

USO DO CICLO DE DEMING EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA.

Wictor Edney Dajtenko Lemos¹ & Francisco de Assis de Souza Filho².

1. **Doutorando em Recursos Hídricos - Universidade Federal do Ceará.**
2. **Doutor. Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - Universidade Federal do Ceará.**

ABSTRACT

Water quality and quantity monitoring is important to describe its state and trends of the resource and identify the existence and development issues by examining the regularity with legislation. It was proposed a monitoring system as a key component of the environmental protection, based on the Deming Cycle, whose routine, coupled with a water quality modeling system improves the assessment and management of ecosystems and exert control processes that can be used continuously for the water resources management. The Deming Cycle aims to exert control of the processes that can be used continuously for the water resources management. The monitoring system becomes an interactive process, where new information is added to each loop cycle. Without that feedback, failures due to initial decisions could not be resolved.

Keywords: Water quality monitoring. Water resources management. Deming cycle.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial ao planeta e atualmente tem preocupado a humanidade dado o problema de sua escassez. Por ser um recurso finito, a água é fundamental tanto para a sobrevivência do homem como para a manutenção de todas as outras formas de vida e o equilíbrio natural dos ecossistemas.

A quantidade e a qualidade da água presente nos ecossistemas devem ser suficientemente adequadas para que haja um desenvolvimento sócio-econômico sustentável. Atualmente existe uma preocupação com a evolução dos processos que a fazem um bem em constante deterioração, notadamente por causas antropogênicas. Tais processos, como a descarga de efluentes sanitários, deveriam passar por um prévio tratamento, fundamental para a conservação dos recursos hídricos.

A escassez por água limpa é mais forte nas regiões áridas e semiáridas do globo, dada a combinação entre clima, alta densidade populacional e a degradação do meio ambiente. Estas regiões cobrem aproximadamente um terço da superfície terrestre e são habitadas por quase 400 milhões de pessoas (WILLIAMS, 1999). As reservas brasileiras de água doce, que representam aproximadamente 12% do volume total mundial, não estão distribuídas de maneira uniforme pelo país, visto que 80% delas concentram-se na Amazônia. A região semi-árida do Nordeste, mesmo incluindo grande parte da bacia do rio São Francisco, possui apenas 4% dos recursos hídricos do país, mas abriga 35% da população brasileira, em sua maioria famílias de baixa renda.

A irregularidade pluviométrica, sua má distribuição no tempo e no espaço, a elevada taxa de evaporação/evapotranspiração e as altas temperaturas caracterizam a região semiárida e condicionam o seu desenvolvimento. O clima tropical semiárido é caracterizado por ter precipitações médias anuais entre 25 e 800 mm, pela ausência de estações frias e por apresentarem temperaturas um tanto uniformes, sendo suas subdivisões climáticas baseadas no volume e na distribuição da precipitação (AYOADE 1988; WILLIAMS, 1999).

A quantidade e a natureza dos constituintes presentes na água variam conforme o tipo de solo de onde se originam; das condições climáticas atuantes e das fontes poluidoras (despejos industriais, rurais e domésticos). Em reservatórios, a qualidade da água armazenada varia sazonalmente, com as estações do ano; diurnamente, com as variações de temperatura entre o dia e a noite e interanualmente, promovidos pelos ciclos naturais ou por mudanças climáticas globais. A precipitação pluviométrica e a evaporação sobre a bacia de drenagem dos lagos, rios e reservatórios, por exemplo, influenciará sobre a afluência de água e aporte de nutrientes e, conseqüentemente, influenciará o comportamento hidrodinâmico do corpo d'água. Períodos chuvosos poderão tornar as águas mais turvas, diminuindo a produtividade; em épocas de estiagem a transparência das águas pode aumentar e, assim, aumentar a produtividade.

Sistemas tropicais apresentam uma proporção de liberação de fosfato dissolvido relativamente maior, embora com uma acumulação de carbono e nutrientes comparativamente menor que os sistemas temperados, como resultados de maiores temperaturas e processos mais acelerados de reciclagem destes

nutrientes nos trópicos. Neste sentido, esforços devem ser aplicados para que as características regionais estejam bem delimitadas em acordos e decisões políticas sobre a gestão da qualidade da água.

O gerenciamento de lagos e reservatórios visando à proteção e manutenção de uma boa qualidade da água, a vida aquática e todos os demais múltiplos usos à qual a água se destina deve ser pensado englobando as regionalidades. A gestão da qualidade da água parte de um ponto fundamental centrado em políticas públicas sérias e da elaboração de um plano criterioso de ação. A manutenção e preservação de todos os serviços ambientais e sócio-econômicos dos quais reservatórios são responsáveis depende de uma gestão com uma abordagem ecossistêmica.

Uma abordagem voltada às questões ecológicas torna-se um tanto óbvia em termos físicos, visto que o fluxo de água consumida ou redistribuída periodicamente afeta a capacidade de depuração de rios e reservatórios e, conseqüentemente, o efeito dos despejos de efluentes industriais ou urbanos na qualidade da água (MARGULIS *et al.*, 2002). A autodepuração dos corpos d'água é um fenômeno que promove o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes (VON SPERLING, 1996). Esse restabelecimento das condições reflete a capacidade do corpo hídrico em superar o impacto da entrada dos efluentes não tratados no sistema.

A gestão da qualidade da água é feita integrando o planejamento de atividades gestoras e uma perfeita administração. Assim, a informação sobre a condição ecológica e sanitária dos ecossistemas aquáticos se torna essencial para subsidiar ações tanto no tempo presente (em termos da gestão dos recursos hídricos) quanto no futuro (planejamento) (MAROTTA *et al.*, 2008).

Neste trabalho, procurou-se definir diretrizes para um sistema integrado de gestão da qualidade da água, estabelecendo condicionantes para uma política de monitoramento em regiões semiáridas. O estabelecimento de critérios que reconheçam as especificidades dos processos influentes e a identificação dos fatores ambientais que modulam o ciclo de qualidade de água em reservatórios teve papel importante. Além disso, uma metodologia de gestão foi proposta com base no ciclo PDCA, onde se procurou acoplar o sistema de monitoramento ao sistema de modelagem da qualidade da água, visando a otimização do sistema.

2. METODOLOGIA

2.1. Qualidade da Água e Meio Ambiente

A Agência Nacional das Águas (ANA) é o órgão responsável por implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, cabendo-lhe, entre outras atribuições, promover a elaboração de estudos para subsidiar a aplicação de recursos financeiros da União em obras e serviços de regularização de cursos d'água, de alocação e distribuição de água e controle da poluição hídrica, em consonância com o estabelecido nos Planos de Recursos Hídricos (ANA, 2005).

O capítulo II da política nacional dos recursos hídricos destaca os objetivos principais da qualidade da água, que é "assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos". Já no capítulo III, encontramos as diretrizes gerais para a implementação da política, como, por exemplo, "a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade". O grande problema é que historicamente a gestão da qualidade das águas não teve o mesmo destaque que a gestão de suas quantidades, com informações insuficientes ou até mesmo inexistentes (ANA, 2005).

Por qualidade da água entende-se o conjunto de todas as características físicas, químicas e biológicas que ela apresenta. A qualidade varia de acordo com a sua utilização, onde padrões de classificação pretendem classificar a água de acordo com a sua potabilidade, a segurança que apresenta para o ser humano e para o bem estar dos ecossistemas. A resolução CONAMA 357/2005 dispõe sobre a qualidade apresentando-a por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente às Classes de Qualidade. Por classes de qualidade define-se o conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros.

A mesma lei impõe enquadramentos específicos para cada classe de qualidade de acordo com o estabelecimento de metas ou objetivos a serem obrigatoriamente alcançados ou mantidos em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo. O uso predominante determinará também quais serão as metas a serem alcançadas em um sistema de monitoramento. Assim, dentre as várias metodologias empregadas nos sistemas de monitoramento da qualidade da água, deve-se analisar inicialmente quais classes serão respeitadas ou atendidas.

Neste trabalho foi priorizado o projeto de um sistema de monitoramento que atenda a qualidade da água visando o bem estar do ecossistema aquático, visando o bem estar das comunidades que integram o ecossistema e o papel da sustentabilidade.

A primeira política baseada em abordagens ecossistêmicas foi criada em 1992 (Eco-92), na Convenção sobre Diversidade Biológica, adotada na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento e promulgada no Brasil pelo decreto Nº 2.519 de 16 de março de 1998. A Convenção definiu a abordagem ecossistêmica como uma estratégia de integração entre a gestão da terra, da água e dos recursos que promovem a conservação e a sustentabilidade nos usos em um meio equilibrado (HAMBREY *et al.*, 2008).

2.2. Monitoramento da qualidade da água e o ciclo PDCA

O monitoramento da qualidade e da quantidade de água é importante para descrever seu estado e tendências, além de identificar a existência e o desenvolvimento das questões relacionadas, averiguando a adequação com a legislação (PETERS & WARD, 2003). Monitoramento é conceituado pela Organização Internacional para Padronização (ISO) como o processo programado de amostragem, medições e posterior registro, das várias características da água, objetivando freqüentemente a avaliação da conformidade com objetivos definidos (MILES, 2009). Pode ser ainda definida segundo a resolução CONAMA 357/2005 onde monitoramento é a medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser contínua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo de água.

A falta de um padrão sistemático regional causa sérios prejuízos ao monitoramento, movidos pelas diferenças com que cada ambiente se apresenta. Ward *et al.* (2003) cita que um grande problema enfrentado pelos responsáveis do monitoramento da qualidade hídrica reside no fato da falta de consenso entre eles, seja pelas agências gestoras ou pelos órgãos de pesquisa. Deve-se levar em consideração também variabilidades regionais, fator determinante no sucesso do sistema de monitoramento. O mesmo modelo aplicado em uma região temperada, por exemplo, pode não funcionar corretamente em regimes climáticos diferenciados.

Dentre os objetivos de um programa de monitoramento, é comum a citação de quatro itens muito importantes como aqueles definidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA): caracterizar as águas e identificar mudanças ou tendências na qualidade da água ao longo do tempo; identificar problemas específicos ou emergentes; reunir informações para projetar programas de prevenção da poluição e determinar se as metas do programa de monitoramento estão sendo atendidas, no que diz respeito à legislação vigente e a execução das ações de controle da poluição (MILES, 2009).

Os dados obtidos devem transmitir informação clara à comunidade gestora. Informação desorganizada é inútil nos dias de hoje, principalmente com a tecnologia a disposição. As informações sobre o sistema precisam ser definidas de forma a permitir uma melhor organização dos dados para auxiliar o processo de tomada de decisão. Por isso a necessidade de implantar uma estrutura de monitoramento que siga uma ordem de ser estabelecida, aceita e implantada para apoiar a operação e ajudar a reduzir perdas de informação (PETERS; WARD, 2003).

Antes de iniciar o fluxo de informação em um nível operacional, a estratégia de monitoramento montada deve definir metas, visando atingi-las. Finalmente, o projeto de monitoramento deve ser completo para auxiliar nas operações envolvidas na obtenção da informação desejada. A Figura xxx mostra o esquema da abordagem sistemática dos 3C – colaborar, coordenar e comunicar.

A restauração e proteção sustentável dos recursos hídricos exigem a definição de um sistema de monitoramento como componente chave da proteção ambiental. Uma importante estratégia é a abordagem sistemática dos 3C – colaborar, coordenar e comunicar – que incluem a pesquisa e o compartilhamento da informação, melhora e ampliação da aplicabilidade das ferramentas de avaliação, aumento na quantidade e na qualidade dos dados e informação com potenciais baixos custos e consistência nos relatórios, que promovem informação de confiança (MARKOWITZ *et al.*, 2003).



Figura 01. Abordagem sistemática dos 3C. Adaptado de Robert C. Ward & Charles A. Peters (2003).

A comunicação é o processo de transmissão de informações, que pode ser um caminho ou uma troca de idéias, pensamentos ou mensagens. A coordenação é o processo em que dois ou mais participantes ligam, harmonizam ou sincronizam interações e atividades. A colaboração é o processo em que dois ou mais participantes trabalham coletivamente para lidar com questões que eles não podem resolver individualmente, formando parcerias, alianças ou equipes de trabalho. A comunicação inicia quando alguém decide compartilhar ou procurar alguma informação de alguém. Um esforço geral no sentido de avaliar o estado do recurso hídrico beneficia o esforço coordenado de vários participantes. Cada grupo participante decide qual tipo de papel no processo se adapta melhor a suas habilidades e metas.

Integrando a abordagem sistemática dos 3C em um ciclo de atividades, pode-se otimizar o sistema de monitoramento tornando-o mais eficiente. O ciclo PDCA, também conhecido como Ciclo de Shewhart, Ciclo da Qualidade ou Ciclo de Deming, tem como objetivo exercer o controle dos processos, podendo ser utilizado de forma contínua para o gerenciamento dos recursos hídricos, por meio do estabelecimento de uma diretriz de controle (planejamento da qualidade), do monitoramento do nível de controle a partir de padrões e da manutenção da diretriz atualizada, resguardando as necessidades do público alvo (PACHECO *et al.*, 2010).

Idealizado por Walter A. Shewhart na década de 30 teve William Edwards Deming como o responsável pelo seu desenvolvimento e utilização prática. Trata-se, portanto, de um método para análise e solução de problemas que pode ajudar a organização a solucionar problemas através de análises, planejamentos e ações corretivas ou preventivas que formarão uma filosofia de melhoria contínua necessária para o alcance das metas (VENDRAME, 2007). O ciclo PDCA divide-se em quatro fases ou passos principais:

- i) Primeira fase: Plan (Planejar): Fase caracterizada pelo estabelecimento de um plano, com objetivos, procedimentos e metodologias necessárias para atingir os resultados;
- ii) Segunda fase: Do (Executar): Realizar o que foi planejado anteriormente e executar as atividades propostas na primeira fase;
- iii) Terceira fase: Check (Verificar): Monitorar e avaliar periodicamente todos os processos e resultados, analisando a situação atual e comparando com a situação anterior, verificando se o que foi planejado realmente foi realizado através do confronto das situações e;
- iv) Quarta fase: Act (Agir): Nesta fase uma ação deve ser tomada com base no passo anterior, agindo de acordo com o verificado de forma a melhorar a qualidade e a eficiência, aprimorando a execução e corrigindo eventuais falhas.

O ciclo PDCA consiste no planejamento de uma ação que facilita na hora de tomar decisões, tendo por finalidade básica o alcance de metas necessárias para a solução dos problemas. Quando implementado de maneira correta esse ciclo se transforma num processo de melhoria contínua, ajustando, com o passar do tempo, tudo o que foi planejado e replanejado. A tomada de decisões parte então de uma longa análise, onde todas as ações tomadas ao longo do ciclo são colocadas em cheque a cada passo de tempo, com a inclusão de novas metodologias e tecnologias aditivas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Diretrizes gerais para um modelo de gestão da qualidade da água

Existem várias razões para monitorar a qualidade da água em um reservatório. Dentre todos os motivos, questões específicas para cada problema deverão ser respondidas com base no monitoramento de parâmetros chave para aquele processo. Além disso, características básicas ao entendimento dos processos devem ser levadas em consideração, tais como a tipologia do reservatório; quais são as principais forçantes climáticas atuantes e condicionantes da qualidade da água; por quais processos físicos o reservatório em questão está submetido (tal como a estratificação por densidades) e quais os impactos decorrentes na qualidade da água.

De posse de todas estas informações, deve-se então identificar os objetivos do monitoramento. A avaliação da qualidade da água pode servir para informar sobre o "status" daquele corpo d'água, através de uma descrição de suas características físicas, concentração de algumas substâncias químicas relevantes ou uma avaliação dos biota aquáticos. Outro objetivo importante seria identificar as tendências de evolução dos dados ao longo do tempo. Características naturais provocadas por afluições em épocas de estiagem e chuvosas formam um padrão de variação que muitas vezes pode ser detectado por análise de tendência.

Um terceiro objetivo seria uma possível avaliação de fontes pontuais de poluição dentro do reservatório. Objetivos deste porte carecem de um conhecimento mais abrangente não somente das características da água, como também outros fatores que a influenciam (uso e ocupação do solo dentro da bacia hidrográfica). Finalmente, um último objetivo importante seria o fornecimento de dados para um sistema de modelagem numérica, que trabalharia em parceria com o monitoramento em prognósticos e simulações de diferentes cenários hipotéticos.

3.2. Projeto de monitoramento

O projeto inicial ou esboço do que será o projeto final de monitoramento deve incluir o número, onde e como estarão distribuídas as estações de monitoramento; qual será a frequência das amostragens e quais os parâmetros serão monitorados. Esta fase é de extrema importância e é a fase onde todas as características físicas locais devem ser analisadas com cautela, de maneira a abrangê-las com a maior confiabilidade possível. Deve ser flexível às mudanças, visto necessidade futura de ajustes segundo for apropriado e de acordo com o ciclo de melhoria constante que foi proposto. A Tabela 01 apresenta as principais atividades que compõem um sistema de monitoramento da qualidade da água.

Um ponto importante no planejamento sistemático do monitoramento é a representatividade das amostras coletadas. Elas devem representar um padrão que é normalmente encontrado em outros pontos do reservatório e não devem estar expostas a condições que causem grandes variações ou interferências. Os pontos escolhidos precisam representar bem locais críticos como, por exemplo, fontes pontuais de poluição. O monitoramento destas fontes contribuirá para resultados mais pessimistas que serão melhores aproveitados, uma vez que a legislação poderá controlar àqueles valores, servindo ao restante do ambiente. A quantidade de pontos amostrais e de variáveis monitoradas será função do nível de detalhamento que se deseja obter, que também está ligado ao custo do processo final.

A frequência que as amostras serão coletadas é uma questão chave no monitoramento. Muitos projetos são realizados com base em manuais técnicos preexistentes, ou de acordo com sistemas de monitoramento que seguem premissas básicas de regiões de clima temperado. O regime climático presente no semiárido possui um padrão próprio, e a ele deve ser feita as adequações dos métodos. Amostragens nictemerais são indispensáveis visto que contemplam o principal ciclo de mudanças térmicas de corpos d'água tropicais, que é a variabilidade diária (SOUZA FILHO *et al.*, 2006).

Uma simples amostragem em uma determinada hora do dia muitas vezes não será capaz de diagnosticar com segurança as mudanças sofridas. Épocas chuvosas e secas são períodos distintos e que devem estar englobados no sistema de monitoramento. A afluição em reservatórios é um dos processos mais impactantes na qualidade da água dos reservatórios no semiárido, pois além das cargas extras que entram no meio solubilizadas pela água das chuvas, as correntes que entram à montante modificam a velocidade e alteram o tempo de residência da água. Strobl & Robillard (2008) comentam que a frequência das amostragens deve ser ajustada de maneira a produzir o máximo de informação com o mínimo de esforço amostral.

Tabela 01. Atividades envolvidas no monitoramento da qualidade da água.

Atividade Principal	Atividades Específicas
1. Projeto do sistema de monitoramento	Seleção das estações de monitoramento, seleção das variáveis e frequência da amostragem;
2. Coleta de amostras	Técnicas de amostragem, coletas de dados em campo, preservação e transporte das amostras;
3. Análise laboratorial	Técnicas de análise, procedimentos operacionais, controle de qualidade e armazenamento dos dados;
4. Manuseio de dados	Recepção, ajuste e verificação dos dados; armazenamento e distribuição;
5. Análise dos dados	Sumário estatístico básico, interpretação e análise temporal dos dados; modelos de qualidade da água;
6. Utilização da informação	Procedimentos operacionais, relatórios técnicos.

Fonte: Adaptado de Sanders *et al.* (1983) *apud* Strobl & Robillard (2008).

As variáveis que farão parte do sistema de monitoramento deverão ser escolhidas de acordo com a necessidade da informação desejada. A escolha deve ser feita com muita cautela, visto que o aumento no número de variáveis encarecerá muito o projeto final, seja por custos laboratoriais ou pelas técnicas de preservação mais especializadas. No final, o número de variáveis monitoradas deverá ser capaz de responder às principais questões, sem que apresente perda de informação.

3.3. Sistema de monitoramento acoplado à modelagem numérica

O sistema de monitoramento dos recursos hídricos acoplado à modelagem consiste na integração entre as ferramentas do monitoramento e da modelagem visando um maior suporte aos gestores da água. Esta acoplagem fornece respostas mais acuradas e é útil na avaliação de fenômenos que ocorrem em reservatórios, análises das condições de operação hidráulica, otimização do projeto de monitoramento utilizado e sua aplicação eficiente.

Um modelo hidrodinâmico e de qualidade da água acoplado a um programa de monitoramento torna possível a investigação dos impactos das forçantes físicas nos diversos processos dos reservatórios através de sua quantificação em um processo iterativo. Através da utilização de modelos numéricos é possível a demarcação prévia de pontos chave ao monitoramento. Estes modelos servirão de base para o estudo mais criterioso de pontos críticos de controle, e de um cuidado maior na concepção de sistemas de monitoramento.

Sabe-se que os grandes reservatórios possuem vários tipos de processos que estão fortemente correlacionados com os fatores físicos, mais ainda que por fontes de poluição. Muitas vezes a qualidade da água em um reservatório varia mais em função da disposição geométrica do que das próprias afluições poluidoras, sendo necessárias ferramentas que analisem tais variações a curto, médio e longo prazo.

Um modelo matemático pode ser utilizado como ferramenta para entender melhor o comportamento do sistema e a representação de um fenômeno ou de um conjunto de fenômenos do mundo real, quantificando possíveis impactos gerados por certas atividades humanas (CHAPRA, 1997; FRAGOSO Jr., 2009). A escolha do modelo deve ser adequada às necessidades existentes e às características do reservatório em estudo. Os modelos dividem-se em seis grupos: zero dimensional; unidimensionais horizontais; unidimensionais verticais; duas dimensões no plano horizontal; duas dimensões no plano vertical e três dimensões. Cada um deles possui sua aplicabilidade e suas restrições de uso.

Os modelos aplicáveis a lagos e reservatórios envolvem dois componentes importantes: (i) um balanço hídrico ou equação de continuidade que descreve a quantidade de água de água presente em um determinado momento, e (ii) uma série de balanços de massa ou equações advectivas-dispersivas, que descrevem a variação da quantidade de um determinado contaminante ou constituinte da qualidade da água presente no meio e a maneira como a sua massa é transportada e transformada; onde é resolvida uma equação de balanço de massa para cada constituinte de interesse (MARTIN; McCUTCHEON, 1998).

Em reservatórios profundos onde o processo da estratificação por densidades é mais efetivo geralmente utilizam-se modelos de duas dimensões no plano vertical. Tais modelos, como é o caso do CE-

QUAL-W2, consideram o reservatório bem misturado lateralmente, e são utilizados na simulação de padrões de vazão e temperatura da água, descrevendo o movimento e a entrada de alguns constituintes da qualidade da água (COLE; WELLS, 2008).

Assim, para um perfeito casamento entre o programa de monitoramento e a modelagem numérica, todas as medições em campo devem ser orientadas visando fornecer dados ao sistema de modelagem. Um exemplo disso são as medições de temperatura da água. Espaçamentos menores que 30 cm ao longo de toda a extensão da coluna d'água é um processo um tanto oneroso, mas que rende informações úteis se o problema ambiental a ser modelado for a estratificação térmica. Existe uma necessidade real de várias medições de temperatura para uma correta visualização deste processo. Em alguns casos, dependendo da disponibilidade de tempo, pode-se diminuir este espaçamento, realizando medições na superfície e próximas ao fundo do reservatório, o que irá impactar na acurácia do modelo. Locais próximos à barragem de um reservatório tendem a ter uma profundidade mais elevada, exigindo que mais medições sejam tomadas.

Em regiões tropicais, dois aspectos principais conduzem a freqüência de amostragem: variação sazonal impulsionada pelo rio à montante e a operação do reservatório. Assim, a amostragem deve ser realizada no mínimo a cada três meses, ou quatro vezes ao ano. Dados meteorológicos e hidrológicos devem ser tomados juntamente aos dados de qualidade da água, que também servirão de base de dados ao modelo matemático. Dados meteorológicos como velocidade, duração e sentido dos ventos, temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar são imprescindíveis para a modelagem.

3.4. Aplicação do Ciclo PDCA no monitoramento da qualidade da água

Dado o conhecimento científico atual disponível, é traçado um diagnóstico geral sobre o problema específico pelo qual o reservatório está sendo estudado. Após um cauteloso reconhecimento das características do problema, hipóteses gerais devem ser criadas para as possíveis causas. Tais hipóteses são criadas tendo como base as prováveis causas do problema. Um plano de ação é elaborado de acordo com as características do reservatório. Nesta fase é feita uma definição dos critérios de avaliação da qualidade da água, a escolha das principais variáveis atuantes e indicadoras do processo em função da geomorfologia e da climatologia atuante no reservatório. Com isso tem-se a finalização da etapa n^o1 "Plan".

De posse do plano de ação elaborado, atua-se em campo de acordo com o planejado, organizando os dados a medida que forem sendo coletados. Nesta fase também é feita uma análise preliminar dos processos principais. Um cuidado especial deverá ser tomado na manipulação dos dados e no seu armazenamento. Qualquer problema nesta fase inviabiliza todo o procedimento. Os modelos numéricos possibilitam a construção de cenários com a definição de pontos críticos e o estabelecimento da estratégia de monitoramento e modelagem. A partir daí, os dados já processados e corrigidos serão encaminhados e comporão a base de calibração do modelo numérico escolhido previamente. Assim, modelos numéricos e conceituais poderão ser desenvolvidos com base na observação de campo e a análise dos processos. Assim, está concluída a etapa n^o2 "Do".

O próximo ponto é a checagem de tudo o que foi realizado, verificando se o que foi planejado foi colocado em prática ou teve algum desvio. Esta etapa chama-se "Check", e é a fase onde tudo o que apareceu de novo ou que incrementará o modelo será anotado e encaminhado ao último passo.

A quarta e última etapa, "Act", é a ação a ser tomada diante do resultado obtido e testado. Caso o efeito tenha sido negativo e o problema persistir, inicia-se um novo ciclo. Se o efeito ao final destes passos foi positivo e o problema tiver sido solucionado, o sistema agora poderá ser padronizado, avaliando-se a situação atual e as mudanças que proporcionaram o alcance das metas para que seja feita uma padronização do sistema utilizado.

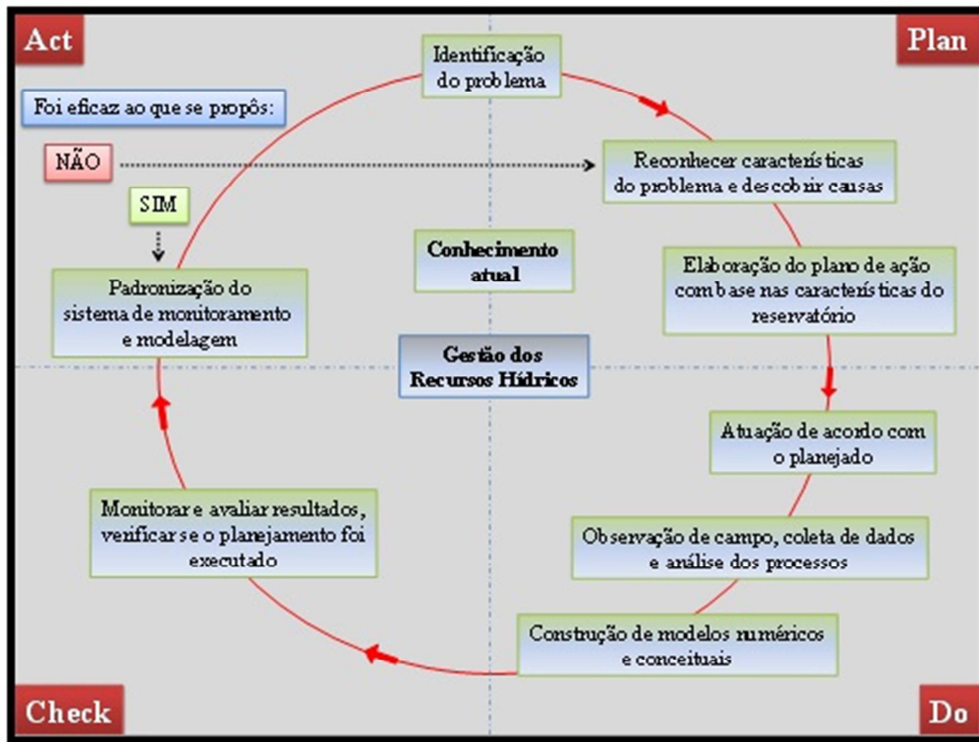


Figura 02. Ciclo PDCA aplicado à gestão dos recursos hídricos com base no monitoramento e modelagem da qualidade da água.

O projeto inicial se torna então um processo interativo, onde novas informações serão adicionadas ao sistema a cada “loop” no ciclo. Sem este retorno, falhas decorrentes de decisões iniciais não poderiam ser solucionadas.

3.5. Programa de Produção do Conhecimento

O processo de inovação intelectual prende-se às referências com o cotidiano, orientadas ora para as demandas mais imediatas, ora para a busca de respostas a questões universais (GOLDANI *et al.*, 2010). A produção do conhecimento científico, muitas vezes com base formada sob os pilares das universidades, entrega à própria ciência o papel de objeto de estudo, ficando passível de agregação de valores e novos conceitos. Este modelo de produção tem um caráter multidisciplinar e atrela a produção científica às necessidades sociais.

Por definição, todo conhecimento tem suas raízes em situações específicas e envolve previsões verificáveis sobre as possíveis conseqüências de ações tomadas (PACHECO *et al.*, 2010). A produção de conhecimento de forma sistematizada, no país, deu-se com a institucionalização da pesquisa e pós-graduação, em meados de 1960, que anos seguintes foram estimuladas a investir na criação e fortalecimento dos programas *stricto sensu* nas mais diversas áreas do conhecimento recebendo, para tanto, recursos para montar infraestrutura física e formar profissionais qualificados (MENEGHEL *et al.*, 2010).

Cientificamente, a solução de um problema de acordo com Choo (2004) apud Pacheco *et al.*, (2010) está ligada à: (i) percepção de um resultado indesejado ou uma necessidade não satisfeita; (ii) identificação de suas prováveis causas e (iii) testes para verificação das relações postuladas. Estes três processos, se repetidos ciclicamente até que uma solução satisfatória seja encontrada, correspondem às quatro primeiras etapas do Ciclo de Deming. Planejar, desenvolver e checar, seguidos então de uma nova abordagem correspondente ao estudo dos resultados com foco na aprendizagem por eles possibilitada, representa uma nova etapa do planejamento, fechando-se o ciclo com um novo desenvolvimento possibilitado por este novo conhecimento adquirido. Os últimos estágios do modelo apresentam a pausa e reflexões necessárias antes de se iniciar um novo ciclo, a partir dos novos conhecimentos gerados. Estes passos remetem à representação do que seria um diagrama para a melhoria e aprendizado organizacional sobre um determinado processo (PACHECO *et al.*, 2010).

Em recursos hídricos, semelhante abordagem pode ser aplicada, inclusive em órgãos gestores que apóiam a pesquisa científica e a geração de conhecimento, como é o caso da COGERH. Parceiras entre essas companhias, que detêm uma boa infraestrutura operacional, com universidades que têm no seu dia-

a-dia o papel de gerar e disseminar o conhecimento facilita a resolução de problemas e atualizam a abordagem costumeiramente aplicada aos seus principais focos de trabalho.

O Ciclo PDCA adaptado às questões referentes aos recursos hídricos poderá oferecer uma ferramenta importante tanto na geração de novos roteiros e abordagens, como na padronização de sistemas de monitoramento ambiental. Esse novo sistema, acoplado a um sistema de modelagem numérica, criará uma forma mais atualizada e que representa o estado da arte em sistemas de monitoramento ambiental e da qualidade da água no mundo.

4. CONCLUSÃO

Uma importante estratégia discutida foi a abordagem sistemática dos 3C que incluem a pesquisa e o compartilhamento das informações relativas à qualidade da água. Este sistema dentro de ciclo de otimização, poderá torná-lo mais eficiente. Para isso, foi utilizado o Ciclo de Deming, o conhecido Ciclo PDCA, que tem por objetivo exercer o controle dos processos por meio do estabelecimento de uma diretriz de controle (planejamento da qualidade), do monitoramento do nível de controle a partir de padrões e da manutenção da diretriz atualizada. Dado o conhecimento científico disponível, é traçado um diagnóstico geral sobre determinado problema. Com isso, hipóteses são criadas e um plano de ação é elaborado, iniciando-se o ciclo. Ao final de todos os passos propostos e se o resultado foi positivo e o problema tiver sido solucionado, o sistema agora poderá ser padronizado, avaliando-se a situação atual e as mudanças que proporcionaram o alcance das metas para que seja feita uma padronização do sistema utilizado. A aplicação desta abordagem pode ser aplicada aos recursos hídricos, em parcerias com os órgãos gestores e universidades, que têm no seu dia-a-dia o papel de gerar e disseminar o conhecimento.

Tal abordagem facilitará a resolução de problemas e atualizará os modelos costumeiramente aplicados. O Ciclo PDCA, adaptado às questões referentes aos recursos hídricos, poderá oferecer assim uma ferramenta importante na geração de novos roteiros na padronização de novos sistemas de monitoramento ambiental. Em pesquisas futuras, a utilização de dados climatológicos, hidrológicos e morfométricos devem ser rotineiras no planejamento de sistemas de monitoramento, visto sua importância na qualidade da água. Com isso, a evolução da modelagem da qualidade da água tornar-se-á ferramenta imprescindível na utilização dos dados obtidos no monitoramento acoplado, com vistas à construção de relatórios que indiquem as reais condições de uso e suporte para a vida e o uso sustentável dos corpos d'água.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA). **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: ANA/SPR, 2005. 179 p.

AYOADE, J. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo, Ed. Bertrand do Brasil, 2ª edição. 1988. 332p.

BARTRAM, Jamie; BALLANCE, Richard. **Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes**. UNEP/WHO, 1996. 348p.

CAMPOS, Nilson; STUDART, Ticiania (Editores). **Gestão das Águas: princípios e práticas**. Porto Alegre: ABRH, 2003. 242p.

CHAPRA, S. C. **Surface water-quality modeling**. McGraw-Hill, New York. 1997. 844 p.

COLE, T. M.; WELLS, S. A. **CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.6**. Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, OR, 2008.

FRAGOSO Jr., Carlos Ruberto; MARQUES, David de Motta; FERREIRA, Tiago Finkler. **Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 304p.

GOLDANI, Marcelo Zubaran; SILVA, Clécio Homrich da, NASCIMENTO, Luís Felipe Machado do; BLANK, Danilo. A questão da produção do conhecimento: desafios na gestão dos programas de pós-graduação. **RBPG**, Brasília, v. 7, n. 12, p. 104 - 116. Jul. 2010.

HAMBREY, J.; EDWARDS, P.; BELTON, B. **An ecosystem approach to freshwater aquaculture: a global review**. In D. Soto, J. Aguilar-Manjarrez, and N. Hishamunda (eds). Building an Ecosystem Approach to Aquaculture. FAO/Universitat de les IllesBalears Experts Workshop. 7–11 May 2007, Mallorca Spain. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings. n. 14. FAO, Rome. 2008. p. 117–221.

Lei 9.433. **Política nacional de recursos hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1997.

MARGULIS, S.; HUGHES, G.; GAMBRILL, M.; AZEVEDO, L.G.T. **Brasil: A Gestão da Qualidade da Água** - Inserção de Temas Ambientais na Agenda do Setor Hídrico. Banco Mundial, Brasil, 2002. 72p.

MENEGHEL, Stela Maria; ROBL, Fabiane; WASSEM, Joyce. **DESAFIOS DA PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO EM EDUCAÇÃO – PERSPECTIVAS INSTITUCIONAIS E DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO**. Disponível em: <<http://www.anped.org.br/reunioes/30ra/trabalhos/GT11-3572--Int.pdf>>. Acesso em: 28 Nov. 2010.

PACHECO; Ana Paula Reusing; SALLES, Bertholdo Werner; GARCIA, Marcos Antônio; POSSAMAI, Osmar. **O Ciclo PDCA na Gestão do Conhecimento: Uma Abordagem Sistêmica**. Disponível em: <<http://www.issbrasil.usp.br/pdfs2/ana.pdf>>. Acesso em: 25 Nov. 2010.

PETERS, Charles A.; WARD, Robert C. A FRAMEWORK FOR 'CONSTRUCTING' WATER QUALITY MONITORING PROGRAMS. **Water Resources IMPACT**, September, v. 5, n. 5. p. 03-07. American Water Resource Association, 2003.

SPERLING, E. V. **Morfologia de lagoas e represas**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1999. 137p.

SOUZA FILHO, F. A.; MARTINS, Eduardo Sávio; PORTO, Mônica. Processo de Mistura em Reservatórios do Semi-Árido e sua Implicação na Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, Out/Dez. 2006.

SOUZA FILHO, F. A.; PAULINO, Walt Disney; SOUZA, Andrea Becco de; PORTO, Mônica do Amaral. Breve Diagnóstico da Qualidade das Águas em Reservatórios no Estado do Ceará. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999. Belo Horizonte. Águas em quantidade e qualidade: o desafio do próximo milênio. 1999.

VENDRAME, Maris de Cassia Ribeiro. O ciclo PDCA como ferramenta da Qualidade Total. In: I Encontro Científico e I Simpósio de Educação Unisalesiano. 2007. **Anais...** Lins, I Encontro Científico e I Simpósio de Educação Unisalesiano. 2007.

VON SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v. 2, 134 p.