
5.3 Responsabilidade Técnica sobre os Projetos	47
5.4 Parcerias Institucionais	47
5.5 Estratégias para Implantação	49
5.6 Cadastro dos Projetos Instalados	49
5.7 Monitoramento	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

Anexos

ANEXO I - Base Legal

ANEXO II - Glossário Técnico

Resumo

O presente documento tem como objetivo apresentar as diretrizes para a implantação ordenada, efetiva e numericamente significativa de sistemas de recarga artificial no território do Distrito Federal. Em função das características climáticas (forte sazonalidade), geológicas (natureza das rochas), geomorfológicas (padrão de relevo) e pedológicas (tipos de solos) no Distrito Federal são considerados três modelos distintos de indução da infiltração das águas de chuva: caixas de recarga, trincheiras de recarga e calhas de recarga. Nos três casos a água da chuva captada sobre edificações com auxílio de calhas e tubulações deverá ser direcionada para os sistemas preenchidos por cascalho de alta permeabilidade que tem a função de induzir a infiltração da água no solo. Mesmo que obrigatória por legislação distrital específica a implantação da recarga artificial de forma ampla necessitará da participação de parcerias de órgãos do Governo do Distrito Federal, de instituições de ensino e da população como um todo. Este relatório técnico traz todas as informações necessárias para instruir os usuários a implantar sistemas em seus próprios terrenos, incluindo a síntese do conhecimento sobre o meio físico do Distrito Federal, os conceitos e formas de aplicação de recarga artificial dos aquíferos, os critérios de viabilidade para a recarga artificial em território distrital e as formas de operacionalização. A instalação eficaz e em taxas significativas deverá trazer inúmeras vantagens na gestão dos recursos hídricos, incluindo: aumento da disponibilidade hídricas nos aquíferos, garantia de manutenção de vazões de nascentes, diminuição do escoamento de águas superficiais, redução do risco de enchentes, diminuição dos processos erosivos, dentre outros.

Abstract

The current technical report has them aim to present the general lines for the effective and numerically significant implantation of artificial aquifer recharge systems in the territory of the Federal District. Due to the climatic characteristics (tough seasonality), geologic (nature of the rocks), geomorphologic (relief patterns) and pedologic (soils types) in the Federal District three distinct models to rain waters infiltration induction are considered: recharge digs, recharge trenches and recharge gutters. In the three cases the rainwater caught from the roofs by gutters and tunings is directed for the recharges systems filled by coarse gravel of high hydraulic conductivity to induce the infiltration of the water into the ground. Although obligatory by specific legislation the effective implantation of artificial recharge will need the participation of partnerships of the Federal District Government agencies, of education institutions and of population as a whole. This technical report brings all the necessary information to instruct the users to implant systems in their proper lands, including the synthesis of the environment knowledge of the Federal District, the concepts and forms of application of aquifers artificial recharge, the criteria of viability for the artificial recharge and the forms to establish it. The efficient installation in numerical significant cases will bring enormous advantages in the water resources management, including: increase of water availability in the aquifers, guarantee of maintenance of discharges to springs, reduction of overland flow, reduction in the risk of floods, decrease of erosive processes, amongst others.

1. Introdução

O Distrito Federal é região com limitada disponibilidade de água superficial e a exploração de reservatórios subterrâneos passou a ser uma alternativa de abastecimento de água para a população.

O acelerado processo de urbanização e o adensamento populacional que se configurou nos últimos 20 anos no Distrito Federal vêm provocando drástica redução dos volumes de água infiltrada no solo, devido a impermeabilização de áreas estratégicas para a recarga natural dos sistemas subterrâneos. Essas áreas estratégicas são aquelas localizadas em regiões elevadas com solos espessos naturalmente permeáveis, onde a infiltração da água da chuva é favorecida pelas dos relevos planos com baixa declividade.

A expansão populacional do DF nessas áreas muitas vezes ocorre na forma de condomínios horizontais em que o abastecimento de água se dá, preferencialmente, por captações subterrâneas, através de poços tubulares profundos. A impermeabilização dessas áreas e, ao mesmo tempo, a exploração de água subterrânea, impõe situação de risco a região. Quando a exploração subterrânea excede a capacidade de recarga natural dos aquíferos é inevitável o rebaixamento de água, fato que pode resultar em subsidência do terreno e causar sérios prejuízos materiais.

No sentido de minimizar os efeitos nocivos da impermeabilização dos solos, decorrente da expansão populacional, e da sobreexploração dos sistemas aquíferos, a recarga artificial dos aquíferos se faz necessária nesta região. Esta prática consiste de qualquer processo que induza a infiltração ou injeção de água nos sistemas aquíferos, podendo ser por meio de caixas ou barragens de infiltração, espalhamento de água sobre o solo, sulcos paralelos às curvas de nível, poços de injeção, etc. (Fetter 1994).

Dentre as vantagens de se adotar técnicas de recarga artificial destaca-se o controle, a manutenção ou a elevação dos níveis de água dos sistemas subterrâneos, o controle da subsidência do terreno, a depuração de contaminantes e a mineralização das águas infiltradas. Além disso, a recarga artificial pode gerar uma reserva estratégica de água, para períodos de escassez.

A escassez de água, que gradativamente afeta os dependentes dos recursos subterrâneos, tem levado muitas regiões do mundo a utilizar a recarga artificial não só como uma forma de recompor ou elevar o nível e a qualidade de água de seus aquíferos, mas também como uma inovadora maneira de armazenar água.

Não se pode desconsiderar também a interrelação entre as águas superficiais e subterrâneas e a importância dos aquíferos na regularização da rede de drenagem superficial que inclui córregos, rios, lagos, nascentes e demais corpos hídricos. No prolongado período sem chuvas na região do Distrito Federal todos os cursos d'água perenes são mantidos pela descarga dos aquíferos.

Além das vantagens de se desenvolver e aplicar projetos de recarga artificial dos aquíferos, ainda há a necessidade por imposição legal. A Resolução 153/2013 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabelece critérios e diretrizes para implantação de recarga artificial de aquíferos no território Brasileiro. A Lei 3.793, de 02 de fevereiro de 2006 institui, no Distrito Federal, o sistema de recarga artificial de aquíferos e dá outras providências.

Assim, os objetivos deste estudo são: apresentar uma síntese sobre as águas subterrâneas no Distrito Federal, elaborar um diagnóstico da viabilidade de implantação da recarga artificial dos aquíferos no Distrito Federal, propor metodologias para implantação da recarga artificial dos aquíferos na região e avaliar as formas para autorização e legalização da prática de recarga artificial dos aquíferos no Distrito Federal.

A recarga artificial dos aquíferos deverá ser muito importante na gestão do ciclo hídrico como um todo, mesmo em áreas que não utilizam os recursos subterrâneos para abastecimento ou para complemento do abastecimento. Os aquíferos, principalmente os rasos ou freáticos, associados aos solos espessos da região são fundamentais para a manutenção da perenidade de nascentes e demais corpos hídricos superficiais. Ainda é essencial informar que as águas infiltradas nas áreas de geração do escoamento superficial deverão minimizar o escoamento superficial, controlando as enchentes rápidas (*flash floods*) em áreas urbanas, processos erosivos e assoreamento dos córregos.

2 Síntese sobre o meio físico do distrito federal

2.1 Clima

A compreensão dos fenômenos climáticos permite entender a distribuição espacial e a variabilidade temporal do regime hídrico em diferentes escalas. De acordo com a classificação

climática de Köppen (Kottek *et al.*, 2006), o clima no Distrito Federal é Tropical com inverno seco (Aw), caracterizado por forte sazonalidade: uma estação chuvosa e quente no período entre outubro e abril e outra fria e seca, no período entre maio e setembro.

A Figura 2.1 apresenta a série histórica dos dados climáticos da estação meteorológica Brasília, no período de 30 anos, entre 1961 e 1990. A média pluviométrica anual para o período analisado é da ordem de 1.540 mm. O mês de janeiro apresenta maior índice pluviométrico médio (~247 mm) e os meses de junho, julho e agosto registram os menores índices (~11mm/mês). A temperatura média anual é de 20,6°C, sendo setembro e outubro os meses mais quentes (~21,7°C) e os meses de junho e julho, os mais frios (~18,3°C).

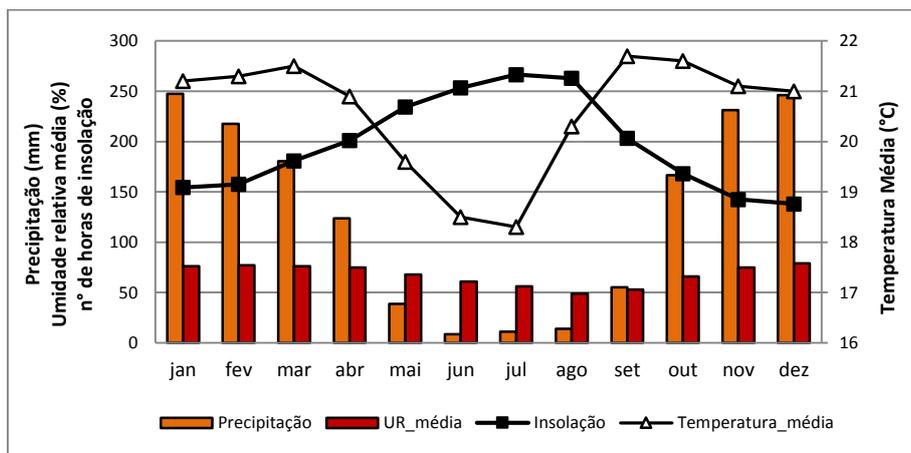


Figura 2.1 - Série histórica 1961-1990 da Estação Meteorológica Brasília (Cod. 83377). Fonte: INMET, 2003. UR-média: umidade relativa do ar média.

Com relação a umidade relativa do ar, verifica-se que a média climatológica anual é de 67,6%, entretanto, nos meses mais secos, agosto e setembro, a umidade pode atingir valores mínimos (11%), enquanto que nos meses mais úmidos, a umidade varia em torno de 75%. A média de insolação mensal no período de abril a setembro é de 236 h/mês e no período de outubro a março, é bem menor, com média de 156 h/mês.

A sazonalidade climática gera impacto significativo na disponibilidade de água dos sistemas hídricos. De modo a avaliar quantitativamente os excedentes (EXC) e déficits (DEF-1) de água no solo é imprescindível calcular o balanço hídrico. Há diversas metodologias para se calcular o referido balanço, entretanto, aquelas que são simplificadas, isto é, dependem de menos parâmetros, são mais utilizadas em regiões com escassez de dados. Neste estudo, calculou-se o balanço hídrico climatológico com base nas variáveis climáticas de precipitação e temperatura do ar, segundo a metodologia de Thornthwaite & Mather (1955). A Figura 2.2 mostra o gráfico do balanço hídrico para o período de 1961 a 1990, onde se observa longo

período de déficit hídrico entre maio e outubro e o superávit, desde o início de novembro até meados de abril.

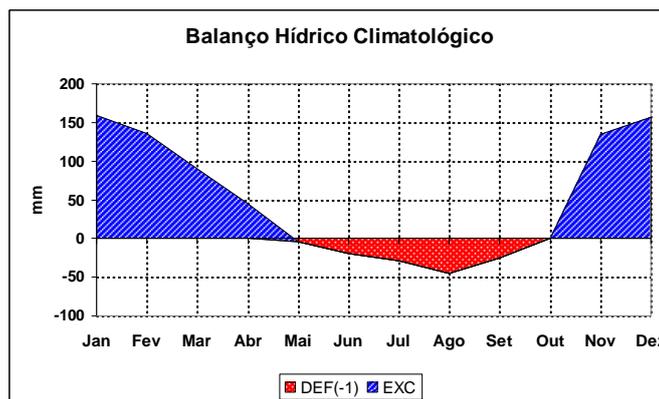


Figura 2.2 - Balanço Hídrico Climatológico 1961-1990 da Estação Meteorológica Brasília (Cod. 83377). Fonte: INMET, 2003.

O padrão de distribuição temporal das chuvas influencia significativamente na manutenção e elevação dos níveis freáticos ao longo do ano. De modo geral, os níveis freáticos atingem valores máximos no final do período chuvoso (no mês de maio) e valores mínimos no início do período de regularização das chuvas (dezembro), salvo em anos atípicos.

2.2 Solos

Os solos, além de filtrarem as águas e regularem a disponibilidade hídrica em subsuperfície, são reservatórios de água. Os espaços vazios (poros ou interstícios) entre os grãos de solos, quando saturados de água, constituem os denominados sistemas aquíferos intergranulares, cujos atributos físicos como: composição, porosidade, textura e estrutura, são controladores da taxa de infiltração de água nos solos.

O tipo de solo, associado à declividade do terreno, uso da terra e cobertura vegetal, variabilidade espacial e temporal de chuva, constituem os principais fatores reguladores da recarga natural dos reservatórios subterrâneos (aquíferos intergranulares e fraturados).

As descrições relativas a cada tipo de solo do DF estão disponíveis no "Levantamento de Reconhecimento dos solos do Distrito Federal", Embrapa (1978). As principais classes de solos mapeadas são os Latossolos, que ocupam cerca de 50% da área e os Cambissolos, que recobrem aproximadamente 30%, conforme mostra a Figura 2.3.

Latossolos podem ser diferenciados em Latossolos Vermelhos (~38% da área) e Latossolos Vermelho-Amarelos (15%). Esses solos são formados a partir de rochas metamórficas ricas em quartzo e sílica e ocorrem, frequentemente, em terrenos de relevo plano a suave ondulado,

regiões de chapada, onde durante prolongado período estiveram expostos às intempéries climáticas e a processos de alteração (intemperismo químico e físico).

Os Latossolos são comumente solos profundos, de até 20 metros de espessura e possuem capacidade moderada de infiltração de água. Em superfície, a taxa de infiltração (condutividade hidráulica) dos Latossolos varia na ordem de grandeza de 10^{-4} m/s a 10^{-7} m/s e, em profundidades de 50 cm a 200 cm, são comuns valores na ordem de 10^{-6} m/s a 10^{-7} m/s. Devido às suas características, esses solos possibilitam o desenvolvimento de importantes aquíferos intergranulares e ocupam excelentes áreas de recarga para aquíferos fraturados.

Os Cambissolos são solos que apresentam pouca alteração e possuem material cascalhento. Variam desde rasos a profundos, atingindo entre 0,2 a 1 metro e estão associados a relevo ondulado a forte ondulado, como vales e encostas de morros.

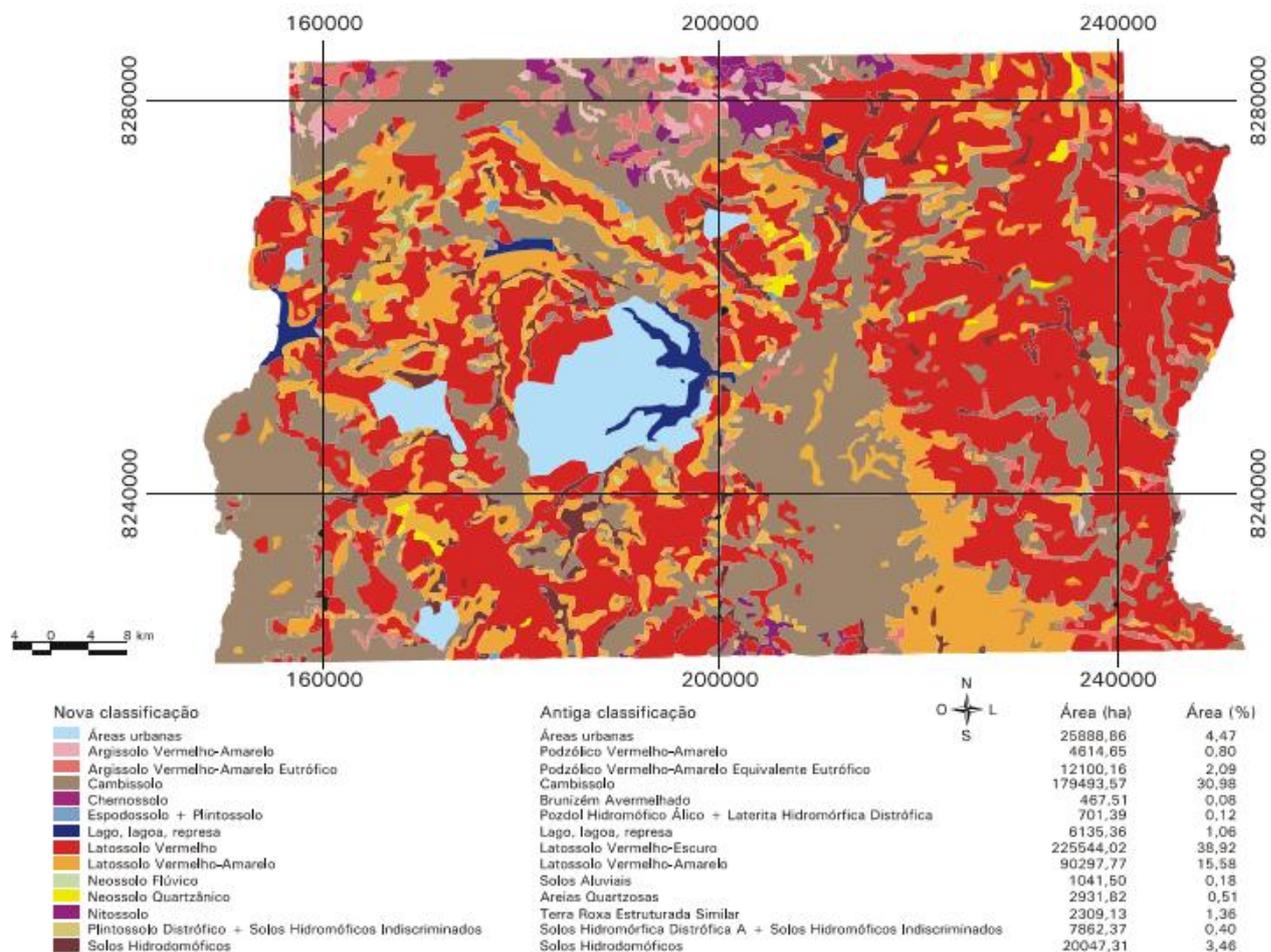


Figura 2.3 - Mapa de solos do Distrito Federal, na escala 1:100.000, com indicação das classes de solos atualizadas ao Sistema Brasileiro de Classificação dos solos. Fonte: Embrapa, 2004.

Esses solos possuem alta porosidade próximo à superfície e baixa taxa de infiltração em profundidade. Em superfície, a taxa de infiltração na ordem de grandeza de 10^{-4} m/s a 10^{-8} m/s e, em profundidades menores que 100 cm, são comuns valores de condutividade hidráulica na ordem de 10^{-4} m/s.

Os cambissolos não constituem bons aquíferos intergranulares, nem representam áreas de recarga significativas. As condições de restrita espessura e moderada a baixa capacidade de infiltração limitam o desenvolvimento de expressivos reservatórios.

Os neossolos presentes no Distrito Federal podem ser litólicos, quartzarênicos ou flúvicos, que ocorrem em áreas inferiores a 1% da poligonal total. Os neossolos quartzarênicos são solos rasos a profundos, com espessura variável de 0,5 mais de 2 metros. Estão associados a relevo plano ou suave-ondulado, possuem grande permeabilidade e alta taxa de infiltração. Como são solos formados a partir da alteração de rochas quartzíticas e areníticas, caracterizam-se por camadas de areias inconsolidadas e, portanto, são muito susceptíveis à erosão.

Os neossolos flúvicos são formados por sedimentos fluviais recentes, em regiões de relevo plano, situadas nas planícies de inundação dos maiores cursos d'água, ou nas calhas de drenagens em terrenos movimentados.

Os neossolos litólicos ocorrem sempre em áreas escarpadas e são extremamente rasos, em geral com espessura total inferior a 0,5 metro e ocorrem em associação com afloramentos rochosos.

Os argissolos ocupam cerca de 2 % da área do DF e compreendem as classes de Argissolo Vermelho (2,09%) e Vermelho-Amarelo (0,80%). São solos bastante heterogêneos e estão presentes tanto na porção inferior das encostas, onde o relevo é ondulado ou fortemente ondulado, como em terrenos aplainados. Possui capacidade de infiltração de água e profundidade variáveis. Frequentemente, a taxa de infiltração desses solos encontra-se na ordem de 10^{-6} m/s podendo chegar a 10^{-7} m/s, em profundidades maiores que 50 cm. Possuem espessura média de 10 metros e comportamento hídrico similar aos Latossolos. Constituem bons aquíferos intergranulares e ocupam significativas áreas de recarga.

Os nitossolos estão presentes em pouco mais de 1% da área e são derivados de rochas calcárias. Ocupam regiões de encostas onduladas, são profundos e bem desenvolvidos.

Os chernossolos estão associados a relevos movimentados e a rochas calcárias. São solos bem espessos, superior a 40 cm, mal drenados e representam apenas 0,08% da área do DF.

Os plintossolos, presentes em 0,40% da área do DF, possuem uma série de restrições quanto ao fluxo interno de água e, portanto, são mal drenados. São solos que apresentam grande

variabilidade em suas propriedades químicas devido aos periódicos ciclos de umedecimento e secagem a que são submetidos. Típicos de regiões quentes e úmidas com estação seca definida, ocorrem normalmente em terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado, onde há importante movimentação lateral de água.

Os solos hidromórficos são constituídos pelas classes de Gleissolos Háplicos, Gleissolos Melânicos e Espodossolos. Estão presentes em cerca de 4% da área do DF nas regiões de depressão, sujeitas a inundações. São solos restritos quanto ao fluxo de água, porém constituem sistemas conservadores de água, localizados próximos a nascentes e cursos d'água.

2.3 Geomorfologia

O padrão de relevo, a densidade de drenagem, a hipsometria, a declividade e demais aspectos geomorfológicos influenciam nas condições gerais de circulação d'água, controlando complexos padrões de sistemas de fluxo locais, intermediários ou regionais de água subterrânea. Além disso, o relevo é determinante das condições de recarga dos sistemas aquíferos e descarga dos rios.

A área do DF está localizada no Planalto Central do Brasil, caracterizada pela ocorrência de relevo com padrão plano a suave ondulado (região de chapadas), relevos inclinados que se estendem da base das chapadas e dos morros residuais em direção aos vales (pediplanos) e relevos dissecados (entalhados) ao longo dos rios Paranoá, São Bartolomeu, Preto, Maranhão e Descoberto (Novaes Pinto, 1994ab).

Recentemente, com base no padrão de relevo, na declividade, no grau de dissecação e na densidade de drenagem, Campos (2011) atualizou as propostas de compartimentação de Novaes Pinto (1994ab) e Martins & Baptista (1998). Campos (2011) sugere, a partir da evolução das propostas anteriores, os seguintes compartimentos geomorfológicos para o DF:

Plano Elevado - exibe padrão de relevo plano a suave ondulado com declividades inferiores a 10% e cotas superiores a 1.100m. São regiões cobertas por Latossolos e com baixa densidade de drenagens. Devida às suas características, esse compartimento representa importante área de recarga natural;

Plano Intermediário - o relevo plano a suave ondulado difere do padrão anterior apenas por apresentar declividades inferiores a 12% e cotas entre 950 e 1.050m. São, também, importantes áreas de recarga natural;

Vale Dissecado - apresenta padrão de relevo ondulado a forte ondulado com declividades superiores a 20% e cotas inferiores a 800m. Nessas áreas há ampla predominância de Cambissolos e elevada densidade de drenagem. Não há infiltração efetiva nessas áreas;

Rebordo - o padrão de relevo é ondulado com declividades entre 10 e 20% e cotas entre 950 e 1.100m. Possui moderada densidade de drenagem e predominância de Cambissolos. A recarga nessas áreas é reduzida devido a fina espessura dos solos;

Rampa Íngreme - tem padrão de relevo forte ondulado a escarpado, declividades superiores a 25% e cotas entre 800 e 1.100m, ampla predominância de Cambissolos e alta densidade de drenagem. Nessas áreas, a perda de água por escoamento superficial é alta, por causa da declividade e da presença de solos muito rasos, de modo que a recarga é reduzida.

A Figura 2.4 apresenta o Mapa de Compartimentação Geomorfológica do Distrito Federal.

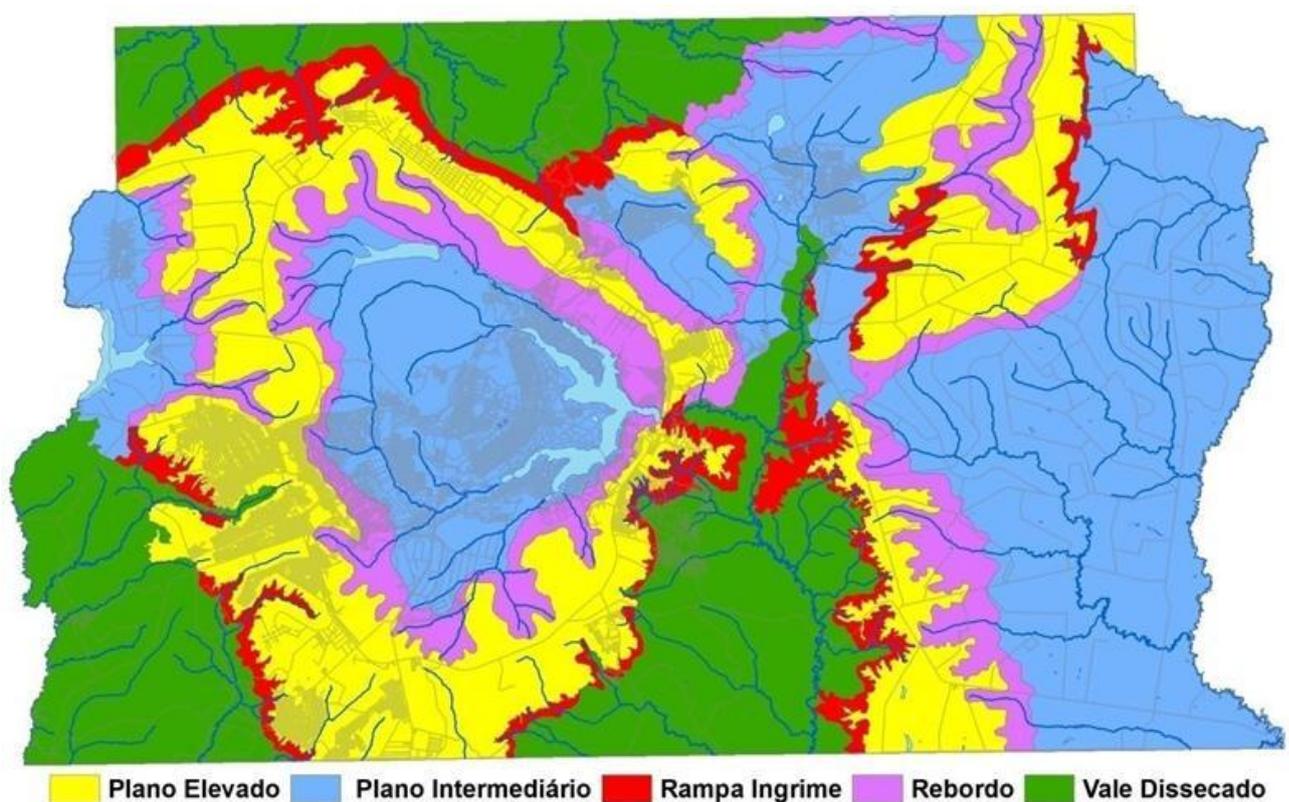


Figura 2.4 - Compartimentação Geomorfológica do Distrito Federal. Campos (2011) adaptado de Novaes Pinto (1994a) e Martins & Baptista, (1998).

2.4 Geologia

Os diferentes tipos de rochas que formam o subsolo da Terra dão origem aos solos sobrepostos, além de funcionarem como reservatórios de água subterrânea. As rochas contêm espaços vazios (poros e/ou fraturas) que variam de dimensões e formas, e dão origem aos aquíferos fraturados.

Apesar desses interstícios (espaços vazios) poderem atingir dimensões de uma caverna em algumas rochas, observa-se que a maioria tem dimensões muito pequenas, sendo ou não interligados. A acumulação e circulação das águas infiltradas será tanto maior quanto maior for a dimensão e interligação desses interstícios.

Assim como os solos, o tipo de rocha associada à variabilidade da precipitação, ao tipo de uso e cobertura vegetal do solo e à topografia do terreno são fatores reguladores da taxa de recarga natural dos aquíferos fraturados.

De acordo com o mapa geológico do DF (Figura 2.5) encontram-se distribuídas na região, rochas dos grupos Canastra, Paranoá, Araxá e Bambuí. No vocabulário geológico o termo *Grupo* representa um conjunto de rochas que tem características similares relativas à composição, idade, origem e outras propriedades genéticas.

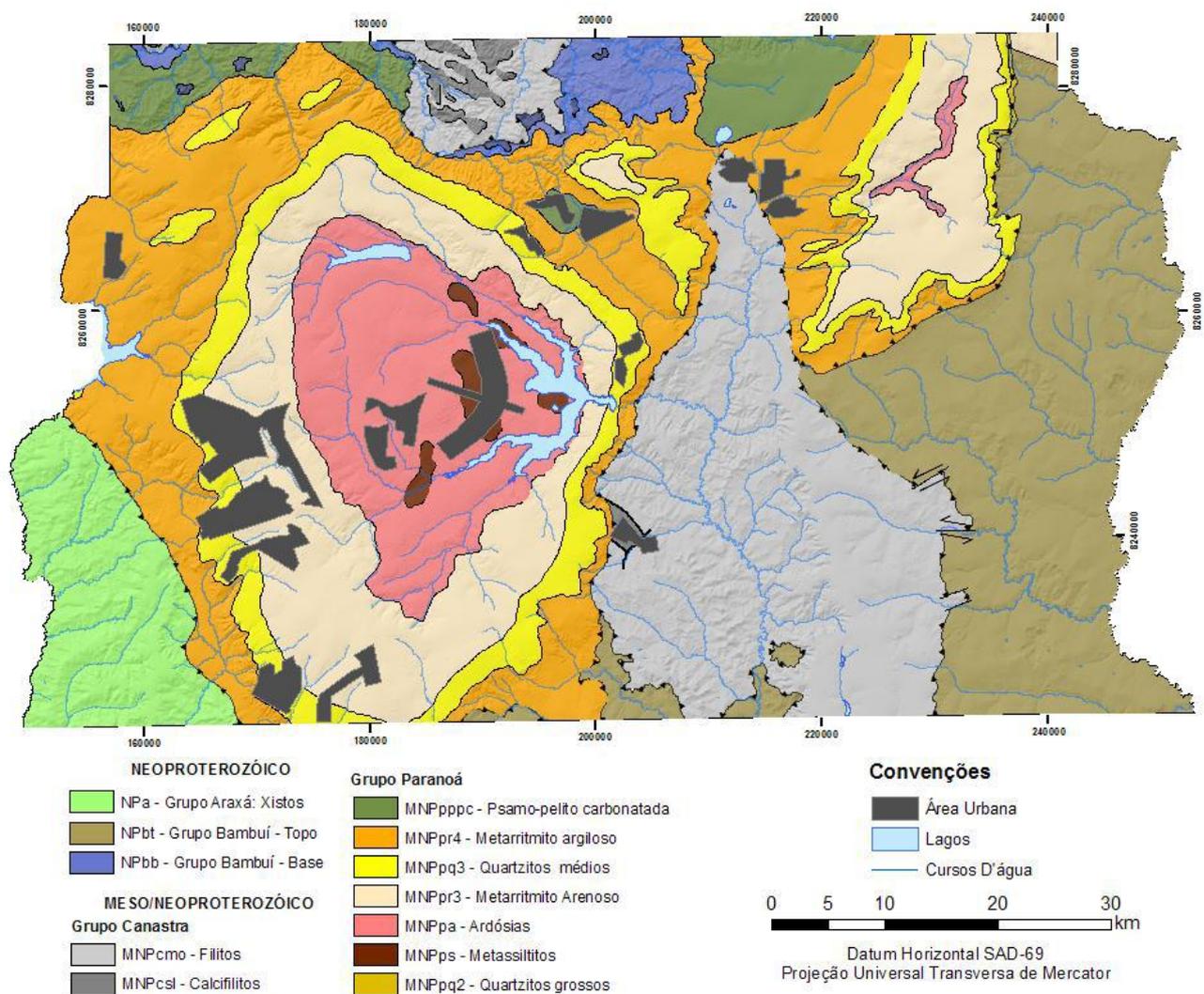


Figura 2.5 - Mapa Geológico Simplificado do Distrito Federal na escala 1:100.000. Fonte: Atualizado de Campos & Freitas-Silva (1998).

A Figura 2.6 apresenta as camadas de rochas empilhadas (estratigrafia) ordenadas segundo seus respectivos grupos e idades geológicas.

O Grupo Paranoá é o mais expressivo conjunto de rochas observado na região, ocupa 65% da área. Fazem parte deste Grupo as seguintes rochas ordenadas da base para o topo: Quartzito Conglomerático Fino (Q_2 - Formação Paranã), Metassiltitos Argiloso (S - Formação Ribeirão Piçarrão), Ardósias (A - Formação Ribeirão Torto), Metarritmito Arenoso (R_3 - Formação Serra da Meia Noite), Quartzito médio (Q_3 - Formação Ribeirão Contagem), Metarritmitos Argilosos (R_4 - Formação Córrego do Sansão); e a unidade Psamo-Pelito-Carbonatada (PPC - Formação Córrego do Barreiro).

O potencial de armazenamento e de circulação de água das rochas do Grupo Paranoá está associado aos Quartzitos (Q_3) e Metarritmito Arenoso (R_3). Essas rochas apresentam elevado grau de fraturamento e se constituem em importantes reservatórios da região, tendo em vista os altos valores de vazões observadas em poços construídos nas áreas de abrangência dessas rochas.

As rochas do Grupo Canastra, presentes no DF, são constituídas por duas Formações: Serra do Landim e Paracatu. Assim como os grupos, formações são um conjunto de rochas agrupadas segundo suas características, entretanto são unidades subordinadas à categoria de grupo.

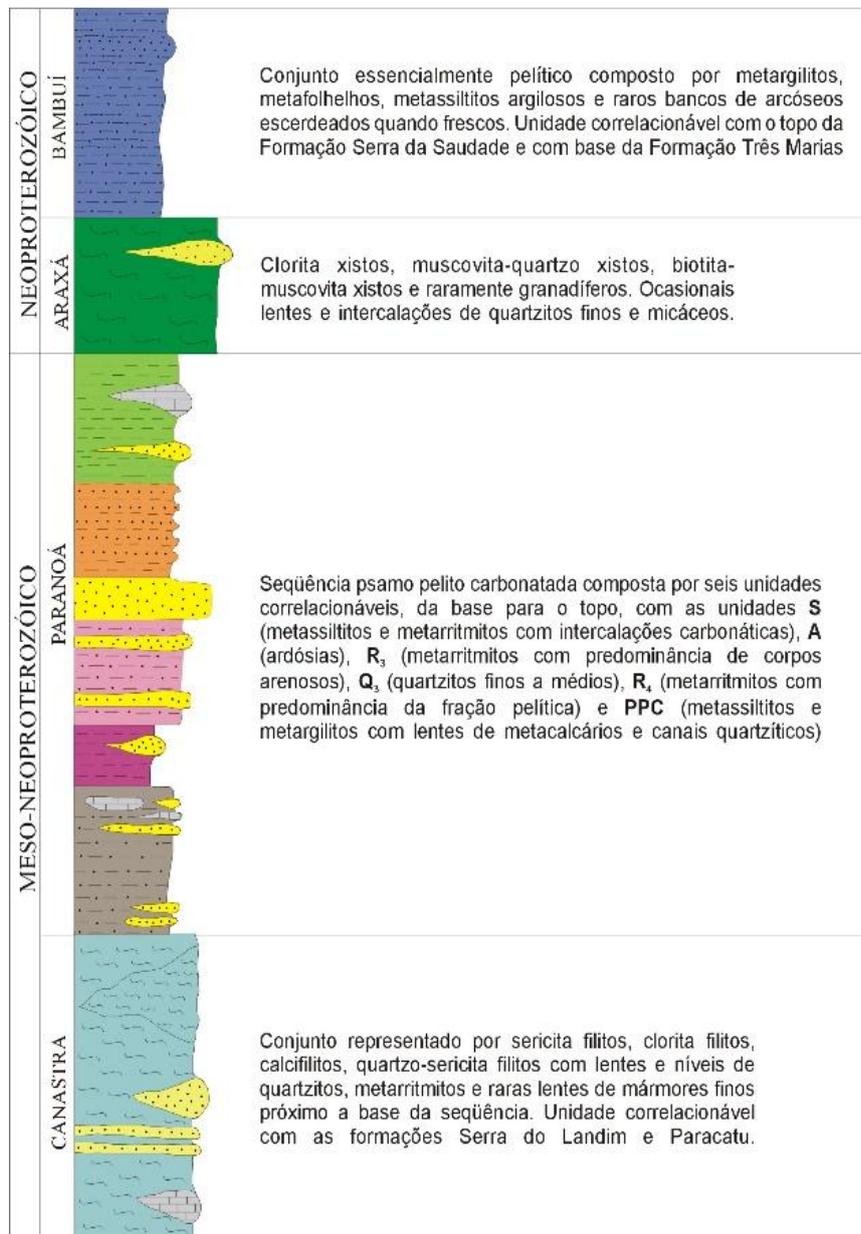


Figura 2.6 - Coluna estratigráfica simplificada dos Grupos de rochas presentes no Distrito Federal. Fonte: Freitas-Silva & Campos (1998).

Em aproximadamente 15% da área, o Grupo Canastra ocorre, principalmente, na porção sul do vale do rio São Bartolomeu. É essencialmente constituído por rochas filíticas e, subordinadamente, por corpos lenticulares de mármore e quartzitos.

Devido ao pequeno tamanho dos poros presentes nas rochas filíticas do Grupo Canastra, a circulação de água nessas rochas é limitada, entretanto, a alta densidade de faturas permite relativo acúmulo e recarga de água.

O Grupo Araxá é formado essencialmente por xistos e, ocasionais intercalações de quartzitos finos e micáceos. Este Grupo tem ocorrência restrita a região sudoeste do DF e ocupa cerca de 5% do território.

O Grupo Bambuí está presente em 15% da área, distribuído na região leste do DF e na maioria das vezes associados a terrenos arrasados. As principais rochas desse grupo são os siltitos laminados, siltitos argilosos e de arcóseos.

Tanto as rochas do Grupo Araxá quanto as do Grupo Bambuí são, em geral, rochas que apresentam baixa porosidade e baixo grau de fraturamento, fato que limita as condições de armazenamento e recarga de água nessas unidades geológicas.

Em virtude da movimentação da crosta terrestre, as rochas sofrem deformações, do tipo dobras e/ou fraturas, decorrentes de processos ora compressivos e ora distensivos. Esses movimentos na região do DF alteraram a empilhamento original das rochas e geraram alta densidade de fraturas. Entretanto, a densidade de fraturas varia em função da resistência (dureza) de cada tipo de rocha. Observou-se que as rochas com maior tendência ao faturamento são os quartzitos e as rochas carbonáticas. Essas rochas contêm fraturas com aberturas que variam de milímetros a centímetros.

Como já mencionado, rochas que apresentam alto grau de fraturamento funcionam como reservatórios subterrâneos que acumulam água e, interligados, permitem a circulação das águas que nele se infiltram.

2.5 Hidrogeologia

Os reservatórios subterrâneos desempenham importantes funções como, por exemplo, manutenção da perenidade dos cursos d'água superficiais no período de seca e depuração de substâncias que contaminam as águas mais profundas.

A partir das características geológicas, pedológicas, geomorfológicas e climáticas do território do Distrito Federal, os reservatórios subterrâneos foram diferenciados em dois grupos denominados de Grupo dos Aquíferos Rasos ou Freáticos e Grupo dos Aquíferos Profundos. Esses grupos foram classificados, em razão dos tipos de porosidade predominante, em domínios denominados: Intergranular, Fraturado e Físsuro-Cárstico. Esses domínios, por sua vez, foram compartimentados em sistemas e subsistemas, conforme apresentado na Tabela 2.1.

A denominação dos sistemas e Subsistemas aquíferos segue a antiga nomenclatura estratigráfica e sua associação. O Subsistema R₃/Q₃ inclui duas unidades geológicas com mesmas características hidrogeológicas. O Subsistema S/A representa a associação de rochas da Formação Ribeirão Piçarrão com restrita contribuição de ardósias da Formação Ribeirão do Torto. O Sistema Araxá não foi dividido em subsistemas, pois conta com rochas xistosas monótonas.

O domínio dos aquíferos freáticos é definido por meios geológicos onde a porosidade é do tipo intergranular, ou seja, a água ocupa os espaços vazios entre os constituintes do material geológico (rocha ou solo). No Distrito Federal esse domínio é essencialmente representado pelos solos e pelas rochas que estão em processo de alteração.

Tabela 2.1 - Classificação dos reservatórios subterrâneos do Distrito Federal.

Grupo	Domínio	Sistema	Subsistema	Solo/Rocha predominante
Freático	Intergranular	P ₁	-	Latosolos Arenosos e Neossolos Quartzarênicos
		P ₂	-	Latosolo Argiloso
		P ₃	-	Plintossolos e Argissolos
		P ₄	-	Cambissolos
Profundo	Fraturado	Paranoá	S/A	Metassiltitos
			A	Ardósias
			R ₃ /Q ₃	Quartzitos e metarritmitos arenosos
		R ₄	Metarritmitos micáceos	
		Canastra	F	Filitos micáceos
		Bambuí (topo)	-	Siltitos e arcóseos
	Araxá	-	Mica xistos	
	Físsuro-Cárstico	Paranoá	PPC	Metassiltitos e lentes de mármore
		Canastra	F/Q/M	Calcifilitos, quartzitos e mármore
		Bambuí (base)	-	Lentes de calcáreos,

Fonte: Campos & Freitas-Silva (1998).

O referido domínio aquífero inclui a transição entre a zona não saturada (zona onde os vazios, poros ou fraturas, não se encontram totalmente preenchidos d'água) e a zona saturada do aquífero (zona onde os vazios, poros ou fraturas, estão totalmente preenchidos d'água). Essas zonas são separadas por uma linha conhecida como nível freático, ou lençol freático, abaixo da qual estará o solo na condição de saturação e acima na condição de não saturação de água.

Os aquíferos desse domínio são diferenciados nos sistemas P₁, P₂, P₃ e P₄, em função de vários parâmetros, dos quais dois são destacados: a espessura saturada (zona onde os vazios, poros ou fraturas, se encontram totalmente preenchidos d'água) e a condutividade hidráulica

(velocidade de fluxo da água no meio), sendo que ambos são diretamente controlados pelo tipo de material geológico e pelo relevo do terreno onde cada tipo se desenvolve.

Os sistemas P_1 e P_2 , representado por Latossolos Arenosos, Argilosos e Neossolos Quartzarênicos são caracterizados por espessuras maiores que 20 metros e condutividades hidráulicas, respectivamente, alta (maior que 10^{-6} m/s) e moderada (da ordem de grandeza de 10^{-6} m/s). Esses aquíferos geram importantes reservatórios subterrâneos e/ou zonas de recarga eficientes, funcionando como reguladores de fluxo interno de água e depuradores de cargas contaminantes.

No Sistema P_3 as espessuras totais são reduzidas para menos de 10 metros e a capacidade de infiltração é moderada, com condutividade hidráulica na ordem de 10^{-6} m/s. Este sistema apresenta restrita condição de reservatório, mas são importantes depuradores.

O sistema P_4 caracteriza-se por pequenas espessuras (comumente menores que 1 metro, podendo alcançar 2,5 metros) e valores de condutividade hidráulica muito baixa. Esse sistema está associado a relevo movimentado, solos pouco desenvolvidos e é comum a ausência de zona de saturação, principalmente quando desenvolvidos sobre rochas argilosas.

O domínio dos aquíferos profundos é representado pelo meio rochoso, onde a água se acumula nas fraturas, fendas e/ou falhas, abertas devido ao movimento da crosta terrestre. A capacidade das rochas de acumular água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, que permitem a infiltração e o fluxo de água.

Em razão do tipo de rocha, os aquíferos profundos do DF podem ser do Domínio Fraturado ou do Domínio Físsuro-Cárstico. O primeiro é representado pelas rochas metamórficas dos sistemas Paranoá, Canastra, Bambuí e Araxá e o segundo, por rochas carbonáticas, na forma de lentes, dos subsistemas PPC e F/Q/M.

O sistema aquífero Paranoá, dividido nos seguintes subsistemas: S/A; A; R_3/Q_3 ; R_4 , caracterizam-se em importantes sistemas aquíferos, pois possuem rochas com intenso faturamento, que resultam em excelentes condições de circulação hídrica.

Associados a relevo aplainado, a altas alturas pluviométricas e a amplas áreas de Latossolos, o subsistema R_3/Q_3 se configuraram o desenvolvimento dos melhores aquíferos da região. Os poços perfurados na região desse subsistema fornecem altas vazões (superiores a 12.000 l/h) com rara incidência de poços secos.

O Domínio Físsuro-Cárstico está associado a aberturas de fraturas de dissolução em lentes carbonáticas interligadas com rochas psamo-pelíticas. As condições de circulação da água são intermediárias e apresenta vazões médias de 6.500 l/h. Entretanto, o subsistema F/Q/M

apresenta especial importância na região, pois é responsável pelo abastecimento exclusivo da Cidade Satélite de São Sebastião, com cerca de 1000.000 habitantes.

A Figura 2.7 apresenta a distribuição dos reservatórios subterrâneos do Distrito Federal.

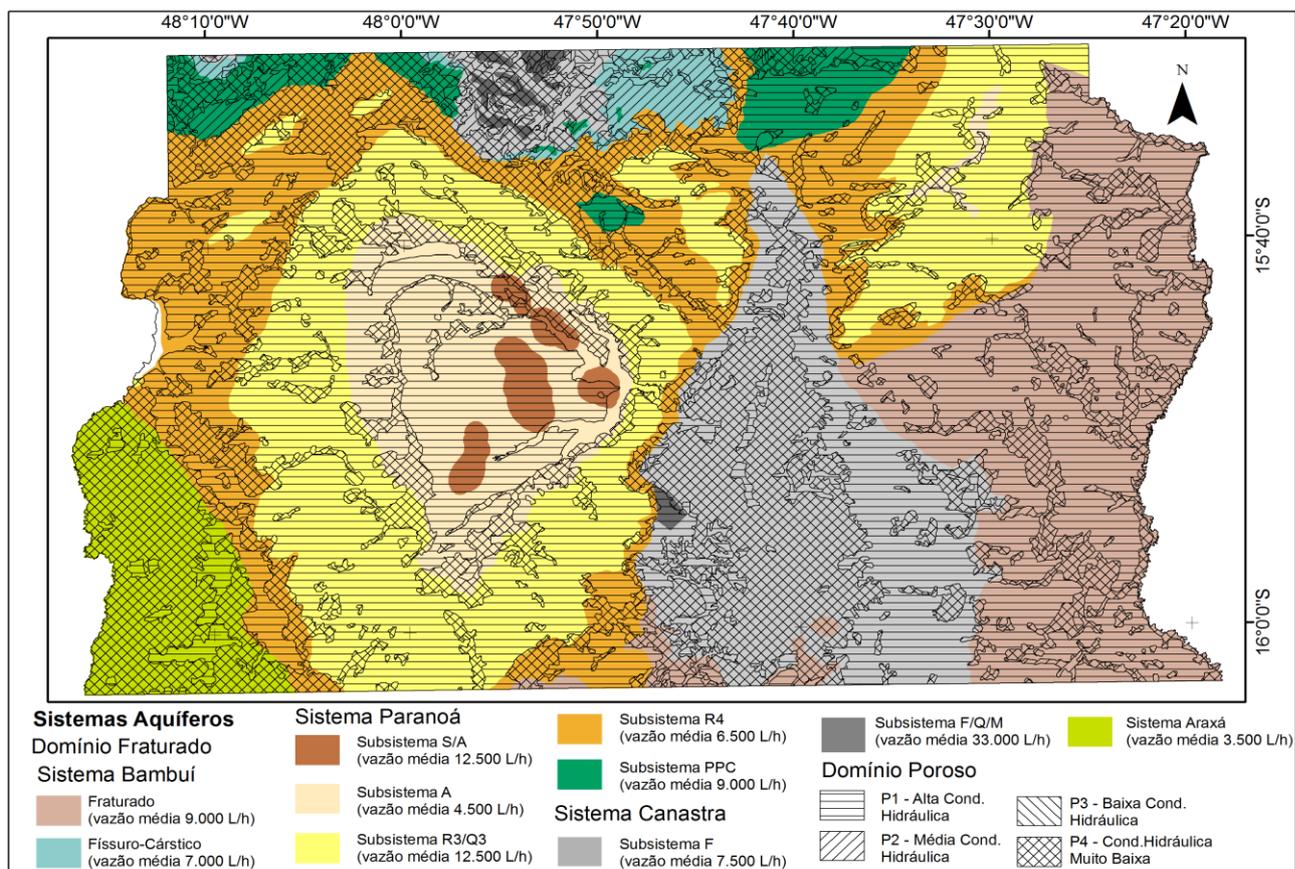


Figura 2.7 - Distribuição dos reservatórios subterrâneos do Distrito Federal. Atualizado de Campos & Freitas-Silva (1998).

3. Recarga artificial dos aquíferos

3.1 Recarga Natural dos Aquíferos

Toda a água existente no planeta Terra está em constante movimentação através do ciclo hidrológico (Figura 3.1). O ciclo pode ser subdividido na porção atmosférica-superficial e na porção superficial-subterrânea, sendo sua principal distinção a velocidade de movimentação da água que é rápida no primeiro (dias a meses) e lenta a muito lenta no segundo compartimento (anos a milhares de anos). Este ciclo envolve processos inter-relacionados incluindo a condensação, precipitação, infiltração da água nos solos, escoamento pela superfície, escoamento interno, transpiração pelas plantas, evaporação direta a partir de lâminas de água livres (rios, córregos e lagos), dentre outros (Fetter 1994).

A recarga natural inclui a parcela das águas de chuvas que depois de infiltrada nos solos alcance a zona saturada dos aquíferos. Desta forma fica claro que alterações nas áreas de recarga

como impermeabilização, compactação dos solos e desmatamento afetam o processo de recarga natural e consequentemente o ciclo hidrológico.

No ciclo hidrológico, a água da precipitação pode cair diretamente na superfície terrestre e infiltrar-se. A água que se infiltra no solo fica sujeita à evaporação, pode ser absorvida pelas plantas sendo posteriormente evapotranspirada, ou pode escoar em profundidade em direção à zona saturada sub-superficial; esta última é a água de recarga (Roseiro 2009).

A recarga natural dos aquíferos dá-se em áreas sob sua influência e que combinem dois fatores fundamentais: a disponibilidade de água; seja oriunda de precipitação pluviométrica ou de corpos d'água superficiais; e a presença de formações geológicas que permitam a infiltração e transporte subterrâneo da água (ex. solos arenosos, fraturas) (Moura 2004).

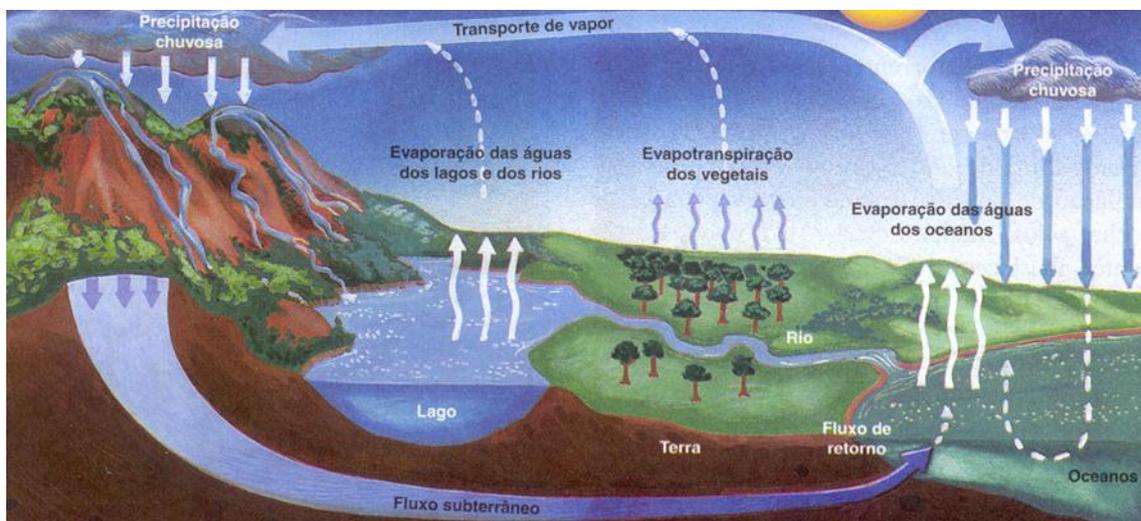


Figura 3.1 - O ciclo hidrológico com destaque para principais os processos responsáveis pela circulação da água da atmosfera para a superfície e subsuperfície e novamente para a atmosfera. (Fonte: <http://nd.water.usgs.gov/>).

3.2 Recarga Artificial dos Aquíferos

A água subterrânea não está distribuída de forma homogênea no planeta. Em alguns locais, em função do clima e de características geológicas, há disponibilidade desse recurso e em outros não. Para minimizar os efeitos da dependência desses fatores e da superexploração, a recarga artificial é muito utilizada em diferentes localidades do mundo.

A água utilizada em recarga pode ter diferentes origens: águas residuais de estações de tratamento, água dessalinizada, água de corpos hídricos superficiais, água da chuva recolhida dos telhados de casas e inclusive água subterrânea.

A recarga artificial pode ser praticada, a princípio, em qualquer tipo de formação permeável que tenha condições de armazenar e transmitir água. Pode ser definida como uma atividade planejada cujo objetivo principal consiste em aumentar a quantidade de água subterrânea disponível, através da construção de infraestruturas projetadas para aumentar a recarga natural, ou para facilitar a percolação das águas superficiais ou para introduzir diretamente a água no aquífero através de furos de injeção (Diaz *et al.* 2000 e Diamantino 2005).

Fetter (1994) define que a recarga artificial consiste de qualquer processo que induza infiltração ou injeção de água nos aquíferos, seja ela planejada ou não.

Roseiro (2009) define a recarga artificial de aquíferos como sendo o armazenamento de excedentes hídricos em meio subterrâneo nos períodos de maior disponibilidade para serem utilizados em períodos de seca ou escassez.

Dillon (2005) considera que a recarga artificial é uma ferramenta importante para a gestão da recarga de aquíferos, constituindo a forma mais barata para o abastecimento de pequenos aglomerados populacionais e constitui a solução viável para alcançar os objetivos do Milênio decretado pelas Nações Unidas, no ano 2000, no tocante à água potável acessível a todas as pessoas, principalmente em zonas semiáridas e áridas.

Um dos principais objetivos da recarga artificial consiste em aumentar a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos, mas pode ser utilizada para outros fins como, por exemplo, para o controle da intrusão salina em aquíferos costeiros, armazenamento de água, redução da subsidência dos solos, melhoria da qualidade da água através da remoção de sólidos suspensos pela filtração pelo solo ou através da diluição por mistura com as águas subterrâneas existentes.

A maioria dos trabalhos desenvolvidos sobre recarga artificial tem como propósito a ampliação das reservas hídricas. O presente trabalho pretende com a recarga artificial melhorar a qualidade da água de aquíferos contaminados no Distrito Federal, a partir da diluição/tratamento *in situ* das águas subterrâneas.

Além dos conceitos anteriormente apresentados ainda existem termos afins conforme definições a seguir:

Recarga Facilitada

Consiste em promover medidas que melhorem a capacidade de infiltração do solo, tais como: 1) substituir as plantas de raízes profundas por plantas com raízes mais superficiais, diminuindo dessa forma as perdas por evapotranspiração, 2) dar preferência a plantas com folhagem que interceptem menos as águas da chuva, 3) adotar medidas de acumulação e conservação da água no solo (ex.: uso de terraços agrícolas e plantio em curvas de nível), 4)

remover o material argiloso que se deposita no solo e 5) rebaixar o nível piezométrico pela exploração do aquífero mais raso.

A variação sazonal do nível piezométrico ou o rebaixamento causado pelo bombeamento determinam o espaço disponível no aquífero para o armazenamento subterrâneo e desta forma também controlam os volumes possíveis de recarga.

Recarga Induzida

São sistemas de recarga denominados de barreiras de infiltração. Consistem na construção de poços próximos de cursos d'água, com o objetivo de que uma maior quantidade de água do rio recarregue o aquífero subjacente, à medida que se provoca o rebaixamento no aquífero em função do bombeamento.

Recarga Acidental

A recarga pode ocorrer de forma acidental quando através de fossas sépticas não impermeabilizadas, aterros sanitários, campos agrícolas excessivamente irrigados e rupturas de sistemas de tratamento e abastecimento de água e de captação de esgoto alcançam a zona vadosa e saturada dos aquíferos (Barbosa *et al.* 2008). De forma geral os volumes de recarga acidental não são favoráveis aos aquíferos do ponto de vista de sua qualidade das águas.

3.3 Métodos e Técnicas

Um dos principais fatores que vão influenciar na escolha do método de recarga artificial mais adequado para determinado local está relacionado ao conhecimento do mecanismo de recarga natural. Outros fatores importantes como clima, tipo de solo e rocha, índices pluviométricos, relevo, origem da água, uso e ocupação do solo, aspectos legais e econômicos também devem ser considerados.

Considerando os tipos de aquíferos a serem recarregados, a metodologia pode variar de recarga direta por infiltração no solo, mais adequada para aquíferos livres (freáticos) ou indireta por meio de poços que atinjam a zona saturada do aquífero, mais adequada para os confinados profundos.

Os métodos de recarga à superfície por infiltração no solo (direta) consistem em permitir a infiltração das águas através de uma extensa superfície de contato entre a água e o solo. Os métodos indiretos de recarga consistem na introdução de água no aquífero através de poços.

Díaz *et al.* (2000) consideram que os métodos utilizados para as operações de recarga dividem-se em: recarga à superfície e recarga em profundidade. Os métodos de recarga à

superfície podem ser aplicados ou não no leito dos rios. Os primeiros incluem as represas, as sarjas e os canais permeáveis; os segundos incluem as balsas, as valas, os canais e os terrenos extensos. Os métodos de recarga em profundidade incluem os furos de injeção, as grandes cavidades profundas no solo, os drenos e galerias e as valas e sondagens.

Gale *et al.* (2002) afirmam que a recarga artificial de aquíferos pode realizar-se, em termos gerais, do seguinte modo: (1) à superfície do solo facilitando a infiltração da água através de bacias, canais, valas, etc., (2) na zona não saturada do solo colocando a água de recarga em valas de infiltração, poços ou furos, ou (3) diretamente no aquífero recorrendo à injeção da água. Estes sistemas de recarga podem agrupar-se nas seguintes categorias: (1) Métodos de alagamento à superfície; (2) Poços e furos abertos; (3) Furos e sondagens; (4) Barreira de infiltração; (5) Represas de armazenamento de areia; (6) Captação de água da chuva em telhados.

Gale & Dillon (2005) dividem os métodos de recarga artificial em (1) Métodos de espalhamento (bacias de infiltração, *Soil Aquifer Treatment (SAT)*, inundações controladas, recarga incidental por irrigação); (2) Métodos que provocam modificações no leito de rios (bacias de percolação a jusante de açudes de controlo, represas de armazenamento de areia, açudes sub-superficiais, açudes permeáveis); (3) Furos de injeção, furos de injeção e recuperação (*Aquifer Storage and Recovery - ASR*) e poços; (4) Barreira de infiltração (*induced bank infiltration e interdune-filtration*); (5) Coleta de água da chuva (*rainwater harvesting*).

SEWRPC (2006) classifica os métodos de recarga artificial de aquíferos em infiltração superficial por intermédio de bacias de infiltração; infiltração subsuperficial por intermédio de furos ou valas na zona não saturada do solo; (3) recarga direta por intermédio de furos de injeção, que também podem ser de recuperação; (4) recarga facilitada através de alterações na superfície do solo que aumentam a recarga nas zonas naturais; (5) infiltração *riverbank* que inclui recarga induzida, que utiliza campos de poços nas proximidades de cursos de água os quais induzem a recarga do escoamento superficial para o aquífero; (6) *water banking* no qual um aquífero é recarregado através de um dos métodos anteriores para recuperação futura.

Bouwer (2002) refere, de forma simplificada, apenas a quatro tipos de sistemas de recarga artificial: (1) infiltração superficial; (2) infiltração na zona não saturada; (3) poços; (4) sistemas de recarga combinados.

Fetter (1994) afirma que a recarga artificial pode ser realizada através de caixas ou barragens de infiltração, espalhamento de água sobre o solo, sulcos paralelos às curvas de nível, poços de injeção, dentre outros.

A seguir serão descritos os diversos sistemas de recarga artificial segundo propostas de Diamantino (2005).

3.3.1 Métodos de Recarga em Superfície

São métodos que consistem essencialmente em permitir a infiltração da água através de uma extensa superfície de contato entre a água e o solo. São normalmente utilizados em aquíferos freáticos, que não possuem níveis de baixa permeabilidade à superfície do solo ou na zona não saturada do aquífero, através da qual se pretende que a água de recarga se infiltre e atinja a zona saturada (Diamantino 2005).

Bacias de infiltração/recarga

Este é o método mais simples, antigo e amplamente utilizado para executar a recarga artificial dos aquíferos, pois se baseia na simples infiltração da água destinada à recarga. O método é preferido por permitir o uso eficiente do espaço e requerer uma manutenção simples e rápida, sendo sua utilização indicada para áreas que disponham de topografia favorável e solos que apresentem moderada a elevada condutividade hidráulica (Moura 2004).

São bacias rasas escavadas no solo para permitir a infiltração da água. Para garantir a eficiência desse método são condições necessárias: a presença de solo permeável e zona não saturada sem camadas impermeáveis, presença de aquífero livre e ausência de zonas contaminadas. Quando se utilizam efluentes ou mesmo água de baixa qualidade esses sistemas funcionam como sistemas de recarga e de tratamento (Figura 3.2).

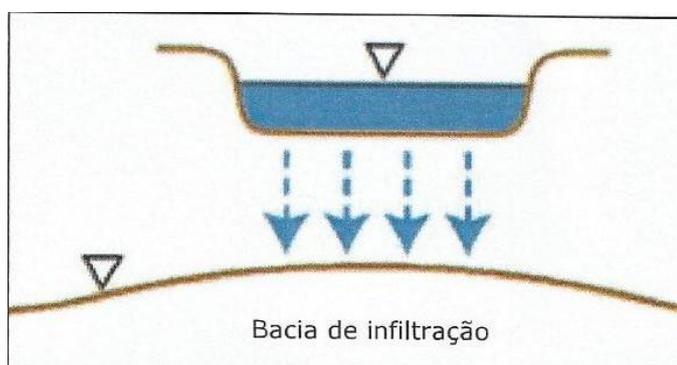


Figura 3.2 - Esquema simplificado de uma bacia de infiltração (extraído de Gale & Dillon, 2005).

Represas Perenes

São sistemas que armazenam grande quantidade de água a diferentes profundidades podendo ser utilizados como fonte de água para irrigação direta e para aumentar a recarga de aquíferos. São sistemas que podem funcionar como estruturas de recarga ou de armazenamento (Figura 3.3).

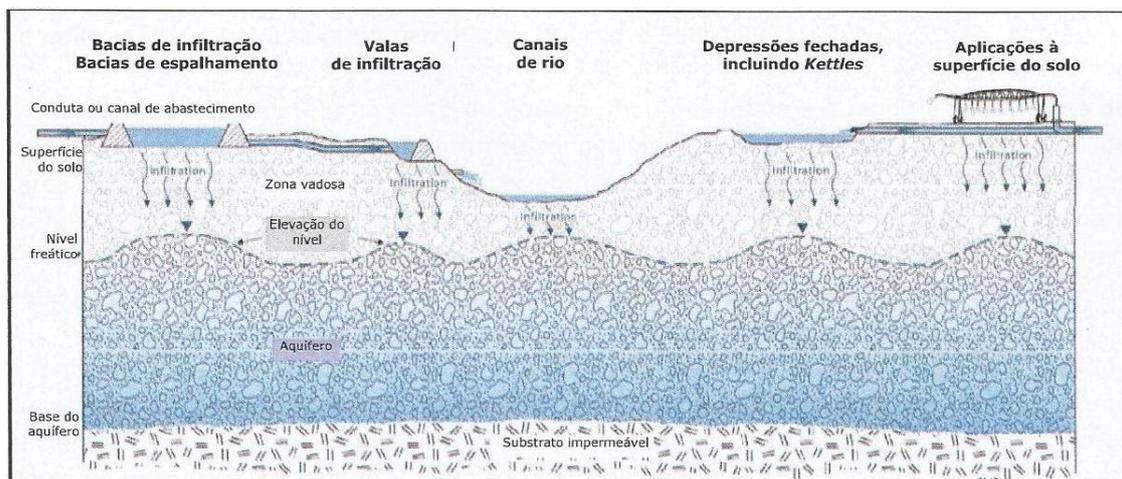


Figura 3.3 - Exemplos de métodos de recarga à superfície (Topper *et al.* 2004 in SEWRPC 2006).

Valas e Canais

Os canais e valas de infiltração são mecanismos construídos principalmente para aproveitar o excedente hídrico de um rio ou córrego (Figura 3.4). São barreiras hidráulicas que direcionam a água para sistemas de canais e valas de recarga, aproveitando a topografia do terreno (Almeida, 2011). São também sistemas alternativos quando não existe disponibilidade de terreno suficiente para a construção de bacias de infiltração (SEWRPC, 2006). Uma vala pode ser descrita como uma trincheira longa e estreita, sendo a sua largura inferior à sua profundidade.

As valas de infiltração também podem ser construídas em áreas urbanas, sob calçadas, avenidas ou estacionamentos. Pequenas obras de captação de água de chuva através de coberturas de edificações residenciais/comerciais podem ser realizadas (Figura 4), com direcionamento destas águas para valas rasas (Almeida, 2011).

Sistemas de Recarga por Alagamento

A partir de canais, a água é desviada de rios e descarregada em área plana, cercada por valas para evitar inundação. Forma-se uma fina camada de água sobre a superfície do solo com velocidade mínima de escoamento. São necessárias grandes áreas de terreno para desenvolvimento dessa operação de recarga. Entretanto, importante carga de sedimentos pode ser transportada pela água e depositada na superfície prejudicando as taxas de infiltração. Este método é menos dispendioso do que outros.

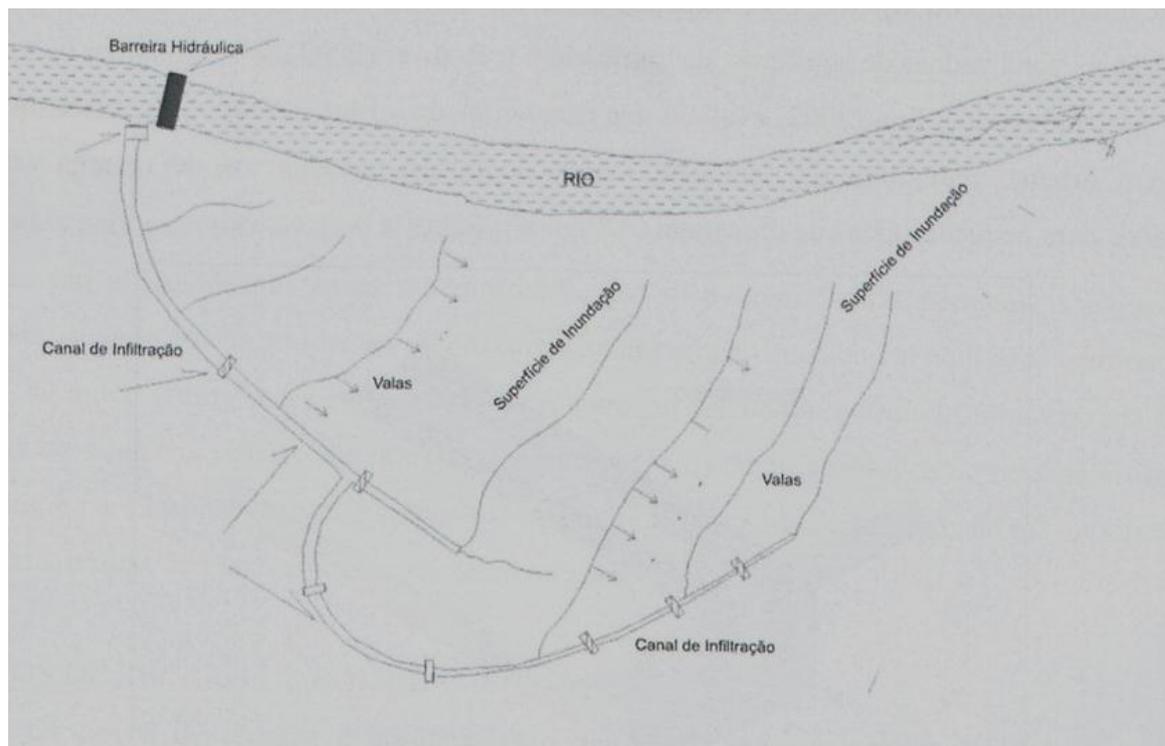


Figura 3.4 - Recarga em planície de inundação com valas e canais de desvio (Almeida 2011).

Sistemas de Recarga por Irrigação

Diaz *et al.* (2000) designa por “terrenos extensos” um tipo de sistema de recarga que consiste na descarga de água numa grande superfície do terreno, geralmente através da aplicação de irrigação com vazões elevadas. Neste tipo de recarga não existem custos adicionais para a preparação do terreno uma vez que já está instalado no local um sistema de distribuição da água. Normalmente a irrigação desenvolve-se em zonas planas onde o nível da água se encontra pouco profundo, o que implica um volume pequeno disponível para o armazenamento de água no aquífero. Os esquemas de irrigação são frequentemente uma forma de recarga não intencional de aquíferos, por exemplo, em zonas áridas e semiáridas onde a percolação profunda se baseia essencialmente na lixiviação de sais a partir da zona das raízes das plantas (Gale *et al.* 2002).

Represas de Armazenamento de Areia

São represas de armazenamento de areia (Figura 3.5) construídas em rios efêmeros e vales bem definidos e encaixados. São mais adequadas em locais de terreno irregular e em condições climáticas áridas, onde o escoamento superficial ocorre, normalmente, sob a forma de cheia. A parede da represa é construída de uma margem a outra do rio, no leito do rio de modo a abrandar as águas de cheias ou de eventos de escoamento temporários. Isto permite a deposição do material mais grosso e a sua acumulação na porção anterior da parede da represa. Esta parede pode ser subida após cada evento de cheia, sendo a sua altura que determina o volume do escoamento e a quantidade de material acumulado. Com o tempo, os sucessivos eventos de escoamento acabam por construir um aquífero artificial que permite a infiltração da água em vez do seu escoamento natural pelo rio. A água armazenada fica assim disponível para extração, no entanto, quando estas represas se constroem em cima de materiais permeáveis a água acumulada acaba também por recarregar o aquífero subjacente.

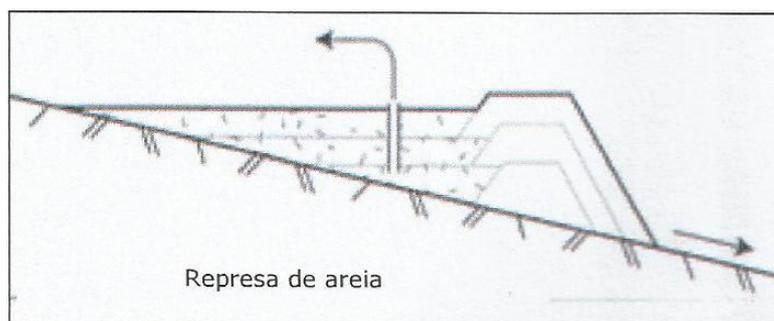


Figura 3.5 - Esquema Simplificado de uma represa de armazenamento de areia implantada no leito de rios (Gale & Dillon 2005).

Modificação no Canal de um Rio

Consiste na construção de barreiras ou represas (Figura 3.6) em série no leito do rio, utilizando os sedimentos aluvionares do próprio rio. Essas barreiras diminuem a energia de escoamento da água durante os episódios torrenciais, possibilitam a infiltração no solo e reduzem a erosão e o transporte de sedimentos.

Represas com Descarga

As represas com descarga são estruturas de barramento construídas no leito dos rios (Figura 3.7) para melhorar a infiltração da água que escoava com velocidade muito elevada, retém parte

da energia do escoamento torrencial promovendo a deposição dos sedimentos suspensos e o controle da descarga da água para infiltração a jusante.

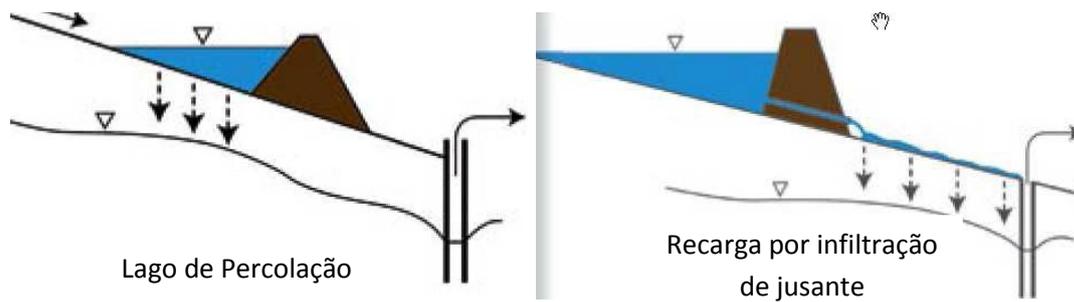


Figura 3.6 - Esquema simplificado de uma represa no leito do rio e pequena bacia de percolação a montante (Gale & Dillon 2005).

Figura 3.7 - Esquema simplificado de uma represa no leito do rio com zona de descarga (Gale & Dillon 2005).

Barreiras ou represas subterrâneas

São barreiras ou represas subterrâneas (Figura 3.8) construídas até atingir a base do aquífero subjacente ao leito do rio para reter o escoamento natural da água. São estruturas preenchidas por materiais de natureza impermeável e seladas. A recuperação da água infiltrada nestes sistemas é feita pela extração em furos próximos (Roseiro 2009).

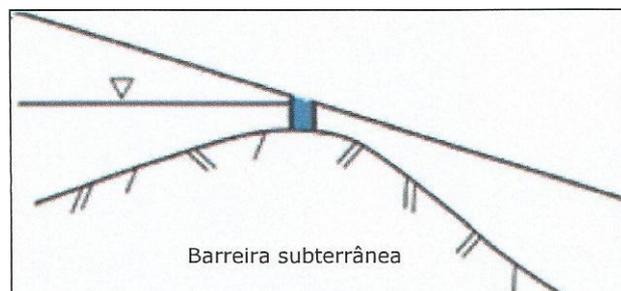


Figura 3.8 - Esquema simplificado de uma Barreira subterrânea no leito de um rio (Gale & Dillon 2005).

3.3.2 Método de Recarga Artificial na Zona Não Saturada

Recentemente surgiram novos métodos de recarga artificial de aquíferos (Figura 3.9) que se utilizam na recarga de aquíferos livres, nomeadamente os poços na zona não saturada ou *dry wells*, as trincheiras e galerias de infiltração, os reservatórios de infiltração (*infiltration shafts e infiltration pits*) e os aquíferos artificiais (Roseiro 2009).

Os métodos de recarga artificial na zona não saturada do solo são utilizados quando os solos de cobertura não são favoráveis à infiltração da água ou quando não existe um espaço disponível (Figura 3.10). São normalmente utilizadas valas, poços, furos ou outros tipos de escavações que permitam a passagem da água pelos níveis superficiais mais impermeáveis, níveis suspensos ou

níveis confinantes na zona não saturada e a sua posterior colocação na zona não saturada para infiltração até ao aquífero (adaptado de SEWRPC 2006).

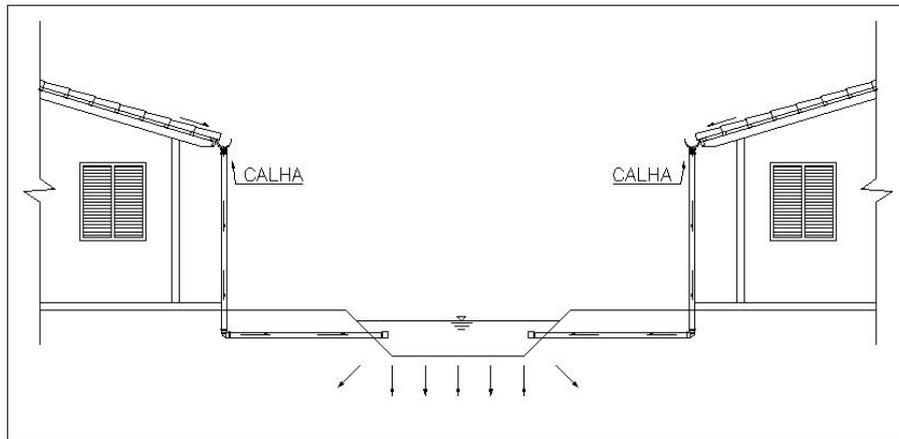


Figura 3.9 - Valas de infiltração, com uso de água de chuva captada em telhados.

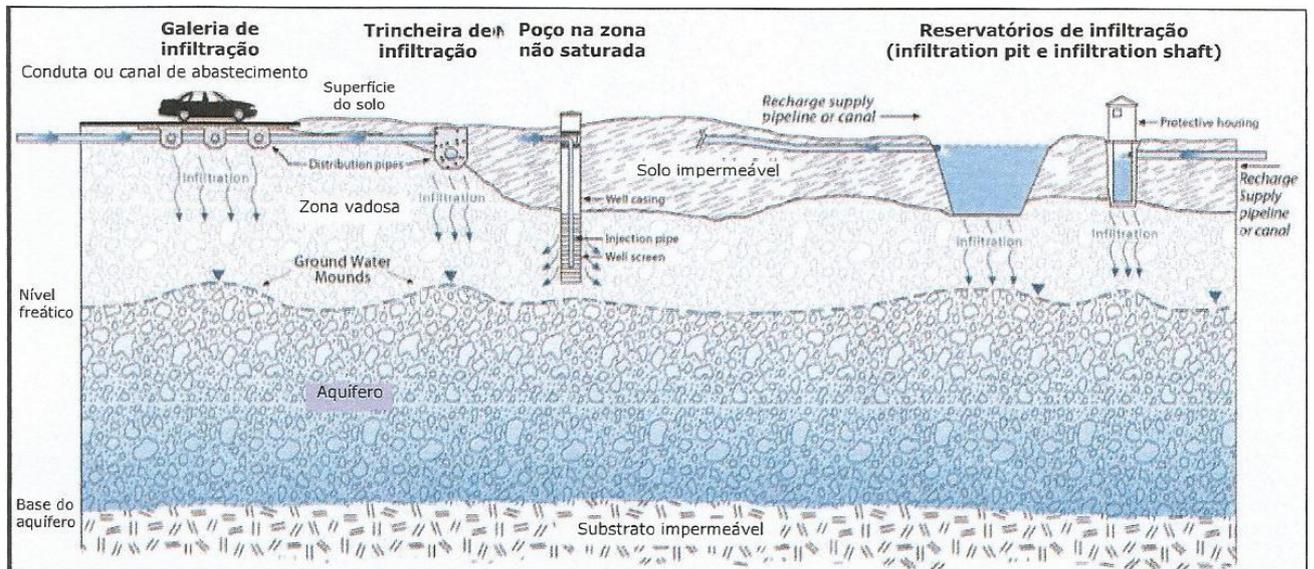


Figura 10 - Exemplos de métodos de recarga artificial em profundidade, na zona não saturada (Topper *et al.* 2004 in SEWRPC 2006).

Poços na Zona Não Saturada

De acordo com Diaz *et al.* (2000) esses poços são perfurações com cerca de 10 a 50 metros de profundidade destinados à recarga de aquíferos freáticos. Quando o nível freático se encontra a grande profundidade a utilização deste tipo de poços é mais econômica do que a utilização de poços de injeção, mas é preciso que penetrem uma seção adequada nos níveis permeáveis para que a recarga aconteça de forma apropriada.

Trincheiras de Infiltração

São sistemas de recarga econômicos, se comparados aos poços na zona não saturada, e podem ser utilizados quando os níveis permeáveis são rasos, mas os solos de cobertura tem baixa permeabilidade.

As trincheiras são escavações alargadas com um metro de largura e cerca de dez metros de profundidade (Díaz *et al.* 2000). São preenchidas por areia grossa ou cascalho fino que funcionam como filtro.

Aquíferos Artificiais

De acordo com Roseiro (2009) os aquíferos artificiais são essencialmente filtros de areia que se destinam à recarga do aquífero ou ao tratamento de águas de má qualidade. Estes sistemas de recarga ou de tratamento são construídos pela escavação de um poço, com cerca de 2 metros de profundidade, que são preenchidos com areia ou outro material permeável. O revestimento lateralmente é feito com material plástico e o fundo coberto com um nível de cascalho ou de tubos drenantes.

3.3.3 Método de Recarga Artificial em Profundidade

Poços de Injeção

Os poços de injeção ou de recarga são os sistemas de recarga artificial em profundidade mais utilizados através dos quais se injeta água no aquífero (Figura 3.11). São utilizados nos casos em que os terrenos apresentam elevado custo ou a sua ocupação restringe a aplicação de outros métodos de recarga (Díaz *et al.* 2000).

Os poços de injeção são construídos até alcançar a zona saturada do aquífero e permitem a injeção direta da água na zona saturada. Estes poços minimizam o tempo necessário à passagem da água de recarga através da zona não saturada, apresentam alta taxa de recarga e evitam as reações, por vezes adversas, entre a água e os solos ou minerais existentes na zona não saturada e podem ser perfurados verticalmente, radialmente ou horizontalmente, de acordo com a tecnologia selecionada (SEWRPC, 2006).

Figura 12 - a) Ilustração esquemática de recarga no sistemas *Aquífer Storage and Recovery (ASR)* e b) *Aquífer Storage Transfer and Recovery (ASTR)*

3.4 Objetivos e Resultados Esperados

Os objetivos mais comuns para aplicação das técnicas de recarga artificial e os resultados associados à aplicação das técnicas, incluem:

- Armazenar água para a garantia da segurança hídrica ampliando a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade para suprir as demandas de usos múltiplos dentro da visão de desenvolvimento sustentável (Brown & Keys 1985; Goldshmid 1974; Stamos *et al.* 2013; Picot-Colbeaux *et al.* 2013);
- Restaurar aquíferos sobreexplorados por períodos prolongados de forma a se alcançar sua sustentabilidade (Brown & Keys 1985; Stamos *et al.* 2013; Bhattacharya 2010; Picot-Colbeaux *et al.* 2013);
- Garantir o abastecimento em períodos de estiagem (Goldshmid, 1974; Picot-Colbeaux *et al.*, 2013);
- Armazenar água local ou importada para servir como reservatório regulador do aquífero (Goldshmid 1974);
- Melhorar a qualidade da água de aquíferos naturalmente com problemas de qualidade (com elevado TDS natural) ou contaminados pela ação humana (Stamos *et al.* 2013; Picot-Colbeaux *et al.* 2013);
- Reverter a intrusão ativa da cunha salina e a contaminação criando barreiras hidráulicas apropriadas (Aberbach, 1967);
- Reativar nascentes que sofreram colapso por inversão do fluxo subterrâneo ou pela impermeabilização das áreas de recarga;
- Diminuir o volume de escoamento superficial para minimizar os impactos do excedente das águas pluviais, incluindo erosão e assoreamento dos corpos receptores;
- Diluir águas do aquífero controlando a salinidade em zonas agrícolas ou áreas que sofreram contaminação por diferentes fontes (ex. nitrato em áreas urbanas sem coleta e tratamento dos efluentes);
- Controlar a subsidência do solo por excesso de bombeamento. Os processos de afundamento do solo incluindo solapamentos e subsidências são comumente relacionados às elevadas taxas de bombeamento dos aquíferos que rebaixam a superfície potenciométrica com consequente reacomodação da superfície do terreno;

- Misturar águas de diferentes qualidades de forma a se proporcionar o tratamento *in situ* por diluição de substâncias naturalmente presentes no aquífero ou de contaminantes (Stamos *et al.* 2013);
- Estabilizar a composição química, o pH e a temperatura da água.

Do ponto de vista legal o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), através da resolução nº 153 de 17 de dezembro de 2013, estabelece critérios e diretrizes para a implantação de recarga artificial de aquíferos no território brasileiro. Entende-se por implantação as fases de planejamento, implantação, operação, manutenção e avaliação de recarga artificial de aquífero. Segundo o CNRH, recarga artificial é a introdução não natural de água em um aquífero, por intervenção antrópica planejada, por meio da construção de estruturas projetadas para este fim (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2014).

A recarga induzida consiste em criar situações que favoreçam a infiltração natural, como o bombeamento próximo a rios. Esta também pode ser considerada como recarga artificial. O conceito de práticas conservacionistas presente na Resolução nº 153 de 2013 do CNRH, que é definido como procedimentos em que se recorre a estruturas artificiais tendo como principais objetivos conter os efeitos da enxurrada, disciplinar o escoamento e favorecer a infiltração local da água no solo, pode também ser considerado como recarga induzida (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2014).

4. DIAGNOSTICO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DA RECARGA ARTIFICIAL NO DISTRITO FEDERAL

4.1 Introdução

Os trabalhos pioneiros sobre aplicação de técnicas de recarga artificial no Distrito Federal são atribuídos a Cadamuro (2002), Cadamuro *et al.* (2002) e Cadamuro & Campos (2005) visando à recarga de aquíferos em condomínios horizontais na Região Administrativa de Sobradinho, Distrito Federal. Os autores avaliaram técnicas de recarga artificial em aquíferos profundos, com captação de água de chuva através de calhas, em telhados experimentais (Figura 4.1).

Foram testadas duas técnicas distintas de recarga artificial, com injeção direta e indireta de água no aquífero fraturado. A recarga indireta é realizada por caixas de recarga rasas, através da zona não saturada do aquífero freático, enquanto que a recarga direta é direcionada para as fraturas dos aquíferos, através de um poço de injeção com 180 metros de profundidade. As caixas cilíndricas têm 1 metro de diâmetro e 2,5 metros de profundidade, tendo sido testados quatro sistemas de caixas de recarga: uma revestida com anéis de manilhas perfuradas, uma revestida

com parede de tijolos espaçados, uma preenchida com areia grossa (~25% de porosidade) e uma preenchida com cascalho grosso (45% de porosidade).

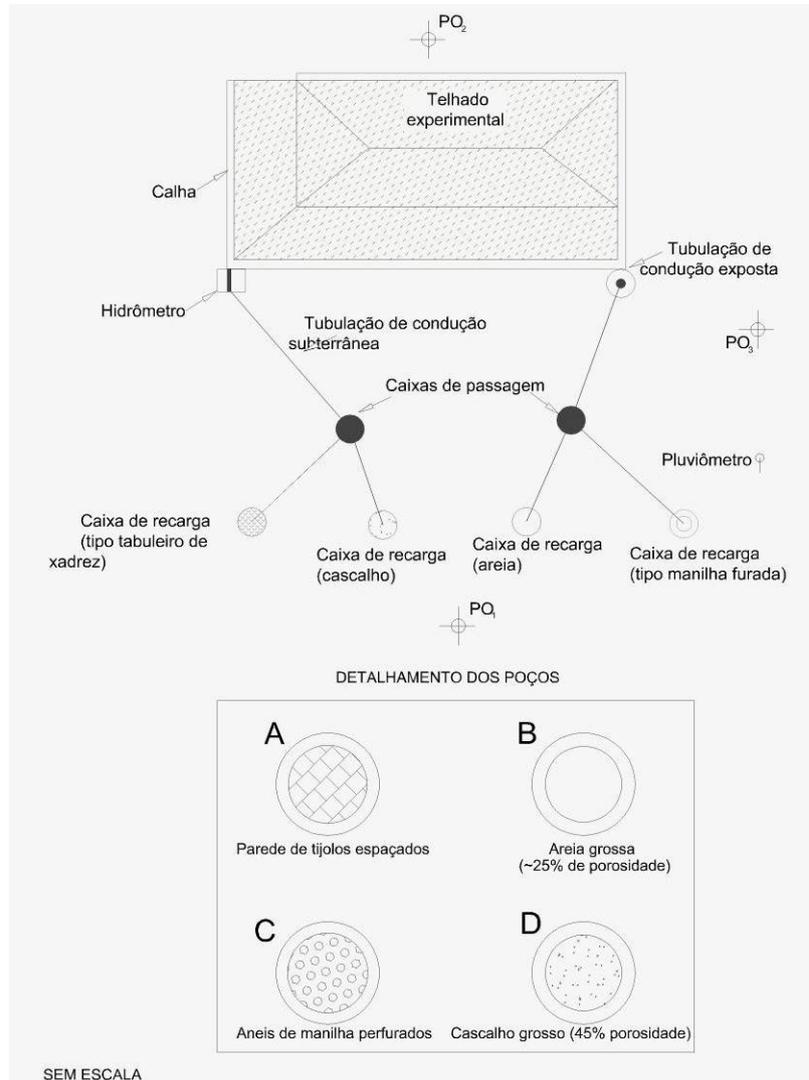


Figura 4.1 - Caixas de recarga no sistema indireto de infiltração na zona vadosa, visando a zona fraturada situada abaixo da cobertura dos solos (Cadamuro 2002, Cadamuro *et al.* 2002, Cadamuro & Campos 2005). PO - Poço de observação.

Os resultados alcançados sugerem que as técnicas de recarga aplicadas possibilitam aumento da disponibilidade hídrica, com o incremento das áreas de recarga e minimização dos efeitos da impermeabilização do local, funcionando como importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos da região. Um dos resultados mostra que o poço de observação situado na porção mais baixa do terreno sempre se manteve com o nível d'água mais elevado após início da injeção de água, indicando que se formou um "cone de ascensão", nas adjacências do principal sistema de recarga.

Cadamuro (2002) também testou um sistema direto de injeção em poço tubular profundo utilizando água de precipitação de chuvas. Experimentos com uso de água potável em injeção direta e passiva indicaram que a transmissividade dos quartzitos e metarritmitos não é suficiente para se alcançar resultados minimamente satisfatórios. Almeida (2011), trabalhando na região de Caldas Novas, que apresenta as mesmas rochas verificadas no Distrito Federal, mostrou que a injeção passiva direta é viável naquela região. Este contraste é função da transmissividade do aquífero fraturado que é muito inferior no Distrito Federal e não permite a infiltração de volumes expressivos diretamente nos meios rochosos.

Assim, a recarga artificial no Distrito Federal deve ser processada a partir dos solos. Em diferentes situações pedológicas e geomorfológicas as águas injetadas nos solos deverão alimentar os aquíferos fraturados subjacentes, de forma análoga ao que ocorre naturalmente. Quanto maior o volume de água infiltrada na zona não saturada (solos) maior será a recarga dos meios fraturados em profundidade, os quais representam os principais aquíferos em termos de volume para exploração e de proteção natural.

4.2 Subdivisão em Áreas de Acordo com as Características dos Aquíferos

Em função dos solos

Para efeito desta avaliação, os solos do Distrito Federal foram reagrupados em três categorias a partir dos seguintes critérios: solos espessos com textura argilosa a muito argilosa; solos espessos com textura média a arenosa e solos rasos ou pouco espessos. Na primeira classe estão inseridos os latossolos derivados de rochas mais ricas em areia, incluindo as formações Serra da Meia Noite e Ribeirão Contagem. O segundo grupo inclui latossolos derivados de rochas argilosas do Grupo Bambuí e da Formação Córrego do Sansão e argissolos e nitossolos derivados de rochas carbonáticas e pelíticas da Formação Córrego do Barreiro. O terceiro conjunto é integrado por cambissolos, neossolos litólicos e neossolos quartzarênicos, além de gleissolos e plintossolos.

No caso dos solos espessos a textura foi a única propriedade avaliada, entretanto, a estrutura é uma propriedade fundamental no controle do funcionamento hídrico dos solos e de sua favorabilidade à recarga. Os latossolos, de forma geral, apresentam estrutura granular nos horizontes superficiais (A e A/B) e estrutura grumosa em maiores profundidades. Como o processo de recarga artificial deverá se processar a maiores profundidades, a estrutura grumosa é a mais importante para a avaliação da eficiência ou viabilidade da infiltração.

Latossolos de textura média são duplamente favorecidos com relação ao potencial de infiltração: apresentam grãos simples de quartzo com tamanho areia fina a média, além da estruturação granular comum nos horizontes superficiais e estrutura grumosa em maiores profundidades.

Os argissolos e nitossolos, apesar de apresentarem gradiente textural (incremento de argila total no horizonte B a partir do horizonte A) são fortemente estruturados em estrutura granular média a grande comum. Este caráter físico resulta em condições bastante favoráveis à infiltração de águas na zona não saturada dos horizontes.

Os solos rasos que ocupam áreas de maior declividade, incluindo cambissolos, neossolos e plintossolos compõem um grupo com condutividade hidráulica com ordem de grandeza 10^{-7} m/s ou menor com tendência de diminuição progressiva com aumento da profundidade no horizonte C.

Os solos hidromórficos com elevado grau de deficiência de drenagem, incluindo gleissolos, organossolos e espodossolos não devem ser submetidos a processos de recarga artificial, pois de forma geral representam zonas de descarga dos aquíferos e por serem associados a ambientes sensíveis do ponto de vista ambiental (em muitos casos sua ocupação é vedada pela legislação).

A integração dos dados por espacialização das informações resultou na confecção do mapa de viabilidade para recarga artificial dos aquíferos freáticos, o qual apresenta três classes com relação ao potencial ou à viabilidade de instalação de projetos de recarga artificial dos aquíferos (Figura 4.2). A classe de Elevada Viabilidade foi caracterizada em função da estatística de valores de condutividade hidráulica da zona não saturada que varia entre 10^{-5} a 10^{-6} m/s. A classe de Moderada Viabilidade é associada a latossolos argilosos e solos podzolizados com condutividade hidráulica variável entre 10^{-6} e 10^{-7} m/s. A classe de Baixa Viabilidade ou inviável envolve cambissolos e neossolos litólicos com condutividades hidráulica menores que 10^{-7} m/s podendo alcançar valores da ordem de 10^{-9} m/s. Nesta classe os locais com solos muito rasos em áreas de relevo com declividades maiores que 30% são considerados inviáveis para projetos de recarga artificial.

Em função das rochas

Com relação aos aquíferos fraturados, como não será possível desenvolver recarga direta em sua zona saturada, foi apenas apresentado um zoneamento com relação à favorabilidade para a recarga artificial. O conjunto enquadrado na classe de máxima favorabilidade é integrado

pelos subsistemas R₃/Q₃, S/A e F/Q/M considerados os meios fraturados do Distrito Federal com maior porosidade secundária. Os xistos do Grupo Araxá com foliação em baixo ângulo de mergulho e os filitos do Grupo Canastra compõem o grupo considerado não favorável para a recarga, isto significa que tais rochas deverão receber o menor volume de água infiltrada a partir da zona não saturada, independentemente de qual tipo de solo que os recobre. As demais rochas são consideradas favoráveis para recarga do meio fraturado a partir de águas que percolam os solos de cobertura.

Esta avaliação com relação à efetividade dos tipos de rochas quanto aos processos de recarga é meramente informativa, pois o substrato rochoso funciona de forma passiva aos processos de infiltração de águas que percolam a partir das coberturas de solos.

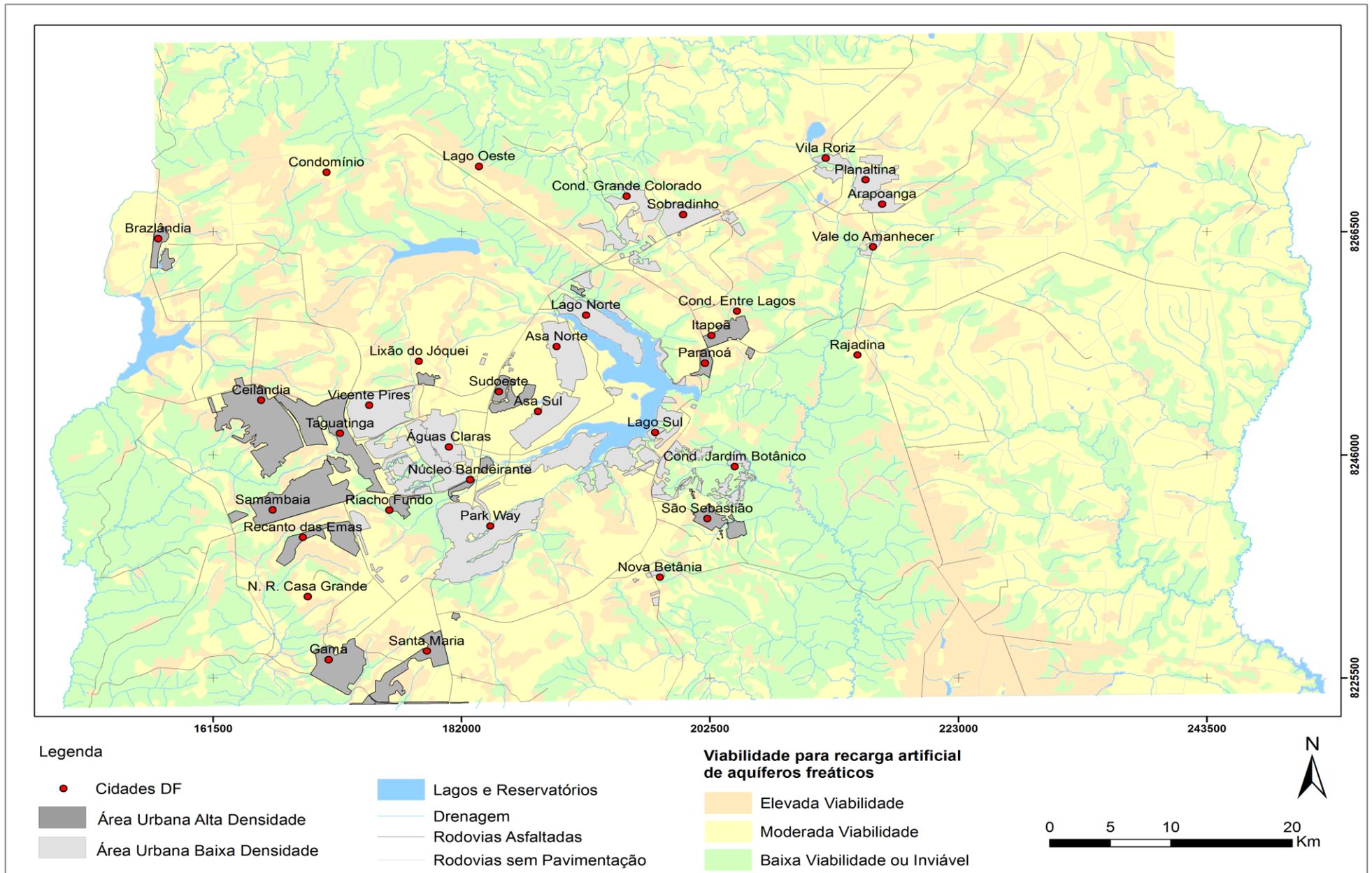


Figura 4.2 - Mapa de viabilidade para a implantação de sistemas de recarga artificial de aquíferos freáticos.

O mapa da Figura 4.3 mostra a distribuição espacial da favorabilidade para recarga artificial dos meios fraturados o que está em acordo com as variações de porosidade secundária média e no comportamento reológico das rochas. Nesta avaliação não foram consideradas as vazões médias de cada sistema / subsistema aquífero, mas apenas sua porosidade aberta, observada em amplas exposições rochosas (segundo Oliveira 2010).

4.3 Proposta de Técnicas Aplicadas para o Distrito Federal

Introdução

Para o território do Distrito Federal, três metodologias de infiltração são propostas. Os sistemas são denominados de caixas de recarga, trincheiras de recarga e calhas de recarga. Os três sistemas são similares, sendo que as diferenças básicas são relacionadas às formas e dimensões de cada estrutura. Todos os sistemas de estruturas para indução da infiltração das águas de chuva deverão ser preenchidos com material permeável (materiais com elevada condutividade hidráulica) para induzir a infiltração.

A água a ser utilizada nos sistemas de recarga artificial no Distrito Federal é água de chuva recolhida das coberturas das edificações nos meses com maior índice pluviométrico. As análises de águas de chuva da região do Distrito Federal mostram que apenas nas primeiras precipitações a água contém valores mais elevados de sais dissolvidos. Este fato é devido à descarga de particulados e gases de combustão acumulados na atmosfera depois de longo período sem chuvas. No momento em que as chuvas se regularizam as águas se tornam extremamente puras com total de sólidos dissolvidos menores que 5 mg/l. O balanço químico considerando as primeiras chuvas e o elevado volume de águas que se acumulou ao longo do período chuvoso mostra que não há qualquer risco de contaminação dos aquíferos a partir do uso de águas de precipitação.

O uso de água de precipitação pluvial visa aproveitar o excedente hídrico das precipitações, principalmente entre os meses de novembro a março. Como resultado tem-se ainda a diminuição do escoamento superficial com ganhos evidentes em todo o sistema de drenagem urbana. As águas devem ser coletadas a partir de coberturas de edificações. Sistemas de telas nas entradas das tubulações de coleta da água devem ser instalados com o objetivo de reter folhas e outras partículas menores que se acumulam nos telhados, principalmente nos períodos secos do ano. Estes materiais devem ser periodicamente retirados para evitar

entupimento da tubulação adutora. Alternativamente um sistema de retenção pode ser instalado na entrada dos sistemas de infiltração.

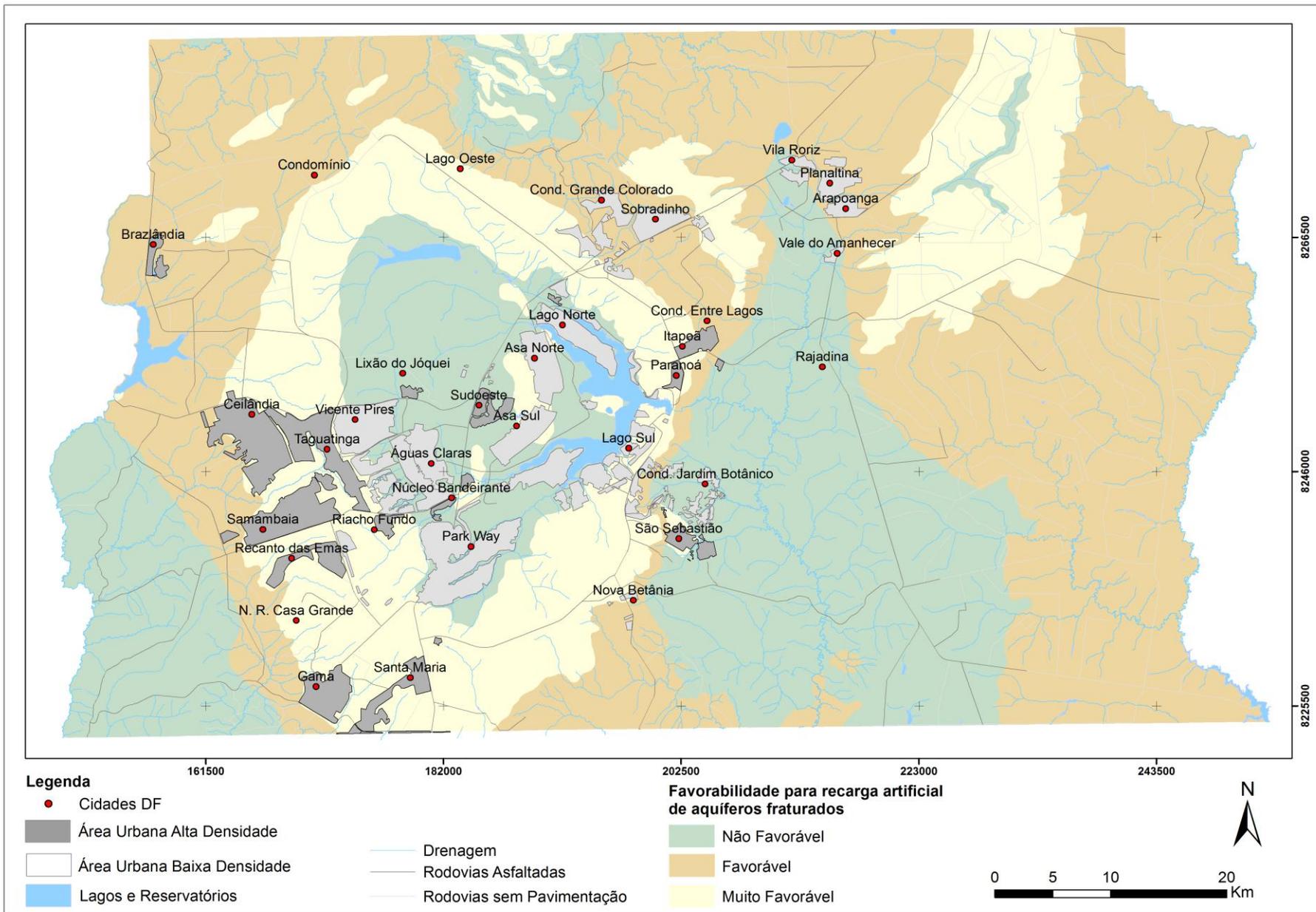


Figura 4.3 - Mapa de favorabilidade para a recarga artificial de aquíferos fraturados.

Estas propostas, se bem orientadas e implantadas resultam em vários efeitos positivos ao meio ambiente, nos quais se destacam: diminuição do volume de escoamento de águas pluviais e aumento da disponibilidade de água subterrânea, com a conseqüente perenização de nascentes e ampliação das reservas renováveis dos aquíferos submetidos a exploração.

Para maximizar a eficiência do processo, deverá ser construída uma caixa em cada lote de área residencial ou mais de um sistema em regiões de áreas institucionais (escolas, áreas públicas, etc.), sendo o local mais apropriado definido em função da distribuição das edificações e instalações civis dentro do lote. Os sistemas de recarga devem ser construídos preferencialmente nas áreas verdes (geralmente áreas com coberturas de grama), o mais afastado possível de qualquer edificação.

Caixas de Recarga

O sistema deve ser composto por uma calha que capte as águas de chuva que precipita sobre os telhados e por tubo de PVC que a direcione para as caixas de infiltração. Estas devem ser construídas mantendo uma distância mínima de três metros das edificações (casas e muros) para evitar riscos geotécnicos às fundações. Em locais em que não há coleta e tratamento de esgotos, as caixas devem ser preferencialmente instaladas com a máxima distância do sistema de fossa-sumidouro.

A construção do sistema deve seguir os seguintes passos (Figura 4.4):

- Escavação manual de uma caixa com padrão cilíndrico, com 1 metro de diâmetro e de 1 metro a 2,5 metros de profundidade (similar à porção superior de uma cisterna ou cacimba);
- Perfuração com auxílio de trado manual de um furo vertical a partir do fundo da caixa já aberta;
- Preenchimento de todo o espaço por cascalho grosso composto de seixos arredondados de quartzo e quartzito (cascalho de rio). Não se deve utilizar brita de calcário que é o tipo de agregado mais comumente utilizado no Distrito Federal, pois estas rochas se dissolvem na presença de água de chuva que é naturalmente ácida;
- Acoplar a tubulação oriunda das calhas que captam águas das coberturas das edificações (preferencialmente tubos de PVC de 100 mm de diâmetro);
- Instalação do acabamento da caixa de recarga. Este acabamento pode ser feitos em diferentes formatos, incluindo, instalação de um anel de manilha de concreto com tampa também em concreto, cobertura com bibim, adição de solo e plantio de grama, uso de uma grade metálica (neste caso é necessário cobrir o fundo da grade com uma manta de bibim para evitar a entrada de particulados no sistema). O acabamento com uma tampa em concreto é o mais indicado, de

forma a se evitar a entrada de material que possa promover a diminuição da porosidade do cascalho de preenchimento.

Caixa de Recarga

Aplicável em locais com nível d'água maior que 6 metros

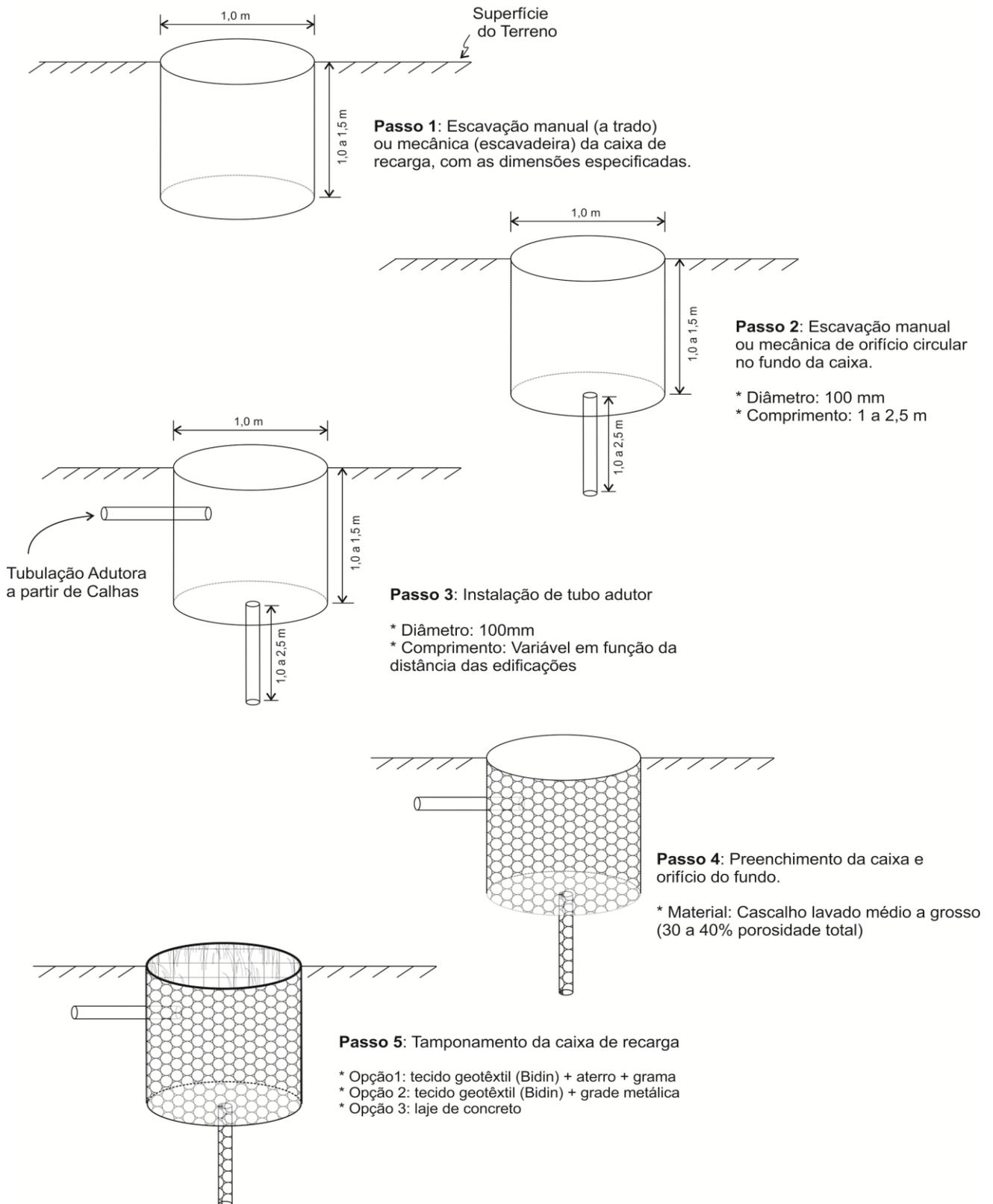


Figura 4.4 - Sistema de recarga artificial proposto para locais em que ocorrem latossolos e outros solos permeáveis.

O sistema de caixas de recarga deverá ser aplicado para casos de residências unifamiliares em que a área máxima de captação da cobertura seja de 200 m² (caso a área de coberta seja maior apenas deve ser direcionado para cada caixa uma área de 200 m²). Esta limitação visa minimizar riscos eventuais geotécnicos, principalmente erosão e colapso interno de paredes.

A profundidade mínima desejável para aplicação deste sistema de recarga é de 6 metros, sendo que cerca de 4 metros de zona vadosa são importantes para manutenção da função filtrante do aquífero.

Trincheiras de Recarga

Para os locais em que ocorrem solos pouco permeáveis um sistema de infiltração horizontal é proposto. Neste caso, propõe-se a instalação de trincheiras de infiltração que devem ter as seguintes dimensões: 50 a 80 cm X 50 cm X 200 a 300 cm (Figura 4.5). As dimensões devem ser determinadas a cada caso em função da disponibilidade de espaço, da área de cobertura a ser captada e das características dos solos.

A instalação das trincheiras deve seguir os seguintes passos construtivos:

- Abertura manual da trincheira (manter a distância mínima de fundações e outras edificações);
- Preenchimento da trincheira por cascalho lavado, com seixos grossos a muito grossos (diâmetro maior que 20 mm);
- Instalação da tubulação adutora da água captada nos telhados e direcionada para a trincheira de infiltração. Neste caso a tubulação deverá ser distribuída por, no mínimo, dois tubos de 50 mm cada, de forma que a água entre na trincheira em diferentes pontos;
- Instalação do acabamento que pode ser por grade metálica, laje em concreto ou por plantio de grama. Em todos os casos deve-se utilizar uma manta de tecido geotêxtil (bidim) entre o topo do cascalho de preenchimento e a base do acabamento.

Da mesma forma que o sistema anteriormente descrito, as trincheiras devem ser preenchidas por cascalho grosso de rio. As águas oriundas de coberturas de residências devem ser direcionadas para o sistema de infiltração. A área máxima de cobertura que deve captada e revertida para cada trincheira não deve ser superior a 120 m².

Neste caso a infiltração se dá em grande parte na horizontal, e mesmo que não se espere um amplo volume de infiltração, os resultados com relação ao ciclo hídrico como um todo justificam sua implantação.

O sistema de trincheiras de recarga deve ser aplicado para casos de solos menos permeáveis, com profundidade de nível freático máxima da ordem de 3 metros. Os dois metros

mínimos entre o fundo da trincheira e a superfície freática são necessários para manutenção da função filtrante da zona não saturada do aquífero intergranular.

Trincheira de Recarga

Aplicável em locais com nível d'água maior que 3 metros

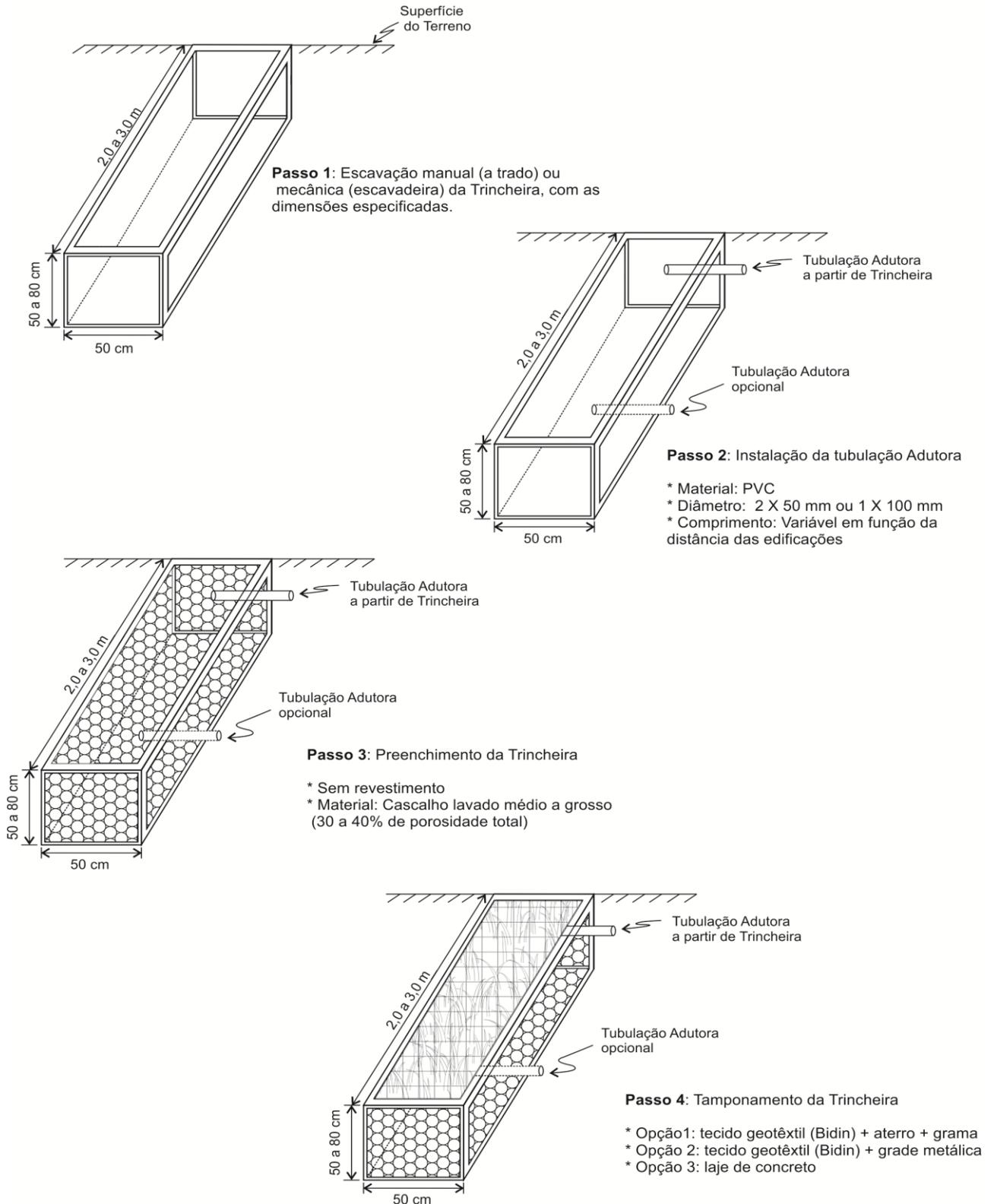


Figura 4.5 - Sistema de recarga artificial proposto para locais em que ocorrem solos rasos e pouco permeáveis.

Calhas de Recarga

Para os locais em que existem solos espessos com condutividade hidráulica da ordem de 10^{-6} m/s ou maior, é proposta a instalação de calhas de recarga. Este sistema é apenas aplicável para grandes áreas de coberturas em que existam amplas áreas verdes entre as edificações (exemplo: galpões, prédios de escolas, prédios públicos, etc.).

As calhas de recarga devem ter os seguintes atributos dimensionais e construtivos (Figura 4.6):

- Profundidade de 1,2 a 2,0 metros, por 0,75 a 1,0 metro de largura e de 3,0 a 5,0 metros de comprimento. As dimensões devem ser determinadas para cada caso em função das características dos solos, da área de cobertura e da área livre para instalação;
- O fundo e as paredes laterais da trincheira devem ser revestidas por tecido geotêxtil (bidim ou similar). O uso do bidim tem como objetivo evitar a comatação das argilas e eliminar o risco de desenvolvimento de erosão subterrânea com a eliminação de argila e silte do solo. Neste tipo de sistema o volume de água que é inserido no meio é grande e os riscos de queda de blocos, de desenvolvimento de erosão subterrânea e demais problemas geotécnicos são mais elevados;
- Todo o seu volume deve ser preenchido por cascalho grosso a muito grosso (diâmetro de 2 a 3 cm) composto de seixos de quartzito (cascalho lavado de aluvião). Este material deve ser bem selecionado, com ausência de matriz de forma a se garantir uma porosidade final, mesmo após seu adensamento, da ordem de 35 a 40%;
- A adução da água a partir das áreas de cobertura deverá ser distribuída e entrar em pelo menos três pontos no interior das calhas. Esta ação objetiva maximizar a capacidade de infiltração e facilitar a saída do ar que preenche a porosidade;
- Tampa de laje de concreto ou grade metálica. No caso de uso de grade metálica uma manta de bidim removível deve ser instalada sobre os seixos para possibilitar a retirada periódica de material particulado e resíduos sólidos acumulados;
- Na porção superior deve-se instalar um tubo de 50 mm de diâmetro com saída para a rede pública de águas pluviais (para dar segurança ao sistema para casos de eventos de chuvas anômalas - > 70 mm/h).
- As entradas d'águas devem ser de no mínimo duas, sendo preferencialmente mais de duas, de forma que o afluxo durante os picos de precipitação mais intensos seja distribuído ao longo de toda a calha de infiltração.

Calha de Recarga

Aplicável em locais com nível d'água maior que 6 metros

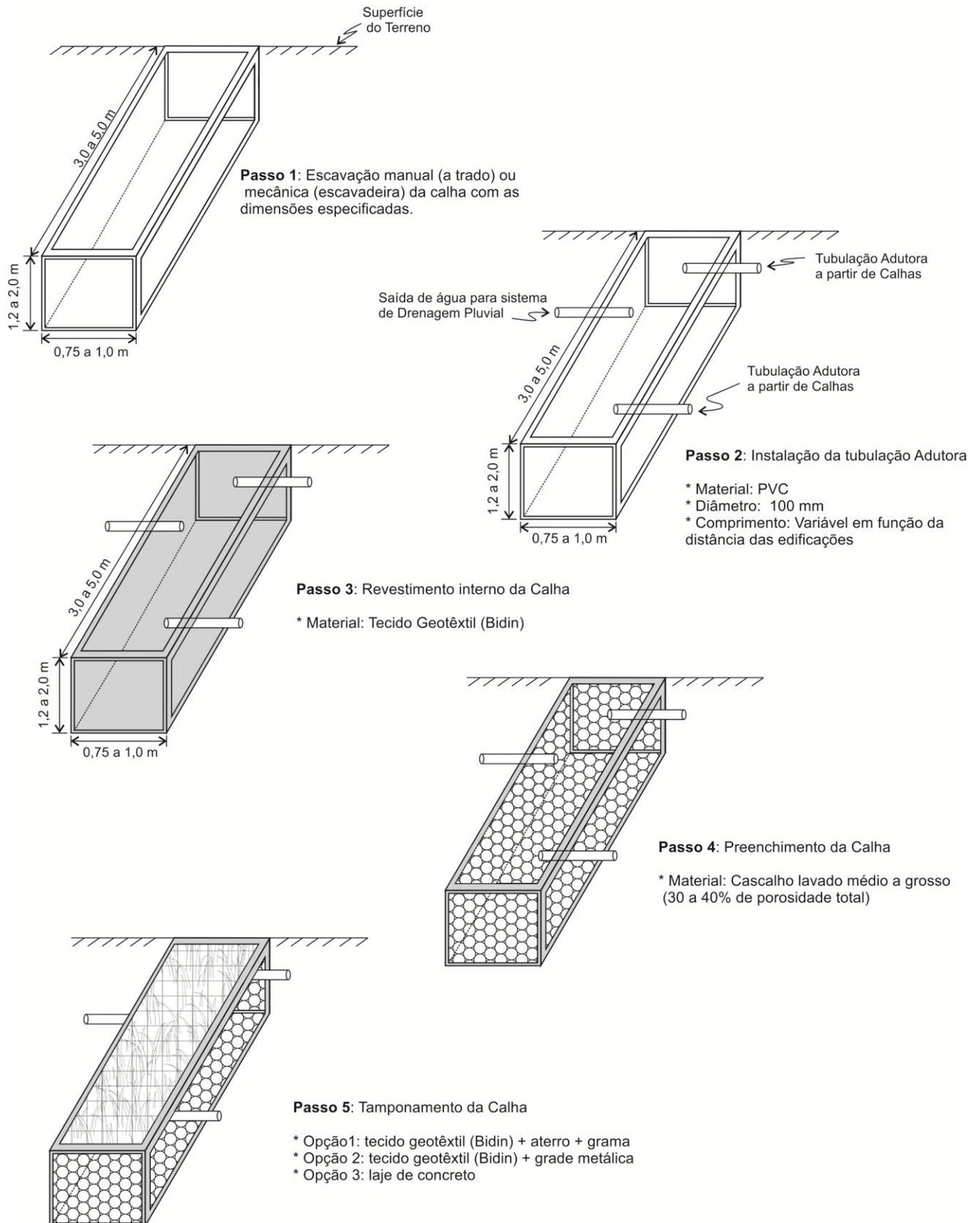


Figura 4.6 - Sistema de recarga artificial proposto para locais com ampla área de cobertura das edificações e em que ocorrem solos espessos e permeáveis.

4.4 Critérios de Aplicação

Análise por Tipo de Solo - solo profundo e solo raso

Diferentes sistemas de recarga devem ser implantados para diferentes tipos de solos. Para solos rasos a pouco profundos, na sua maior parte representados por cambissolos, apenas o sistema de trincheiras de recarga é viável. Para solos profundos a muito profundos, com elevada permeabilidade, as caixas de recarga e as calhas de recarga são aplicáveis. A escolha do tipo de sistema deve ser feita a partir da avaliação da área de captação das coberturas. Para áreas de até 200 m² devem-se utilizar as caixas de recarga. Para áreas maiores, as calhas de recarga são mais apropriadas, sendo em muitos casos necessários mais de um sistema que deverá receber águas em diferentes pontos. No caso de se utilizar uma série de calhas de recarga, estas devem ser espaçadas com uma distância mínima de sua extensão entre cada uma delas (ex.: se cada calha tem 300 cm de comprimento a distância entre cada uma deve ser de pelo menos 3 metros).

Análise de Área Disponível - em áreas residenciais e em áreas institucionais

Para a determinação de qual sistema deve ser aplicado e para verificação da sua aplicabilidade, também deve ser verificada a área verde disponível.

Em lotes urbanos de pequenas dimensões, como os que existem em cidades satélites como Samambaia e Riacho Fundo, em muitos casos, todo o lote foi ocupado pelas edificações. Nestes casos não há área verde e não há viabilidade de se instalar nenhum tipo de sistema de recarga. Uma alternativa possível é a instalação do sistema em áreas públicas, entre o muro frontal da residência e a rua. Também há a possibilidade de uso de áreas verdes públicas quando estas ocorrerem com possibilidade de acesso direto pelas extremidades frontais ou anteriores do lote.

Lotes com dimensões maiores que mantêm áreas verdes no interior de sua poligonal devem, preferencialmente, instalar caixas de recarga. A caixa não deve, necessariamente, receber toda a água coletada pelos sistemas de calhas, mas apenas uma área equivalente a 200 m².

Para áreas institucionais ou áreas de prédios públicos, as calhas de recarga são mais adequadas, por ocuparem amplas áreas cobertas e gerarem amplo volume de escoamento superficial. Nestes casos, vários sistemas em série podem ser implantados visando à maximização da infiltração induzida.

Análise do Tipo de Edificações - obras com pavimento e sem pavimento em subsolo

Para o uso de caixas e calhas de recarga em regiões de solos espessos a observação da distância entre as edificações e os sistemas de infiltração é essencial. Entende-se por edificações qualquer obra de engenharia, incluindo muros, fundações, paredes, churrasqueiras, baldrames, etc.

As caixas e calhas de recarga devem ser distanciadas, no mínimo 3,0 metros de qualquer edificação sem pavimento em subsolo ou no mínimo 5,0 metros para edificações com pavimento em subsolo. Estas distâncias mínimas visam a minimizar eventual risco geotécnico às fundações e aos solos adjacentes a estas estruturas. Quando não for possível manter estas distâncias mínimas da estrutura de recarga para as estruturas de fundações, se considera que o sistema não é viável.

Alternativa para viabilizar a instalação dos sistemas de recarga é utilizar o espaço de área pública adjacente, nas áreas externas dos lotes, desde que mantida a distância mínima.

Análise da Taxa de Impermeabilização

A necessidade de se instalar sistema de indução da infiltração é diretamente proporcional à taxa de área selada pela ocupação. Em áreas urbanas, a impermeabilização crescente contrasta com a dificuldade de se viabilizar a instalação dos sistemas de recarga artificial. Assim, é importante que se trabalhe na maximização das possibilidades para se viabilizar a instalação, pelo menos de pequenas caixas de infiltração.

Áreas exemplificadas pelo setor central de Taguatinga (QNA e QSA), Riacho Fundo, Samambaia apresentam taxas de impermeabilização da ordem de 90%. Como são áreas naturalmente caracterizadas como zonas de recarga regional, a impermeabilização causa impactos significativos ao ciclo hídrico. Nestas áreas, particularmente, a manutenção pelo menos parcial da infiltração é muito importante e por isto deve ser encorajada.

5. OPERACIONALIZAÇÃO DA RECARGA ARTIFICIAL NO DISTRITO FEDERAL

5.1 Estudos Básicos Necessários

Os estudos básicos necessários para a instalação de projetos de recarga artificial de aquíferos devem incluir a aplicação dos seguintes procedimentos: determinação da condutividade hidráulica ou da permeabilidade dos solos, determinação do modo de circulação das águas subterrâneas, determinação da profundidade do nível freático, caracterização da composição química das águas do aquífero, caracterização da composição química da água de recarga, determinação do ponto de instalação do sistema de recarga, georeferenciamento do

ponto de instalação do sistema de recarga e determinação do tipo de sistema de recarga a ser instalado.

Para a determinação da condutividade hidráulica da zona não saturada devem ser aplicados ensaios de infiltração *in situ* ou ensaios de permeabilidade. Os ensaios de permeabilidade são utilizados para a estimativa da condutividade hidráulica vertical (K_v) do meio testado. Estes ensaios admitem diferentes métodos de aplicação conforme a natureza do meio testado (rocha ou solo), o método de prospecção (sondagens, poços ou cavas) e o objetivo que se pretende alcançar. Para fins de recarga artificial dos aquíferos os métodos dos anéis concêntricos (em superfície) e *open end hole* (em profundidade) são os mais indicados.

O método dos anéis concêntricos consiste da cravação na superfície do solo de dois cilindros concêntricos com diâmetros diferentes. Este arranjo resulta na delimitação de dois compartimentos que serão preenchidos com água: o compartimento externo, delimitado pela parede interior do cilindro de maior diâmetro e pela parede exterior do menor cilindro; e o compartimento interno, totalmente delimitado pela parede interior do cilindro menor. Durante a execução do ensaio, a água infiltrada no solo a partir do compartimento externo apresenta uma tendência natural de fluir vertical e lateralmente. A saturação do solo na porção imediatamente abaixo do compartimento externo permite que a água infiltrada a partir do compartimento interno infiltre predominantemente segundo a direção vertical. Realizam-se então, com uma trena, medidas consecutivas das alturas das colunas d'água somente do compartimento interno, tomando-se os respectivos intervalos de tempo decorridos entre uma e outra medida. Para evitar que ocorra infiltração com componente lateral, a partir do compartimento interno, é necessário vistoriar constantemente o nível da água no compartimento externo, que deve sempre apresentar um nível d'água mais elevado que o do compartimento interno. A estimativa da condutividade hidráulica vertical é realizada através da aplicação da equação 1.

Para uma boa realização do ensaio se recomenda o nivelamento horizontal prévio dos anéis e a verificação da ausência de vazamentos entre os dois compartimentos.

$$(Eq.1) \quad K(m/s) = (1/60.000) \times (l/\Delta t) \times [\ln(h_0/h_t)] \quad \text{onde:}$$

l - Profundidade de cravação (cm);

h_0 - Coluna d'água inicial;

h_t - Coluna d'água final;

Δt - Tempo decorrido para o rebaixamento entre h_0 e h_t (s)

O método denominado "open end hole", utilizado para a estimativa das condutividades hidráulicas em profundidade, consiste na introdução e cravação de tubos em poços

anteriormente perfurados a trado. O poço, com as paredes revestidas com o tubo é preenchido com água até uma altura inicial qualquer (h_0). A água infiltrará exclusivamente pela extremidade inferior do poço, uma vez que as paredes estão revestidas com o tubo. Como no teste dos anéis concêntricos, medem-se as alturas das colunas d'água inicial e final e o intervalo de tempo decorrido para o rebaixamento. A estimativa da condutividade hidráulica é realizada aplicando-se a seguinte equação:

$$(Eq. 2) \quad K(m/s) = 2,303 \times (R/4\Delta t) \times [\log(h_0/h_t)] \quad \text{onde:}$$

R - raio interno do tubo (m);

h_0 - Coluna d'água inicial;

h_t - Coluna d'água final;

Δt - Tempo decorrido para o rebaixamento entre h_0 e h_t (s).

Para avaliar a variabilidade da condutividade hidráulica em superfície e em profundidade, deve ser realizado um teste superficial e quatro testes em profundidades diferentes (50 cm, 100 cm, 150 cm e 200 cm). Os testes de rebaixamento superficiais devem ser realizados pelo método dos anéis concêntricos, enquanto os testes em profundidade o método “*open end hole*” deve ser aplicado.

Esses dois métodos apresentam como característica comum o fato de encaminharem a infiltração da água predominantemente na direção vertical, fato desejável em estudos que visem à recarga artificial, uma vez que este processo baseia-se principalmente na movimentação vertical descendente de plumas úmidas no período de chuvas.

A determinação do modo de circulação das águas subterrâneas deve ser verificada a partir dos modelos conceituais de fluxo já propostos para o Distrito Federal. No Distrito Federal as zonas de recarga mais importantes estão nas áreas mais elevadas (Sistema Aquífero Poroso P1), principalmente nas áreas de chapadas, caracterizadas por solos bem desenvolvidos com espessa camada de alteração da rocha e relevo plano a suave ondulado. A água de precipitação incidente nesse ambiente tende a infiltrar e armazenar nos solos e na porção alterada da rocha. O fluxo segue no meio intergranular em direção as porções mais baixas da bacia, alimentando os aquíferos porosos em condições de relevo movimentado e solos mais rasos (cambissolos), e ainda, gerando nascentes de depressão e de contato. Quando a carga hidráulica no meio poroso é suficiente para propiciar a transmissão de água para as fraturas, o que ocorre nas épocas de precipitação máxima, o fluxo segue também em meio fraturado enquanto houver condições de fraturas abertas e interconectadas. Em condições de superávit hídrico há o aumento da pressão exercida pela água armazenada no aquífero intergranular, gerando fluxo ascendente em fissuras

presentes na rocha fresca, e, quando estas afloram à superfície, resultam em nascentes de fratura. Em maiores profundidades (> 150 metros) as condições de circulação hídrica passam a ser mais restritas devido à porosidade secundária reduzida em consequência da alta pressão litostática, limitando o armazenamento da água subterrânea nesse meio. A Figura 5.1 ilustra de forma esquemática as direções de fluxo em diferentes condições hidrogeológicas na bacia.

A determinação da profundidade do nível freático pode ser feita a partir de dados de poços nas adjacências ou a partir de inferências com relação aos tipos de solos: latossolos, de forma geral, apresentam níveis de saturação a partir de 6 metros de profundidade (podendo comumente superar 10 metros de profundidade); gleissolos apresentam níveis de saturação inferiores a 50 cm; cambissolos apresentam níveis freáticos profundos e em alguns casos não apresentam zona de saturação e solos podzolizados os níveis ocorrem a partir de 5 metros.

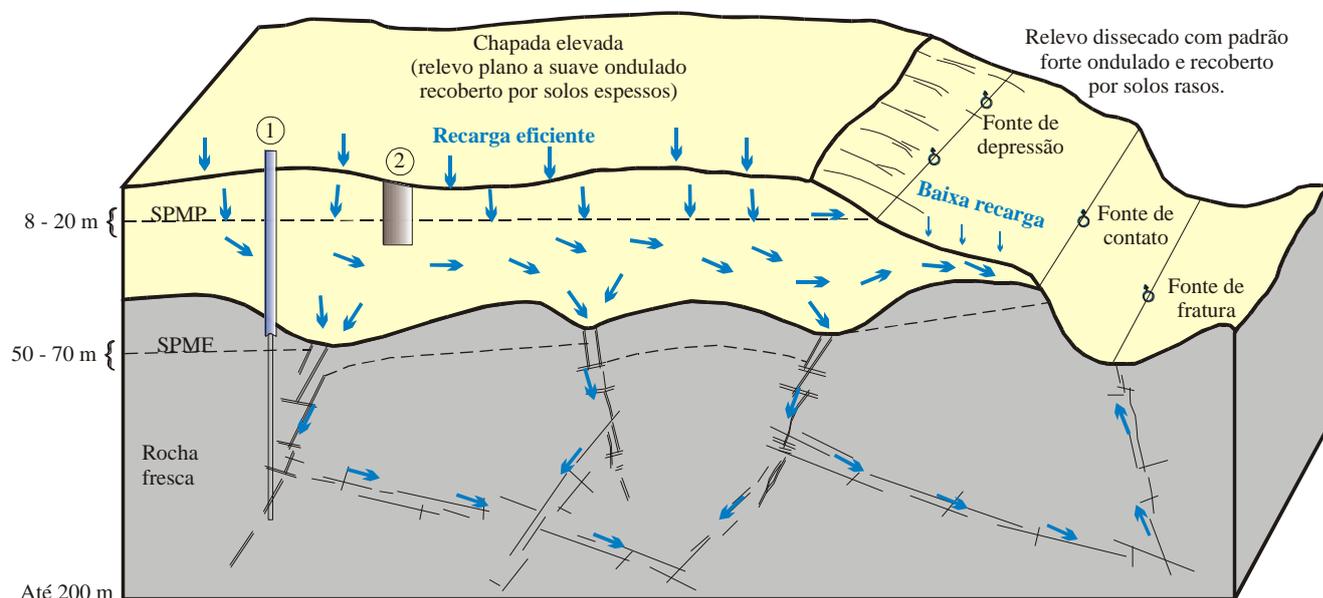


Figura 5.1 - Modelos de fluxos em diferentes condições hidrogeológicas. As setas azuis representam a recarga e a direção do fluxo subterrâneo. 1 - representação dos poços tubulares profundos perfurados nesse ambiente. 2 - representação das cisternas construídas em domínio poroso. SPMP - Superfície potenciométrica do meio poroso. SPMF - Superfície potenciométrica do meio fraturado.

Além dos tipos de solos, podem ser utilizadas as formas de relevo e as classes de vegetação. Locais com relevo plano e cobertura de cerrados apresentam níveis freáticos mais profundos. Locais com vegetação de veredas e campos úmidos têm níveis d'água muito rasos. Relevo com padrão forte ondulado recoberto por campos limpos e campos sujos apresentam níveis de águas subterrâneas muito profundos ou ausentes nos solos, sendo observados diretamente nas zonas de fraturas em rochas.

A caracterização da composição química das águas do aquífero pode ser resumida a partir dos dados apresentados na Tabela 5.1.

	Na	K	Ca	Mg	Cl	CO ₃	NO ₃	HCO	SO ₄	CE	PH	TDS
Amostra 1	0,001973	0,006469	0,003992	0,014803	0,071249	0	0,01	0,045892	0	7,63	4,97	3,2
Amostra 2	0,003946	0,004704	0,010479	0,02056	0,063028	0	0,002	0,019668	0	5,25	4,79	2,2

Tabela 5.1 - Dados químicos e físico-químicos de águas naturais não contaminadas obtidas de poços escavados em latossolos (Sistema P1). Todos os teores em mg/l e CE condutividade elétrica em $\mu\text{S/cm}$.

Os dados mostram que as águas são pouco mineralizadas com total de sólidos dissolvidos muito baixa, condutividade elétrica menor que $10 \mu\text{S/cm}$ e teores das substâncias de forma geral baixos a muito baixos. O pH indica que são águas muito ácidas, o que é esperado por se tratar de águas de chuva com contato direto com materiais inertes. Estas águas não devem apresentar interações com as águas de recarga, uma vez que devem ter composição muito similares em termos físico-químicos (temperatura, pH e potencial de óxido-redução) e químicos (CE, TDS, e teores de íons individuais).

A composição química da água de recarga, isto é, das águas de chuva coletadas a partir de coberturas de residências deverá ter composição similar às observados nos aquíferos freáticos, incluindo baixa mineralização total, baixa condutividade elétrica, moderada acidez e elevado conteúdo de oxigênio dissolvido.

A interação da água com as coberturas não deverá modificar de forma significativa a composição química da água, uma vez que as coberturas são feitas com materiais inertes como amianto, cerâmica, materiais plásticos dentre outros. Mesmo nos casos em que as coberturas são representadas por lajes de concreto, o tempo de escoamento é curto minimizando a dissolução e interação água e material de cobertura.

A determinação do ponto de instalação do sistema de recarga deve levar em consideração as distâncias mínimas das edificações e a logística geral no interior do terreno. Eventualmente podem-se utilizar áreas públicas ou externas aos lotes para a instalação do sistema de infiltração, desde que sejam áreas verdes e não recebam águas pluviais oriundas das vias de acesso.

O georeferenciamento do ponto de instalação do sistema de recarga deverá ser feita com auxílio de GPS portátil com limite de erro de até 5 metros, preferencialmente com sistema

barométrico para determinação da cota do ponto. Deverão ser obtidos dados em sistema de coordenadas UTM, com coordenadas.

A determinação do tipo de sistema de recarga a ser instalado deverá levar em conta os seguintes aspectos: distâncias mínimas de muros paredes, fundações e demais edificações; dimensão da área coberta; tipo de solo e respectiva permeabilidade; profundidade do nível freático e padrão de relevo.

- As distâncias mínimas devem ser: 3 metros de qualquer tipo de edificação e 5 metros de obras que possuam pavimentos e subsolos.

- As áreas de coberturas devem ser limitadas a menores que 200 m² e maiores ou muito maiores que 200 m².

- Os solos devem ser avaliados em termos de solos profundos e permeáveis (latossolos, argissolo ou nitossolos) e solos rasos e pouco permeáveis (cambissolos e neossolos).

- Os níveis freáticos devem ser limitados em três classes: mais rasos que 3 metros, entre 3 e 6 metros e mais profundos que 6 metros.

- O relevo deve ser classificado em padrão plano a suave ondulado (com declives inferiores a 4%) e padrão ondulado a forte ondulado (declividades maiores que 5%).

De posse das informações anteriormente enumeradas os três tipos de sistemas de recarga artificial concebidos para o Distrito Federal devem ser recomendados a partir da integração das diretrizes:

- *Sistema de Caixa de Recarga*: aplicável para locais com solos espessos e permeáveis (condutividade hidráulica mínima da ordem de 10⁻⁶ m/s), em locais de relevo plano a suave ondulado (declividade menor que 4%), níveis d'água mais profundos que 6 metros, para infiltração de águas coletadas em coberturas de no máximo 200 m² e instaladas em pontos a pelo menos 3 metros de qualquer tipo de edificação. A condição comum que contempla todas as condicionantes é sintetizada pelos locais em que ocorrem latossolos, argissolos ou nitossolos.

- *Sistema de Trincheira de Recarga*: este sistema de indução da infiltração é adequado para locais com solos rasos ou pouco espessos, com condutividade hidráulica da ordem de 10⁻⁷ m/s, em locais com relevo ondulado, para infiltração de áreas cobertas de no máximo 150 m², com níveis d'água mais profundos que 3 metros, devendo ser construídos no mínimo a 3 metros de qualquer edificação. A condição de aplicação das trincheiras de recarga é tipicamente encontrada nas áreas de ocorrência de cambissolos. Para minimizar qualquer risco de desenvolvimento de erosão subterrânea, a trincheira deverá receber águas de coberturas tanto menores quanto maior for a declividade do terreno em seu local de instalação.

- Sistema de Calha de Recarga: para sua aplicação devem ser consideradas as mesmas condições para o sistema de caixas de recarga, entretanto, a distância mínima das edificações deve ser de 5 metros ou mais se existirem pavimentos em subsolo. Outra diferença é que o sistema de calha de recarga poderá ser dimensionado para grandes áreas de cobertura, sendo indicada uma calha para cada 200 m² de área coberta. No caso de se utilizar calhas com comprimento maior que 2,5 metros as entradas de água oriundas das coberturas deverão ser na razão de uma a cada 1,5 de comprimento da calha preenchida e revestida com tecido geotêxtil.

5.2 Controles e Critérios de Avaliação para Emissão de Autorização pelo Órgão Gestor

Desde que seguidas as diretrizes apresentadas neste estudo o risco a contaminação dos aquíferos, os riscos de ordem geotécnica, os riscos de alagamentos, e demais problemas de gestão são considerados mínimos e na maior parte dos casos, considerados os sistemas individuais de pequeno porte, são considerados inexistentes.

Desta forma, para a instalação de sistemas de recarga na zona saturada dos aquíferos no Distrito Federal não deverá existir uma autorização prévia pelo órgão gestor de recursos hídricos, sendo que os interessados devem observar as diretrizes contidas neste estudo técnico e na cartilha anexa.

Apenas para a instalação de grandes calhas de recarga ou outros sistemas de recarga não contemplados no presente estudo, como por exemplo, injeção direta na zona saturada de fraturas dos aquíferos profundos, calhas de recarga com dimensões maiores que 20 m³ de volume total, ou que se tenha a necessidade de movimentação de grandes volumes de solos, será necessário um responsável técnico.

5.3 Responsabilidade Técnica sobre os Projetos

Para a instalação de sistemas de recarga artificial de aquíferos na modalidade de caixas de recarga e trincheiras de recarga não será necessário a obrigatoriedade de um responsável técnico para assinar o projeto e apresentar a respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, junto ao Conselho Regional de Engenharia - CREA. A assessoria de um técnico poderá ficar a cargo de cada usuário, mas ainda de forma dispensável.

Os usuários que se basearem nos mapas apresentados por este estudo deverão ter maior cuidado nos casos da necessidade de se instalar sistemas de recarga em pontos próximos aos limites dos polígonos. Como os mapas são derivados de bases de dados na escala 1:100.000,

pode haver pequenas divergências nos contatos dos solos, o que pode resultar na não instalação do sistema de recarga mais aplicável. Nestes casos é importante que um técnico com formação em pedologia seja consultado para maximizar a efetividade do sistema de recarga e minimizar eventuais riscos.

Para a instalação de sistemas de recarga da modalidade de calhas de recarga será obrigatória que o projeto e sua execução sejam acompanhados por um responsável técnico com formação em Geologia, Engenharia Civil, Engenharia Ambiental, Engenharia Florestal ou Agronomia, preferencialmente com conhecimentos específicos em solos. O profissional deverá requerer junto ao CREA a respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica ART do projeto e execução.

5.4 Parcerias Institucionais

Para que a instalação de sistemas de recarga artificial dos aquíferos se torne um programa de sucesso resultante na adesão maciça da população do Distrito Federal é fundamental que se estabeleçam parcerias institucionais entre diferentes instituições em empresas do Governo do Distrito Federal.

A ADASA como responsável pela gestão dos recursos hídricos deve ser a instituição centralizadora das ações, desde a normatização dos processos de recarga até a alimentação do cadastro de sistemas já instalados.

Entretanto, a divulgação e até determinação para que os sistemas sejam instalados deverá contar com o apoio da Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília - CAESB, que está em contato direto com praticamente toda a população do Distrito Federal. A referida companhia pode divulgar, a partir de comunicados na conta de água, informativos sobre a legislação e a obrigatoriedade de se instalar os sistemas de recarga artificial de aquíferos. Também se pode realizar a divulgação de endereços de sítios na internet contendo informações sobre a importância de se realizar a recarga e os procedimentos técnicos necessários.

Outra instituição que deve participar da parceria institucional é a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal - EMATER, uma vez que esta instituição tem contato direto com a população do meio rural do Distrito Federal e é uma empresa respeitada pelos produtores. A participação poderá ser na forma de difusão de informações ou mesmo apoiando os projetos de recarga artificial nas imediações das sedes de propriedades rurais.

A Companhia Urbanizadora da Nova Capital - NOVACAP, como é responsável pelo urbanismo e jardinagem da capital, pode ser uma parceira para difundir os princípios da recarga

em áreas públicas (áreas verdes) e em outras áreas institucionais que apresentem condições de se implantar, sobretudo, as calhas de recarga que têm capacidade de induzir a infiltração de maior volume de água.

Os condomínios horizontais do Distrito Federal é um segmento em que particularmente a implantação de sistemas de recarga deve ser encorajada, uma vez que muitos deles utilizam águas subterrâneas para seu abastecimento e apresentam boas condições para a viabilização da recarga artificial (lotes grandes, manutenção de áreas verdes, população com maior esclarecimento sobre questões ambientais, etc.). Desta forma, é importante que a Associação dos Condomínios Horizontais do Distrito Federal também participe das estratégias para a implantação dos sistemas de recarga de forma efetiva no território distrital.

Em Administrações Regionais deverão desempenhar papel fundamental na implantação dos sistemas de recarga artificial, em dois diferentes momentos do processo. Inicialmente deverão analisar os novos projetos de ocupação incluindo a obrigatoriedade de instalação de sistemas de recarga artificial. Posteriormente deverão incluir em suas rotinas a instalação em áreas verdes e outras áreas desocupadas em que seja possível direcionar águas de coberturas para calhas de recarga.

As instituições de ensino, incluindo escolas públicas e privadas e as universidades, também devem ter papel importante na disseminação das práticas de recarga artificial dos aquíferos. Tais instituições, em geral, apresentam inúmeros prédios rodeados de significativas áreas verdes. A instalação de projetos pilotos em suas áreas e a divulgação dentre seus estudantes poderá favorecer a difusão da ideia e sua implantação em residências.

5.5 Estratégias para Implantação

A gestão de recursos hídricos é comprovadamente mais eficiente quando focada em grupos específicos de usuários. No caso das ações para recarga artificial ainda será necessário quebrar a inércia inicial, uma vez que se trata de uma ação sem precedentes em território brasileiro.

Inicialmente propõe-se que todos os novos projetos de ocupação urbana, incluindo aqueles em áreas urbanas consolidadas, tenham a obrigatoriedade de se instalar sistemas de indução da infiltração das águas de chuva, seguindo as diretrizes apresentadas no presente estudo. Para tanto, as administrações regionais devem ser notificadas para incluir esta exigência aos projetos de edificações que tramitam sob sua responsabilidade.

Em seguida, como estratégia para se alcançar o êxito desejado, propõe-se continuar o processo de implantação do sistema de recarga em condomínios horizontais. Esta forma de

ocupação apresenta excelentes condições de viabilidade, pois de forma geral são parcelamentos com lotes maiores, com população mais sensível às questões ambientais e têm administrações descentralizadas. A partir do momento em que se atingir a meta de implantação dos sistemas de recarga em pelo menos 20% dos lotes ocupados nos condomínios, novos segmentos de usuários deverão ser considerados.

O próximo segmento a ser considerado são os institucionais, incluindo escolas, universidades, áreas públicas e grandes áreas isoladas que possuem lotes muito muito grandes com expressivas áreas verdes.

Depois de disseminada a cultura da importância da recarga artificial para a gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, o seguimento urbano consolidado deve ser inserido na obrigatoriedade de se instalar os referidos sistemas, nos locais em que ainda sejam possíveis, dentro das limitações específicas destas áreas que apresentam elevada densidade de ocupação.

Para todos os casos, o melhor período para se construir as instalações para a recarga artificial é o período seco do ano, principalmente para a escavação dos solos que conterão as caixas, trincheira e calhas de recarga. Neste período pode-se eliminar os incômodos associados a formação de lamas e enxurradas com elevada turbidez. Em muitos casos, os solos obtidos das escavações podem ser espalhados nas próprias áreas verdes adjacentes e não necessitam ser transportados para áreas externas ou áreas de bota-foras.

5.6 Cadastro dos Projetos Instalados

O cadastramento dos sistemas de recarga artificial instalados deverá ocorrer apenas para se determinar a evolução da implantação dos sistemas (em termos numéricos e em distribuição relativa na poligonal do DF), uma vez que não haverá qualquer tipo de cobrança de taxa para os usuários que construírem sistemas individuais.

Como na maioria dos casos não haverá um processo administrativo junto ao órgão gestor (que será necessário apenas para os sistemas de calhas de recarga) o cadastro deverá ser feito por meio do preenchimento e envio dos dados à Adasa, para endereço a ser oportunamente divulgado.

Dentre as informações que devem constar do cadastro se destacam: (*) dado não obrigatório e (**) dado obrigatório:

- Nome do proprietário (*)
- Endereço do imóvel (**);

- Tipo de sistema de recarga instalado (**);
- Coordenadas UTM do ponto em que foi instalado o sistema de infiltração (**);
- Descrição sucinta dos solos locais (cor, espessura, umidade, feições gerais, etc.) (*);
- Características do sistema de infiltração (tipo e dimensões) (**);
- Área de cobertura a ser captada e direcionada ao sistema de recarga (**);
- Dados do responsável técnico (quando for o caso) - nome, formação, número de CREA e ART (**);
- Documentação fotográfica das obras de instalação (quando disponíveis) (*);
- Distância do sistema de recarga de fundações e outras obras de edificações civis (*).

5.7 Monitoramento

O monitoramento da efetividade dos sistemas de recarga subterrânea deverá ser focado no aquífero, tanto sobre o aspecto da variação da capacidade de transmissão de água ao longo do tempo, a ser avaliado por meio do monitoramento dos seus níveis potenciométricos, quanto sobre seus aspectos qualitativos, monitorando o comportamento hidroquímico e bacteriológico de suas águas.

Os pontos a serem monitorados deverão ser, preferencialmente, em poços já existentes da rede de monitoramento da ADASA, e aqueles dedicados ao monitoramento obrigatório de empreendimentos específicos (ex.: postos de combustíveis), e em poços selecionados que já possuem outorga junto à ADASA. A determinação dos pontos de coleta deverá ser feita com auxílio do cadastro da ADASA e dos processos de licenciamento ambiental de postos, junto ao IBRAM.

Monitoramento Qualitativo

A coleta de água para avaliação qualitativa deverá ser realizada o mais próximo possível da saída do poço. Não deve ser amostrada água na saída dos reservatórios, ou na tubulação de distribuição de redes adutoras. Quando possível, uma torneira deverá ser instalada imediatamente na saída do tubo adutor, onde a amostragem deverá ser realizada.

No caso de poços não equipados com bombas submersíveis, a amostragem deve ser feita com amostradores do tipo *bailers*, com sistema interno de retenção.

Os parâmetros a serem avaliados deverão incluir carbonato, sódio, potássio, cálcio e magnésio, sulfato, nitrato, fosfato (para a classificação das diversas águas amostradas), coliformes totais e coliformes termotolerantes e para casos específicos nas proximidades de postos de combustíveis deverão ser analisados Benzeno, Tolueno, Etil Benzeno e Xilenos (BTEX).

A periodicidade deverá ser semestral, sendo que uma tomada de amostra deve coincidir com o período seco do ano e outra com a época chuvosa, preferencialmente, em setembro/outubro e março/abril.

A responsabilidade pelo monitoramento poderá ficar a cargo da CAESB ou, para minimizar os custos e agilizar o processo, poderá ser atribuída aos proprietários dos poços e dos sistemas de recarga, principalmente no caso de condomínios e instituições.

Monitoramento dos Níveis Estáticos

O monitoramento do comportamento dos níveis estáticos deverá ser realizado nos mesmos poços do monitoramento qualitativo e com periodicidade mensal.

Nos casos de medição em poços produtores, deverá ser considerado o desligamento da bomba 2 horas antes da medição ou o máximo de tempo possível. Esse tempo de repouso é necessário para que o poço recupere ao máximo seu nível estático, de forma que se possa obter uma medida mais próxima possível ao nível estático. Só dessa forma será viável monitorar a variação dos níveis d'água e definir com segurança se a recarga artificial causa impactos positivos significativos ao sistema aquífero.

Após um período de tempo, depois de se iniciar a instalação dos sistemas de recarga, o monitoramento poderá ser realizado a partir de medições de vazões nos postos fluviométricos. As expectativas são de que depois da instalação de um número significativo de sistemas de infiltração deverá ocorrer maior regularização das vazões, ampliando a vazão no período seco e diminuindo os picos de enchentes.

Referencias bibliograficas

- ABERBACH, S.H. Review of artificial ground-water recharge in the Coastal Plain of Israel. *International Assoc. Sci. Hydrology Bull.*, v. 12, nº 1, p. 65-77, 1967.
- ALMEIDA, L. 2011. Estudo da Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial para a Sustentabilidade das Águas Termais da Região de Caldas Novas- GO.
- BARBOSA, C.M.S. *et al.* 2008. Conceitos e diretrizes para recarga artificial de aquíferos. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal- RN.
- BERGER, S.G. & GIENTKE, F.J. 1998. Seawater intrusion reversed through artificial recharge beneath the Oxnard Plain, California. In: *Artificial Recharge of Groundwater. Proceedings of the 3th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater.* Rotterdam. p. 3-9.
- BHATTACHARYA, A.K. Artificial ground water recharge with a special reference to India. *IJRRAS*, v. 4, nº 2, 2010.
- BOUWER, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, 10:121-142.
- BROWN, R.F. & KEYS, W.S. Effects of artificial recharge on the Ogallala aquifer, Texas. U.S. Geological Survey water-supply paper 2251, Washington-USA, 56 p., 1985.

- CADAMURO, A.L.M. 2002. Proposta, Avaliação e Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial em Aquíferos Fraturados para Condomínios Residenciais do Distrito Federal. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Dissertação de Mestrado, 130p.
- CADAMURO, A.L.M., CAMPOS, J. E. G., TRÖGER, U. 2003. Artificial recharge in fractured rocks? An example from the Federal District of Brazil for the sustainability of the system. Proceedings do 4 Inter. Symp. on Artificial Recharge. Adelaide 1:56-60.
- CADAMURO, A.L.M., Campos, J. E.G. 2005. Recarga Artificial de Aquíferos Fraturados no Distrito Federal: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. Revista Brasileira de Geociências. v. 35:89-98.
- CAMPOS, J.E.G. 2011. Meio Físico do Distrito Federal. In: Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal. Disponível em: <http://www.zee-df.com.br/produtos.html>.
- CAMPOS, J.E.G., FREITAS-SILVA, F.H., 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. IEMA / SEMATEC / UnB, Brasília, pp.1-85 (Vol. IV- Relatório Técnico).
- CHAGAS, J.M. 2008. Captação de Água de Chuva para Recarga de Aquíferos e Usos Múltiplos. Monografia de Graduação, Faculdade Araguaia, Goiânia, 40 p.
- DIAMANTINO, C. 2005. Metodologias de recarga artificial de aquíferos. 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de língua oficial portuguesa, Évora - Portugal.
- DIAZ, J.M.M., Gomez, J.A.O., Armayor, J.L. & Catano, S.C. 2000. Recarga Artificial de Aquíferos. Síntesis Metodológica. Estudios y Actuaciones Realizadas en la Provincia de Alicante. Editores López Geta, J.A. & Hernandez, L.R. Consultado em 25/10/2014. Disponível em URL:<http://aguas.igme.es/igme/libros2.htm>
- DILLON, P.2005. Future Management of Aquifer Recharge. In Hydrogeol Journal, 2005.
- EMBRAPA. 2004. Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo.
- FETTER, CW. 1994. Applied Hydrogeology. Macmillan. New York. 586p. 3rd Edition.
- FREITAS-SILVA, F. H. & CAMPOS, J. E. G. Geologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília, IEMA – UnB. Relatório Técnico, 1998. v. I, Cap. I, p.1-78 .
- GALE, I. & DILLON, P. 2005. “Strategies for managed aquifer recharge in semi-arid areas”. Edited by Ian Gale. Compiled by the International Association of Hydrogeologists- Commission on Management of Aquifer Recharge IAH – MAR, with the support of UNESCO International Hydrological Program (IHP), Project on Artificial Recharge and Management of Water Resources in Arid and Water Scarce Zones(UNESCO G-WADI) and the British Department for International Development (DFID) (Disponível em URL:http://www.iah.org/recharge/pdf/MAR_strategies.pdf).
- GALE, I. NEUMANN, I., CALOW, R.; MOENCH, M. 2002. The effectiveness of Artificial recharge of groundwater: a review. In: Groundwater Systems and Water Quality Programme. Phase 1, Final Report CR/02/108N. British Geological Survey. Keyworth, Nottingham. 82 p.
- GODOY, E.V.; GARCIA, D.S. & FARINA, S. L. 1994. Recarga artificial de aquífero freático en Filadelfia - Chaco Central Paraguayo. In: XIII Congr. Brasil. de Águas Subterráneas, 385-393. Recife/PE.
- GOLDSHMID, J. Water-quality aspects of ground-water recharge in Israel. American Water Works Association, v. 66, nº 3, p. 163-166, 1974.
- HESPANHOL, I. 2002. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos - Revista Brasileira de Recursos Hídricos 7(4):75-95.
- [HTTP://nd.water.usgs.gov/](http://nd.water.usgs.gov/). The water cycle. Acessado em 06/11/2014.

- INMET - Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. 2003. Normais Climatológicas do Brasil /1961-1990 – disponível em:<http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/imagens/normais/textos/apresentacao.pdf>
- INMET - Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. 2003. Normais Climatológicas do Brasil /1961-1990 – disponível em:<http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/imagens/normais/textos/apresentacao.pdf>
- KATZER, T. & BROTHERS, K. 1989. Artificial recharge in Las Vegas Valley, Clark County, Nevada. *Ground Water* 27(1):50-56.
- KLOPPMANN, W. 2009. B and Li isotopes as intrinsic tracers for injection tests in aquifer storage and recovery systems. *Applied Geochemistry* 24(7):1214-1223.
- KNEZEK, M. & KUBALA, P. 1994. Experience with artificial groundwater recharge in Karany. In: *Groundwater - Drought, pollution & management*, Reeve & Watts (eds). Balkema, Rotterdam. p. 235- 242.
- KOTTECK, M., J. GRIESER, C. BECK, B. RUDOLF, RUBEL. F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15:259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
- MARTINS, E. S. & BAPTISTA, G. M. M. 1998. Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. In: *Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal*. IEMA/ SEMATEC/ UnB. Brasília. Parte II. 53p.
- MATTHEWS, C. 1991. Using ground water basins as storage facilities in Southern California. *Water Resources Bulletin*, 17(5):841-847.
- MONTEIRO, R.D. 2013. Avaliação de recursos hídricos e viabilidade da recarga artificial de aquíferos na bacia hidrográfica dos engenhos na Ilha de Santiago - Cabo Verde. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Universidade Nova de Lisboa. 106 p.
- MONTENEGRO S.G.; MONTENEGRO, A.A.; CAVALCANTI, G.L.; MOURA, A.E.S. 2005. Recarga artificial de aquíferos com águas pluviais em meio urbano como alternativa para a recuperação dos níveis potenciométricos: Estudo de caso na planície do Recife (PE). In: 5º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Teresina. Piauí. 10 p.
- MOURA, A.N. 2004. Recarga artificial de aquíferos: os desafios e riscos para garantir o suprimento futuro de água subterrânea. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo-Brasil.
- NOVAES PINTO, M. 1994a. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: Novaes Pinto, M. (org). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília. Editora UnB. 2a ed. p. 285-320.
- NOVAES PINTO, M. 1994b. Paisagens do cerrado no Distrito Federal. In: Novaes Pinto, M. (org). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. 2a ed. Brasília: UnB. p. 511-542.
- O'SHEA, M.J.O. 1994. Drought management using artificial aquifer in north London. In: *Groundwater - Drought, pollution & management*, Reeve & Watts (eds). Balkema, Rotterdam. p. 223-233.
- PICOT-COLBEAUX, G.; THIÉRY, D.; SARAH, S.; BOISSON, A.; PETTENATI, M.; PERRIN, J.; DEWANDEL, B.; MARÉCHAL, J.C.; AHMED, S.; KLOPPMANN, W. Modeling artificial recharge capacity of fractured hard rock under semi-arid conditions in Southern India: Implementing storage basin dynamics into MARTHE code. 8º International Symposium on Managed Aquifer Recharge: Meeting the Water Resource Challenge. China, 2013.

- ROSEIRO, C.M.S.D. 2009. Recarga Artificial de Aquíferos: Aplicação ao Sistema Aquífero da Campina de Faro, Lisboa- Portugal.
- SALO, J.E.D.; HARRISON, D. & ARCHIBALD, E.M. 1986. Removing contaminants by groundwater recharge basins. *Journal, American Water Works Association*, 78(79):76-81
- SEWRPC. 2006. "State-of-the-Art of Water Supply Practices". Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (SEWRPC). Technical Report N.º 43, Chapter VI – Artificial Groundwater Recharge and Management (preliminary Draft) (Disponível em URL http://www.sewrpc.org/watersupplystudy/pdfs/tr-43_chapter-6_preliminary_draft.pdf).
- SILVA, G.E.S. 2004. Avaliação do Potencial da Recarga Artificial como Alternativa para Recuperação da Potenciometria de Aquífero: Estudo de Caso na Planície do Recife-PE. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 145 p.
- SILVA, G.E.S., MONTENEGRO, S.M.G.L., COSTA, L.M. 2004. Modelagem numérica de recarga artificial em aquífero costeiro na planície do Recife (Brasil). XXV CILAMCE - Iberian Latin American Congress on Computational Methods. Recife, PE. XXP.
- STAMOS, C.L.; MARTIN, P.; EVERETT, R.R.; IZBICKI, J.A. The effects of artificial recharge on groundwater levels and water quality in the West Hydrogeologic Unit of the Warren Subbasin, San Bernardino County, California. *Scientific Investigations Report 2013-5088*, Reston, Virginia, 47 p., 2013.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. 1955. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)
- TOPPER, R. *et. al.* 2002. Colorado Geological Survey Department of Natural Resources, Artificial Recharge of Ground Water In Colorado - A Statewide Assessment, 2004. By E.P. Weeks A Historical Overview of Hydrologic Studies of Artificial Recharge in the U.S. Geological Survey U.S. Geological Survey Artificial Recharge Workshop Proceedings, Sacramento, California, April 2-4, 2002 (OFR 02-89) (Disponível em URL <http://water.usgs.gov/ogw/pubs/ofr0289/ofr0289.pdf>).
- ZEE, 2011. Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal. Disponível em: <http://www.zee-df.com.br/produtos.html>.

ANEXO I - BASE LEGAL

RESOLUÇÃO 153 - CONAMA MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS DOU de 04/04/2014 (nº 65, Seção 1, pág. 125)

Estabelece critérios e diretrizes para implantação de Recarga Artificial de Aquíferos no território Brasileiro.

O CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, no uso das competências que lhe são conferidas pelas Leis nºs 9.433, de 8 de janeiro de 1997, 9.984, de 17 de julho de 2000, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria MMA nº 437, de 8 de novembro de 2013, e

Considerando a Década Brasileira da Água, instituída pelo Decreto de 22 de março de 2005, cujos objetivos são promover e intensificar a formulação e implementação de políticas, programas e projetos relativos ao gerenciamento e uso sustentável da água.

considerando as Resoluções CNRH nº 15, de 11 de janeiro de 2001, que estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas; nº 22, de 24 de maio de 2002, que estabelece diretrizes para a inserção das águas subterrâneas nos Planos de Recursos Hídricos; nºs 91 e 92, de 5 de novembro de 2008, que dispõem sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, e estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro, respectivamente; e nº 107, de 13 de abril de 2010, que estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas;

Considerando a Resolução Conama nº 396, de 3 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas;

Considerando a necessidade de promover a utilização racional das águas subterrâneas e sua gestão integrada com as águas superficiais, de forma sustentável;

Considerando a necessidade de regulamentação para a recarga artificial de aquíferos no território brasileiro, resolve:

Art. 1º - Estabelecer critérios e diretrizes para a implementação da Recarga Artificial de Aquíferos no território brasileiro.

Art. 2º - Para efeito desta Resolução considera-se:

Aquífero - Formação geológica com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras, ou espaços resultantes da dissolução;

Empreendedor - Pessoa física ou jurídica responsável pela implementação da recarga artificial de aquíferos;

Formação Geológica - Rocha ou conjunto de rochas que têm características próprias, em relação à sua composição, idade e origem;

Implementação de Recarga Artificial de Aquífero - Compreende as fases de planejamento, implantação, operação, manutenção e avaliação da recarga artificial de aquífero;

Nível D'água - Profundidade da água dentro do poço, tanto em repouso (nível estático - NE) como em movimento (nível dinâmico - ND), medido em relação à superfície do terreno;

Parâmetros Hidrodinâmicos - Parâmetros físicos do aquífero:

Coefficiente de Armazenamento, Transmissividade e Condutividade Hidráulica, que controlam suas condições de armazenamento e fluxo;

Recarga Natural - Infiltração natural de água nos aquíferos, sem intervenção antrópica, ou facilitação por práticas conservacionistas, e compreende uma variável do ciclo hidrológico;

Recarga Artificial - Introdução não natural de água em um aquífero, por intervenção antrópica planejada, por meio da construção de estruturas projetadas para este fim;

Recarga Acidental - Introdução de água em um aquífero, por consequência de atividades antrópicas não planejadas para fins de recarga artificial;

Repressurização de Formações Geológicas - Processo ou intervenção planejada de injeção de fluidos em formação geológica de subsuperfície com o objetivo de manter ou aumentar a produção de hidrocarbonetos, incluindo o processo de armazenamento para recuperação posterior;

Práticas conservacionistas - Procedimentos em que se recorre a estruturas artificiais tendo como principais objetivos conter os efeitos da enxurrada, disciplinar o escoamento e favorecer a infiltração local da água no solo.

Segurança Hídrica - Garantia de disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade para suprir as demandas de usos múltiplos, dentro de uma visão de desenvolvimento sustentável.

Art. 3º - A recarga artificial pode ser implantada:

I - a partir da superfície, com infiltração de água através de barragens, espalhamento de água, canais, valas, ou a combinação destes;

II - em profundidade, com a injeção direta de água no aquífero através de poços.

Parágrafo único - Em áreas com histórico de contaminação de solo, mesmo que reabilitadas, não será permitida a recarga artificial especificada no inciso I.

Art. 4º - A Recarga Artificial de Aquíferos poderá ser executada com o objetivo de:

I - armazenar água para garantia da segurança hídrica;

II - estabilizar ou elevar os níveis de água em aquíferos regularizando variações sazonais;

III - compensar efeitos de superexploração de aquíferos;

IV - controlar a intrusão salina;

V - controlar a subsidência do solo.

§ 1º - Outros objetivos não previstos neste artigo e que impliquem diretamente em recarga artificial de aquíferos serão analisados e deliberados pelas entidades ou órgãos gestores estaduais de recursos hídricos.

§ 2º - A presente resolução não é aplicável para a remediação de aquíferos contaminados por atividade antrópica, para casos de recarga acidental e para processos de repressurização de formações geológicas visando recuperação de hidrocarbonetos.

Art. 5º - A recarga artificial de aquíferos dependerá de autorização da entidade ou órgão gestor estadual de recursos hídricos ao empreendedor e estará condicionada à realização de estudos que comprovem sua viabilidade técnica, econômica, sanitária e ambiental.

§ 1º - Os estudos citados no *caput* deverão abranger os aquíferos e as águas a serem utilizados para a recarga e incluir caracterização hidrogeológica e hidrológica com ênfase nos aspectos hidroquímicos e hidráulicos.

§ 2º - Para os estudos mencionados no *caput*, serão exigidas a identificação da equipe técnica responsável pela sua elaboração, acompanhadas das respectivas Anotações de Responsabilidade Técnica - ART, emitidas pelos Conselhos Profissionais competentes;

§ 3º - A autorização para a implantação da recarga artificial será dada a partir da aprovação dos estudos mencionados no *caput*.

Art. 6º - Caberá às entidades ou órgãos gestores estaduais de recursos hídricos:

I - definir Termos de Referência para elaboração dos estudos citados no artigo 5º;

II - definir, em articulação com o empreendedor, quando necessário, a realização de estudos complementares e seu detalhamento;

III - coordenar as ações e participação das diferentes esferas governamentais, instituições, pessoas físicas e jurídicas, envolvidas na implementação da recarga artificial, quando for o caso;

Art. 7º - Os estudos de que trata o artigo 5º deverão conter, no mínimo:

I - caracterização hidrogeológica da área de abrangência do projeto;

II - caracterização e dimensionamento das obras propostas;

Parágrafo único - A critério da entidade ou órgão gestor de recursos hídricos, em função da especificidade do empreendimento, poderão ser exigidos os seguintes estudos:

I - caracterização da qualidade físico-química e bacteriológica da água a ser utilizada na recarga artificial e das águas dos aquíferos;

II - avaliação dos possíveis impactos quali-quantitativos nos aquíferos;

Art. 8º - A recarga artificial não poderá causar alteração da qualidade das águas subterrâneas que provoque restrição aos usos preponderantes.

Art. 9º - O responsável pela operação do sistema de recarga artificial deverá manter um registro do comportamento do sistema, incluindo:

I - os volumes de água utilizados por tipo de recarga;

II - a taxa de infiltração ao longo das operações e a quantidade total infiltrada;

III - o monitoramento da qualidade da água de recarga e da água do aquífero recarregado;

IV - o monitoramento da variação do nível potenciométrico;

V - os registros de precipitação e evaporação na área;

VI - os efeitos da recarga em mananciais de abastecimento, na sua área de influência.

§ 1º - Os registros do comportamento do sistema de recarga artificial, citados no *caput*, deverão compor um Relatório Técnico que será apresentado periodicamente à entidade ou órgão gestor estadual de recursos hídricos.

§ 2º - O empreendedor deverá suspender imediatamente a operação do sistema quando for constatada que a qualidade das águas não atende as condições estabelecidas nos estudos até o restabelecimento das referidas condições.

§ 3º - As não conformidades detectadas na implementação da recarga artificial de aquíferos deverão ser prontamente informadas ao órgão gestor estadual de recursos hídricos.

Art. 10 - O Estado poderá incentivar a realização de recarga artificial por entidades privadas, pessoas físicas ou jurídicas.

Art. 11 - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

IZABELLA TEIXEIRA - Presidente do Conselho

NEY MARANHÃO - Secretário Executivo

LEI Nº 3.793, DE 02 DE FEVEREIRO DE 2006 DODF DE 08.02.2006

Institui, no Distrito Federal, o sistema de recarga artificial de aquíferos e dá outras providências.

O GOVERNADOR DO DISTRITO FEDERAL, FAÇO SABER QUE A CÂMARA LEGISLATIVA DO DISTRITO FEDERAL DECRETA E EU SANCIONO A SEGUINTE LEI:

Art. 1º Fica instituído, no Distrito Federal, o sistema de recarga artificial de aquíferos.

§ 1º Por recarga artificial de aquíferos entendem-se as medidas de intervenção humana destinadas a induzir a introdução no subsolo de águas pluviais coletadas dos telhados ou de outras impermeabilizações artificiais do solo.

§ 2º Os sistemas de recarga artificial de aquíferos deverão ser compatíveis com as respectivas áreas impermeabilizadas, observadas as tecnologias adequadas.

Art. 2º O sistema de recarga artificial de aquíferos é obrigatório em todos os projetos de arquitetura para construção destinada a residência, comércio, indústria, instituição ou qualquer outra edificação impermeabilizante do solo.

Parágrafo único. A obrigatoriedade prevista neste artigo é extensiva aos projetos de reforma submetidos à apreciação dos órgãos públicos.

Art. 3º As áreas públicas onde houver plantio de grama serão preparadas de modo a possibilitar a retenção das águas pluviais.

Art. 4º O Poder Público distrital deverá providenciar a instalação de sistema de recarga artificial de aquífero junto à rede de coleta de águas pluviais.

Parágrafo único. As especificações técnicas para instalação do sistema previsto neste artigo serão definidas pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Art. 5º O Poder Executivo, por intermédio da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, deverá definir os padrões e sistemas de recarga artificial de aquíferos no prazo de noventa dias contados da publicação desta Lei.

Art. 6º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 7º Revogam-se as disposições em contrário.

Brasília, 02 de fevereiro de 2006.
118º da República e 46º de Brasília
JOAQUIM DOMINGOS RORIZ

ANEXO II

GLOSSÁRIO TÉCNICO

Aquífero - meio geológico (solo, rocha alterada ou rocha sã) com capacidade de armazenar e transmitir água subterrânea.

Aquífero fissuro-cárstico - meio geológico onde a água está retida em rochas carbonáticas (ricas em carbonato de cálcio e magnésio) que sofrem dissolução ao longo das fraturas formando vazios que podem ser preenchidos por água.

Aquífero fraturado - meio geológico em que a água está retida em porosidade secundária do tipo fraturas, diáclases, juntas ou falhas.

Aquífero intergranular - meio geológico onde a água está retida nos espaços entre os grãos que compõem a rocha ou o solo.

Bidim - tecido geotêxtil composto por material sintético utilizado para minimizar a remoção de partículas fina na construção de drenos e outras obras subterrâneas. Os tecidos tipo bidim e outras marcas têm ampla aplicação para diferentes demandas (jardinagem, proteção de encostas, drenos subterrâneos, etc.).

Calcita - mineral definido pela presença de carbonato de cálcio. Apresenta a propriedade de se dissolver quando em contato com soluções aquosas ácidas.

Cambissolo - solo jovem, em geral pouco espesso, com diferenciação incipiente de horizontes e presente em regiões com alta declividade do terreno.

Condutividade Hidráulica - o mesmo que permeabilidade. Referente à passagem de fluidos através de meios sólidos.

Contaminação - mudança da composição química natural das águas, em geral, em função de efluentes produzidos pela ação humana.

Couraça Laterítica - ver petroplintita.

Dolomita - mineral definido pela presença de carbonato de cálcio e magnésio. Apresenta a propriedade de se dissolver quando em contato com soluções aquosas ácidas.

Espodossolo - solos que sofrem movimentação vertical de matéria orgânica que migra do horizonte superficial para maiores profundidades do perfil (apresentam cores cinza escura).

Exutório - local ou região em que a água subterrânea chega a superfície. Pode ser caracterizada por fontes, brejos ou cursos de água.

Fonte de contato - o mesmo que nascente de contato. Ponto de afloramento da água subterrânea em função da superposição de camadas ou materiais com contraste de permeabilidade.

Fonte e depressão - o mesmo que nascente de depressão. Ponto de exposição da água subterrânea em função de rebaixamento local da superfície do terreno.

Fonte de fratura - o mesmo que nascente de fratura. Local de exudação da água subterrânea em função da presença de fraturas e falhas nas rochas. Neste caso as estruturas funcionam como conduto para a água subterrânea.

Filito - rochas onde as micas ou argilas são apenas identificadas com o auxílio de lupa de bolso.

Gleissolo - solos de áreas sazonal ou permanentemente encharcadas. Comuns em áreas de brejos e veredas.

Hidrodinâmico - relativos aos parâmetros que definem o fluxo d'água através do seu reservatório.

Intemperismo físico - transformação da rocha por agentes mecânicos como variação de temperatura.

Intemperismo químico - transformação da rocha em solo em função de reações químicas, com destaque para as reações e hidrólise que quebra a estrutura mineral pela ação da água.

Hidrogeologia - parte da ciência geológica que estuda todos os aspectos da água subterrânea, incluindo sua distribuição, localização, exploração e remediação em casos de contaminação.

Latossolo - solo espesso, antigo, caracterizado pela homogeneidade do perfil (com horizontes pouco definidos) que ocorre em regiões de relevo plano.

Metassilito - rocha composta pela acumulação de silte (fragmentos com tamanho entre argila e areia), que foi submetida a elevação de pressão e temperatura depois de sua sedimentação.

Neossolo quartzarênico - classe de solo com menos de 15% de material argiloso, com ampla predominância da fração arenosa e presença comum de blocos rochosos.

Petroplintita - camada formada pela migração vertical e horizontal de ferro que se deposita na forma de óxido que é posteriormente endurecida.

Poço artesiano - poço perfurado em aquífero confinado. Pode ser não jorrante ou jorrante (com saída da água a partir da energia natural do sistema).

Poço de monitoramento - poço construído com o objetivo específico de estudar o aquífero em seus aspectos qualitativos e quantitativos.

Poço escavado - ou poço raso, termo aplicado ao tipo de poço perfurado por meios rudimentares, com profundidade inferior a trinta metros, com diâmetro grande com relação à profundidade e com denominações regionais de cisterna (região sul, sudeste e centro-oeste do Brasil) ou cacimba (região nordeste do Brasil).

Poço raso - ver poço escavado.

Poço tubular profundo - denominação de poço perfurado com auxílio de máquinas, com profundidades maiores que cinquenta metros, com diâmetro pequeno com relação à profundidade.

Polegada - unidade de medida equivalente a 2,54 cm.

Porosidade - todos os espaços vazios no maciço rochoso ou nos solos. Matematicamente é definida por volume de vazios dividido pelo volume total. Expressa em percentual.

Porosidade efetiva - parte da porosidade livre para o fluxo. O mesmo que porosidade eficaz.

Quartzito - rocha formada pela acumulação de areia, que foi submetida a elevação de pressão e temperatura depois de sua sedimentação.

Regolito - seção dos materiais de coberturas compostos pelos vários horizontes de solos e rochas alteradas.

Saprolito - parte de rochas alteradas (com estrutura original preservada) presente na transição entre os solos e as rochas frescas.

Solo litólico - solos rasos ricos em fragmentos de rochas, sem a presença de um horizonte B diagnóstico.

Transmissividade - grandeza que determina o fluxo da água, por unidade de largura do aquífero, sob gradiente hidráulico unitário. Expressa pelo produto da condutividade hidráulica pela espessura da porção saturada do aquífero.

Unidade Litoestratigráfica - rocha ou conjunto de rochas que é diferenciada por sua composição, cor, granulometria e outras propriedades físicas.

Vadosa - o mesmo que rasa (ver zona não saturada).

Xisto - rocha onde as micas são observáveis sem auxílio de lupa.

Zona não saturada - parte do aquífero acima do nível freático onde os espaços da rocha ou solo não estão totalmente preenchidos por água.

Zona saturada - parte do aquífero onde todos os espaços da rocha ou solo estão preenchidos por água, sob pressão superior à pressão atmosférica.