

AVALIAÇÃO AMBIENTAL APLICÁVEL A BACIAS HIDROGRÁFICAS NO MEIO URBANO: ANÁLISE DOS MÉTODOS AMORIM & CORDEIRO, PESMU E SWAT.

Cássia de Ávila Ribeiro Junqueira¹ e Ricardo Siloto da Silva²

Resumo: O presente artigo analisa três metodologias, aplicadas em bacias hidrográficas e desenvolvidas para o planejamento e gestão do meio urbano aliados às preocupações ambientais. Os métodos analisados são o AMORIM & CORDEIRO e o PESMU (desenvolvidos na UFSCar) e uma modelagem matemática com o SWAT, que faz interface com o software ARCVIEW. A metodologia da pesquisa foi desenvolvida a partir de critérios de análises selecionados priorizando o enfoque das condições que o método de avaliação deveria ter para dar suporte ao gestor. Por isso, foram analisadas características como a confiabilidade, a validade científica dos métodos, a padronização e a acessibilidade dos dados e os indicadores para verificar o potencial de abrangência dos temas, a sua interpretabilidade e representatividade. Perante a análise feita conclui-se que não há um método que seja o melhor e, sim, o mais adequado para cada situação. Os métodos AMORIM & CORDEIRO e o PESMU possuem um enfoque mais global para o diagnóstico, entretanto o SWAT analisa mais a fundo as características físicas da bacia e se torna flexível na interface com o SIG. Os três métodos são complementares ao tratar de um meio complexo que é a bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Métodos de avaliação. Gestão de políticas públicas. Planejamento urbano e ambiental.

1 Introdução

As cidades foram crescendo e a demanda por água foi aumentando, tornando-se um produto escasso devido à densidade populacional, ao inchaço urbano e à forma com que estas áreas foram ocupadas, gerando conflitos de usos com o espaço natural e, em particular, no convívio das águas.

A dinâmica das águas ultrapassa as divisões políticas e administrativas delimitadas pela sociedade, fazendo com que a bacia hidrográfica, espaço territorial determinado e definido pelo escoamento delas se configure como recorte geográfico privilegiado para a compreensão e o estabelecimento de políticas públicas sobre esse ecossistema.

A ocupação não criteriosa de áreas marginais aos cursos d'água e o aumento da impermeabilização do solo, exemplos recorrentes, têm sido considerados fatores determinantes no fluxo de infiltração e na conseqüente modificação do ciclo da água. O resultado disto é a perda das matas ciliares, a progressiva erosão do solo com o decorrente assoreamento dos cursos d'água, a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, a destruição do habitat de inúmeras espécies e outros.

Apesar da modificação do ambiente ser inerente à própria urbanização, torna-se imprescindível a busca de soluções que minimizem efeitos negativos e explorem

positivamente as características naturais da região. Análises e avaliações de restrições e aptidões de uso e ocupação, baseadas em critérios técnico-científicos, podem contribuir para a compreensão do fenômeno e orientar a tomada de decisões de planejadores e administradores públicos.

Segundo SUREHMA (1993), os métodos e técnicas de avaliação ambiental podem ser encontrados na literatura de diversas formas, como métodos *ad hoc*, listas de controle (*checklists*), matrizes de impacto ou de causa-efeito (Matriz de Leopold e outras), redes de fluxo ou diagramas de interação, superposição de cartas (SIG) e modelos de simulação (físicos, matemáticos e ecológicos), cada um com sua peculiaridade.

Os métodos *ad hoc* consistem na criação de grupos de trabalho formados por profissionais multidisciplinares, que se organizam em reuniões técnicas para obter informações a respeito dos prováveis impactos ambientais.

Os *checklists* são listagens de controle que podem ser de diversas formas como simples, descritivas, escalares ou escalares ponderadas. A listagem simples enumera os fatores ou indicadores ambientais que podem estar associados a parâmetros de ações do projeto, fazendo um diagnóstico ambiental da área de influência. A descritiva lista orientações para análises a partir de fontes de dados e questionários e, com isto, além de fazer o

¹ Engenheira civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e doutoranda na UFSCar. E-mail: carjunqueira@yahoo.com.br.

² Professor associado da UFSCar e docente do Programa de pós-graduação em Engenharia Urbana. E-mail: rss@power.ufscar.br.

diagnóstico ambiental da área de influência, também faz a análise dos impactos. A escalar faz uma escala de valores com a lista de fatores de impactos ambientais, tornando possível, também, comparar alternativas. E a escalar ponderada faz o mesmo das escalares, incluindo o grau de importância dos impactos com a ponderação adotada.

As matrizes de interação relacionam fatores com ações que geram relações de causa-efeito, o que identifica os impactos ambientais diretos, com boa disposição visual, simplicidade na elaboração e baixo custo, mas ainda não são consideradas as características espaciais dos impactos.

As redes de interação são gráficos ou diagramas com cadeias de impactos gerados pelas ações, identificando os fatores diretos e indiretos, facilitando a troca de informações, mas não considera a relação tempo-espaço nem o grau de importância dos impactos.

A superposição de cartas utiliza mapas temáticos para uma síntese das interações. Pode ser feita manualmente ou utilizar softwares especializados, como os já tradicionais IDRISI e SPRING, que, a partir do banco de dados, obtêm um produto final com informações sobre restrições ou potencialidades de uso e ocupação do espaço. As informações são apresentadas de forma iconográfica, o que facilita a visualização, mas trazem limitações para a utilização de fatores ambientais não mapeáveis.

Os modelos de simulação são modelos matemáticos computadorizados que representam o funcionamento dos sistemas ambientais, fazem diagnósticos da qualidade ambiental da área de influência, comparação entre os cenários, relação temporal e atendem a projetos de grande porte, mas seu custo da operação é muito elevado.

Dentre esses, esta pesquisa selecionou os Métodos AMORIM & CORDEIRO, PESMU e SWAT que apresentaram como característica a aplicação em bacias hidrográficas e a facilidade de serem operacionalizados por gestores do meio urbano. Pois, estudos apontam para a dificuldade na aplicação de métodos de análise e avaliação ambiental na implementação de políticas públicas geradas, em parte, pela dicotomia entre a significativa quantidade destes e a baixa capacidade de conhecimento para escolha dos empreendedores e gestores. Ao sistematizar e difundir a análise dos métodos citados, a pesquisa, base desse artigo, visa a contribuir para minimizar, pelo menos um pouco, essa situação.

2 Método AMORIM & CORDEIRO

O método Amorim & Cordeiro fundamentou-se, inicialmente, em uma pesquisa teórica sobre ocupação comumente encontrada em fundos de vale nas cidades brasileiras,

possibilitando a identificação de três tipologias principais:

- *Tipologia 1:* Caracterizada por intensa apropriação urbana do fundo de vale, destacando-se avenidas marginais ou ruas asfaltadas, loteamentos/edificações e assentamentos informais,
- *Tipologia 2:* Destaque de áreas verdes (parques, bosques, áreas de lazer etc.), áreas de hortifruticultura, áreas para eventos itinerantes e áreas para retenção de água,
- *Tipologia 3:* Pouco encontrada nas cidades brasileiras, foi caracterizada por constar de mata ciliar nativa pouco modificada ou com mata reflorestada, ausência de modificações no curso d'água e ausência de impermeabilizações.

A partir destas tipologias foram listados os principais impactos, com os potenciais positivos e negativos. Para facilitar a avaliação foi utilizado o método de matriz de interação para identificar a valoração dos impactos e para a percepção visual foi feita uma escala cromática ao invés da numeração de 1 a 10. Em consequência desta dinâmica, e posterior discussão dos efeitos, foram criados doze critérios ambientais, que foram utilizados para o desenvolvimento do Método Amorim & Cordeiro na busca de alternativas para ocupação de fundos de vale em áreas urbanas.

O Método foi aplicado duas vezes, primeiramente por Amorim (2004) no Córrego Mineirinho em São Carlos – SP e, posteriormente, por Junqueira e Silva (2005), no Córrego Santa Maria do Leme também em São Carlos. A aplicação iniciou-se com uma subdivisão dos córregos, separados de acordo com a observação em campo e a partir de fotos aéreas, objetivando a obtenção de trechos homogêneos e estabelecendo uma demarcação para a avaliação, de 50 m de largura, a partir do talvegue do curso para um lado e para o outro.

Em seguida, foi feito um diagnóstico fotográfico do curso do córrego, juntamente com a utilização de fichas de avaliação que foram preenchidas no local. O percurso foi feito a pé para que houvesse maior riqueza de informações. Estas fichas de avaliação são baseadas em 12 critérios de ocupação que se subdividem em 15 parâmetros de avaliação. Sua pontuação varia entre os valores 1 e 5, sendo que o número 5 é a situação ideal, sem impactos negativos para o ambiente e correspondência máxima ao critério. Já o número 1 indica os maiores impactos negativos e o maior distanciamento em relação ao critério.

Os parâmetros utilizados para a avaliação são: tipo de ocupação do fundo de vale, permeabilidade do solo, presença de mata ciliar nativa, presença de áreas reflorestadas,

interconectividade, qualidade da água do curso d'água, enchentes e inundações urbanas, assoreamento do curso d'água, erosão das margens do curso d'água, alteração da topografia, modificação do curso d'água, respeito à legislação incidente, permeabilidade da bacia hidrográfica, grau de identificação e valorização

pela população e qualidade estética e paisagística. A análise dos resultados foi feita através dos 15 parâmetros da ficha de avaliação (Quadro 1) que, relacionados a valores numéricos, funcionaram como indicadores de sustentabilidade para usos de fundos de vales.

<i>Curso d'água:</i>		
<i>Trecho Avaliado:</i>		
<i>Data da coleta de dados:</i>		
Parâmetro	Pontuação	Comentários
1. Tipo de ocupação do fundo de vale		
Sem ocupação antrópica	5	
Área verde	4	
Caminho / trilha sem asfaltamento	4	
Hortifruticultura	3	
Retenção de água	3	
Eventos itinerantes	3	
Pecuária / pastagem	3	
Agricultura	2	
Loteamentos / edificações	2	
Ruas / avenidas marginais	2	
Assentamentos informais	1	
2. Permeabilidade do solo		
Ausência de impermeabilização	5	
Menos de 25% de impermeabilização	4	
25% a 50% de impermeabilização	3	
50% a 75% de impermeabilização	2	
Mais de 75% de impermeabilização	1	
3. Presença de mata ciliar nativa		
Presença de mais de 75%	5	
Presença de 50% a 75%	4	
Presença de 25% a 50%	3	
Presença de menos de 25%	2	
Ausência de mata ciliar	1	
4. Presença de áreas reflorestadas		
Presença de mais de 75%	5	
Presença de 50% a 75%	4	
Presença de 25% a 50%	3	
Presença de menos de 25%	2	
Ausência de áreas reflorestadas	1	
5. Interconectividade		
Presença de muitos trechos conectados	5	
Presença de poucos trechos conectados	3	
Ausência de trechos conectados	1	
Parâmetro	Pontuação	Comentários
6. Qualidade da água do curso		
Classe 1	5	
Classe 2	4	
Classe 3	3	
Classe 4	2	
7. Enchentes e inundações		
Ausência de enchentes e inundações	5	
Presença de inundações esporádicas	4	
Presença de inundações periódicas	3	
Presença de enchentes esporádicas	2	
Presença de enchentes periódicas	1	
8. Assoreamento do curso d'água		
Ausência de assoreamento	5	
Presença de poucos pontos assoreados	3	
Presença de muitos pontos assoreados	1	

Quadro 1 - Ficha de Avaliação da ocupação de trechos de fundos de vales. (Continua)

9. Erosão das margens do curso d'água			
Ausência de erosão	5		
Presença de poucos pontos erodidos	3		
Presença de muitos pontos erodidos	1		
10. Alteração da topografia			
Ausência de alteração	5		
Presença de poucos trechos alterados	3		
Presença de muitos trechos alterados	1		
11. Modificação do curso d'água			
Sem modificações	5		
Obstruções no canal	4		
Estrangulamento	3		
Diques	3		
Retificação	2		
Canalização	2		
Tamponamento	1		
12. Respeito à legislação incidente			
Atende à legislação	5		
Não atende à legislação	1		
13. Permeabilidade da bacia hidrográfica			
Ausência de impermeabilização	5		
Menos de 25% de impermeabilização	4		
25% a 50% de impermeabilização	3		
50% a 75% de impermeabilização	2		
Mais de 75% de impermeabilização	1		
14. Grau de identificação e valorização pela população			
Alto	5		
Médio	3		
Baixo	1		
15. Qualidade estética e paisagística			
Alta	5		
Média	3		
Baixa	1		
Pontuação Total			

Quadro 1 - Ficha de Avaliação da ocupação de trechos de fundos de vale. (Conclusão)

Fonte: Amorim (2004).

Quando houver mais de uma característica em cada parâmetro de avaliação, faz-se uma média dos valores para gerar um número de 1 a 5.

3 Método PESMU

Segundo Silva e Teixeira (1999), o método PESMU (Planejamento Estratégico e Sustentável do Meio Urbano) foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa de Planejamento Estratégico e Sustentável do Meio Urbano na UFSCar, sob a ótica da dimensão ecológica da sustentabilidade.

O Método estruturou-se combinando oito variáveis de controle ambientais com seis elementos do urbanismo e oito do fluxo da água no meio urbano, sendo composto por diferentes instrumentos relacionados esquematicamente a seguir.

Listagem de informações para caracterização do empreendimento – É uma listagem necessária à aplicação do Método que

traz informações sobre o local antes da implantação, a área envoltória e as características técnicas do projeto em análise. Essas informações são elaboradas de acordo com a tipologia de intervenção, de maneira a atender a demanda de informações parametrizadas pelas variáveis de controle adotadas;

Fichas de caracterização e análise de fatores - São fichas nas quais se expõe cada um dos dezesseis fatores das variáveis de controle, contendo a definição e descrição deles, formas de aferição para análise e avaliação dos fatores, escala geográfica do evento e as suas principais inter-relações, além das informações sobre as características de cada fator. Estas contêm os fluxogramas de decisão, que devem auxiliar o preenchimento das células da matriz de análise de sustentabilidade, sendo estruturados para orientar o resultado da análise do cruzamento para as possíveis situações relacionadas à qualificação.

Matriz de análise de sustentabilidade ecológica (quadros 2 e 3) - É o instrumento que possibilita o cotejamento entre as intervenções

			Intervenções Urbanas					
			URBANISMO					
			geometria do parcelamento		uso do solo		Tipologias construtivas	
			A1	A2	B1	B2	C1	C2
Variáveis de controle	Fator	Critério	Arruamento	Lote	Implantação	Uso	Geometria da edificação	Material
CAPACIDADE SUPORTE DOS RECURSOS NATURAIS	Solo	Erosão	Perda de Solo					
		Contaminação	Deposição de contaminantes					
	Água	Disponibilidade	Política de conservação					
		Qualidade	Alteração					
	Vegetação	Cobertura vegetal	Variação da Cobertura Vegetal					
		Cobertura com espécies nativas	Variação da Cobertura Vegetal Nativa					
Ar	Qualidade	Emissões atmosféricas						
CLIMA	Microclima	Conforto ambiental						
ENERGIA	Consumo	Política de redução						
	Matriz	Incidência de fontes renováveis						
RESÍDUOS	Geração	Política de minimização						
	Destinação	Adequação dos processos						
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL	Ambiente construído	Dispersão	Taxa de ocupação e índice de aproveitamento					
	Águas residuárias e pluviais		Aproximação aos ciclos naturais					
ECOSSISTEMAS DE ESPECIAL INTERESSE		Impactos Negativos+D34	Dano ao objeto de interesse+E33					
ECOSSISTEMAS DE ESPECIAL INTERESSE	Frágeis	Impactos negativos	Dano ao objeto de interesse					
	Protegidos							
BENEFÍCIOS AMBIENTAIS	Impactos Positivos	Ações de regeneração, conservação, preservação						
RISCOS AMBIENTAIS	Ocorrência	Potencial						

Quadro 2 - Matriz de Sustentabilidade Ecológica (urbanismo)

Fonte: Silva e Teixeira (1999).

		Intervenções Urbanas									
		FLUXO DA ÁGUA NO MEIO URBANO									
		Sistema de abastecimento de água				Sistema de esgotamento sanitário		Sistema de drenagem			
		D1	D2	D3	D4	E1	E2	F1	F2		
Variáveis de controle		Fator	Crítério	Captação	Transporte	Tratamento	Distribuição	Coleta e Transporte	Tratamento e Disposição	Micro-drenagem	Macro-Drenagem
CAPACIDADE SUPORTE DOS RECURSOS NATURAIS	Solo	Erosão	Perda de Solo								
		Contaminação	Deposição de contaminantes								
	Água	Disponibilidade	Política de conservação								
		Qualidade	Alteração								
	Vegetação	Cobertura vegetal	Varição da Cobertura Vegetal								
		Cobertura com espécies nativas	Varição da Cobertura Vegetal Nativa								
Ar	Qualidade	Emissões atmosféricas									
CLIMA		Microclima	Conforto ambiental								
ENERGIA		Consumo	Política de redução								
		Matriz	Incidência de fontes renováveis								
RESÍDUOS		Geração	Política de minimização								
		Destinação	Adequação dos processos								
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL	Ambiente construído	Dispersão	Taxa de ocupação e índice de aproveitamento								
	Águas residuárias e pluviais		Aproximação aos ciclos naturais								
ECOSSISTEMAS DE ESPECIAL INTERESSE	Frágeis	Impactos Negativos+D34	Dano ao objeto de interesse+E33								
	Protegidos	Impactos negativos	Dano ao objeto de interesse								
BENEFÍCIOS AMBIENTAIS		Impactos Positivos	Ações de regeneração, conservação, preservação								
RISCOS AMBIENTAIS		Ocorrência	Potencial								

Quadro 3 - Matriz de Sustentabilidade Ecológica (fluxos de água). Fonte: Silva e Teixeira (1999).

urbanas e as variáveis de controle, sendo estas identificadas e decompostas em fatores e critérios de referência. É estruturada tendo, nas linhas, as variáveis de controle e seus respectivos fatores e critérios e, nas colunas, as intervenções urbanas com os respectivos componentes do urbanismo.

Quadro resumo de tendência à sustentabilidade (quadro 4)– Este quadro contém todos os subcomponentes das intervenções urbanas, qualificando cada um quanto à quantificação dos resultados obtidos na Matriz, identificando as principais causas das tendências desfavoráveis à sustentabilidade e sugere correções possíveis para resolver as situações desfavoráveis encontradas. O quadro possibilita, além da quantitativa, uma análise qualitativa do

projeto em estudo através da ponderação favorável (F), desfavorável (D), neutra (N), insuficiente (I), inexistente (X).

Este Método foi aplicado por Figueiredo (2000) nos municípios de Itu/SP, São Carlos/SP, Ribeirão Preto/SP, Taquarituba/SP e Elias Fausto/SP em projetos de sistemas urbanos de água e, por Vianna (2002), no município de Ribeirão Preto, aplicado em áreas de fundos de vale. Estas aplicações permitiram que informações bastante úteis fossem levantadas, abrangendo desde modificações nos instrumentos do Método até recomendações quanto à possibilidade de incorporação de novas informações e instrumentos.

SUB COMPONENTE	F	D	N	I	X	PRINCIPAIS CAUSAS DA TENDÊNCIA DESFAVORÁVEL	CORREÇÕES POSSÍVEIS
Arruamento							
Lotes							
Implantação							
Ocupação							
Geometria da edificação							
Materiais							
Captação							
Transporte							
Tratamento							
Distribuição							
Coleta e Transporte							
Tratamento e Disposição							
Microdrenagem							
Macro drenagem							

Quadro 4 - Quadro Resumo
Fonte: Silva e Teixeira (1999).

4 Método SWAT

O desenvolvimento do SWAT é uma experiência de modelagem que abrange um período de aproximadamente 30 anos. Na origem do SWAT podem ser rastreados modelos desenvolvidos na USDA-ARS, incluindo o modelo CREAMS (trabalha com produtos químicos, enxurrada e erosão de sistemas de gestão

agrícola), o modelo GLEAMS, o qual trabalha com as águas subterrâneas carregando efeitos sobre os sistemas de gerenciamento agrícolas e o modelo EPIC que lida com a política de impacto ambiental sobre o Clima (IZAURRALDE et al., 2006).

O atual modelo SWAT – Soil and Water Assessment Tool - foi desenvolvido pelo departamento de agricultura dos E.U.A. para

simular processos hidrológicos à escala da bacia hidrográfica. Ele é descendente da junção de dois modelos: o modelo Simulator for Water Resources in Rural Basins – SWRRB, desenvolvido com o objetivo de simular o impacto do manejo do solo sobre a produção de água, sedimentos, nutrientes e pesticidas, e o modelo Routing Outputs to Outlet – ROTO, que propaga, através do canal e reservatório, a produção de água e sedimentos das diversas sub-bacias simuladas.

Uma das principais tendências do desenvolvimento do SWAT é o aparecimento de modelos modificados deste, que foi adaptado para fornecer uma melhoria à simulação de processos específicos, concentrando-se, em alguns casos, em regiões específicas.

A primeira modificação foi o SWAT-G, alterando o SWAT 99.2 na percolação, condutividade hidráulica e funções para fornecer previsões de fluxo, típicas para as condições em baixas cordilheiras na Alemanha (LENHART et al., 2002). Outras adaptações do SWAT-G incluem acessórios para um melhor método de estimativa de perda por erosão (LENHART et al., 2005) e um estudo mais aprofundado sobre a quantidade de CO₂ e dos efeitos sobre o índice de área foliar e condutância estomática (ECKHARDT; ULBRICH, 2003).

O modelo ESWAT (VAN GRIENSVEN; BAUWENS, 2005) apresenta diversas

modificações perante o modelo original SWAT, incluindo: (1) periodicidade, insumos de precipitação e infiltração, escoamento superficial, erosão e perda, a partir de estimativas baseadas em definições do usuário de fração de hora; (2) um roteamento do módulo rio que é atualizado a cada hora e tem interface com um componente de qualidade da água que caracteriza a cinética de fluxo baseado parcialmente em funções usadas em QUAL2E, bem como outras melhorias; e (3) análise multiobjetivo e autocalibração dos módulos (semelhantes componentes estão agora incorporados em SWAT2005).

O modelo SWIM baseia-se principalmente em componentes hidrológicas do SWAT e no ciclo de nutrientes, componentes do modelo MATSALU (KRYSSANOVA et al., 2005), o qual foi concebido para simular em uma “escala intermediária” (100 a 100000 km²) bacias hidrográficas. As recentes melhorias no SWIM incluem a incorporação de um submodelo da dinâmica subterrânea (HATTERMAN et al., 2004), o reforço da capacidade de simular sistemas de florestas (WATTENBACH et al., 2005), e desenvolvimento de rotinas mais realistas para simular zonas úmidas e ribeirinhas (HATTERMAN et al., 2006).

A Figura 1 mostra a evolução do modelo SWAT e suas adaptações.

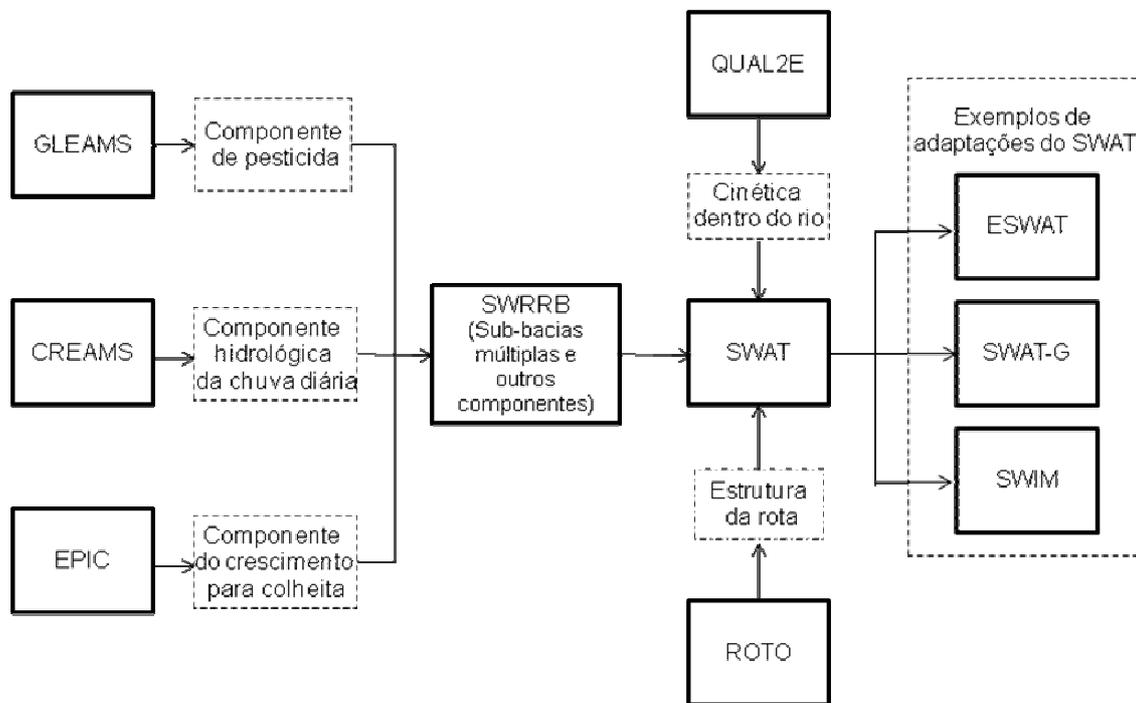


Figura 1-Esquema do histórico do SWAT, incluindo suas adaptações.

Fonte: Gassman et al. (2007)

O modelo opera em simulação contínua de vários anos e corre diretamente dentro de um SIG (o ArcView), facilitando a incorporação da informação espacial e oferecendo novas perspectivas para o estabelecimento e implementação de políticas ambientais e objetivando a redução de impactos das atividades antrópicas (OLIVEIRA, 1999). Ele parte do Modelo Numérico de Terreno (MNT), utiliza as

cartas de pedologia e uso do solo e dados climáticos para a interface com o SWAT. Na figura 2 está esquematizado o funcionamento do SWAT e sua interação com o ARCVIEW.

Para Machado (2002), a modelagem hidrológica e SIG's têm evoluído para o ponto em que as vantagens de cada sistema podem ser totalmente integradas dentro de uma poderosa ferramenta de análise em bacias hidrográficas.

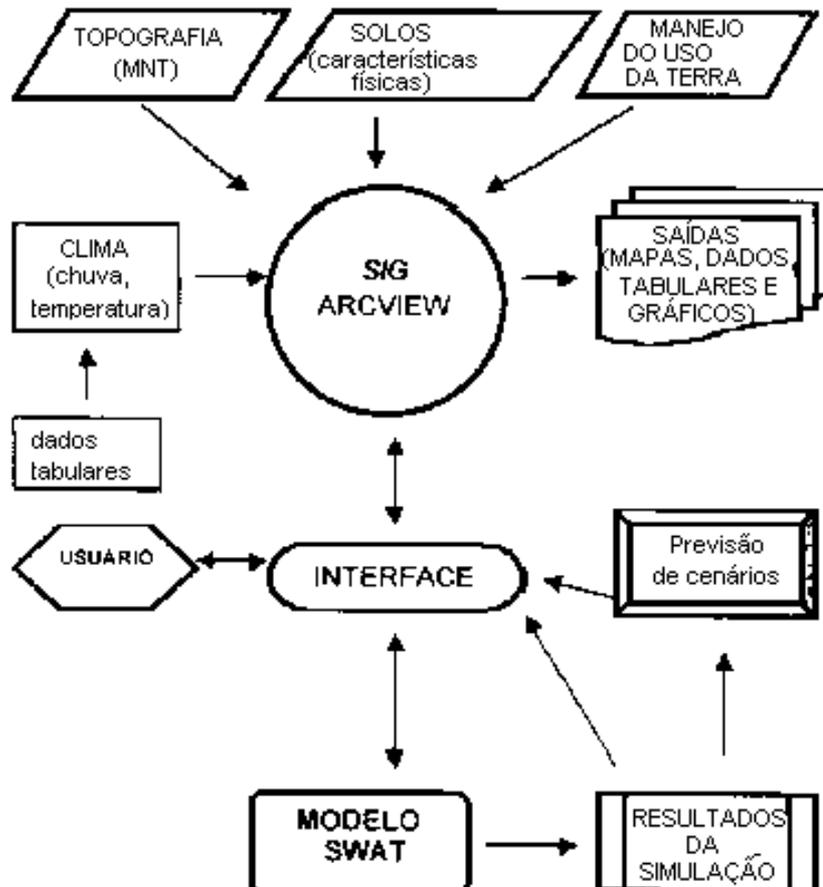


Figura 2 - Sistematização do modelo SWAT.
Fonte: Machado (2002)

O modelo SWAT é do tipo distribuído e a bacia hidrográfica pode ser subdividida em sub-bacias de modo a refletir as diferenças do uso e tipo de solo, cobertura vegetal e topografia. Como o modelo SWAT é baseado em características físicas da bacia (Figura 3), ele necessita, por parte do usuário, do conhecimento de dados sobre condições meteorológicas, propriedades físicas e químicas do solo, topografia e práticas de manejo realizadas na bacia. Usando estes dados como entrada, o modelo SWAT é capaz de avaliar o transporte de sedimentos, fluxo de água e cobertura vegetal. Isto permitirá ao usuário modelar bacias hidrográficas e quantificar o impacto das mudanças na qualidade da água,

permitindo simular vários processos físicos diferentes em uma mesma bacia hidrográfica (SHAW, 2001).

O modelo requer dados diários de precipitação (mm H₂O), temperatura máxima e mínima do ar (°C), radiação solar incidente (MJ/m²/dia), velocidade do vento (m/s), e umidade relativa do ar (%). Assim definem-se os parâmetros climáticos diários para a bacia, que são inseridos no banco de dados do ARCVIEW.

O SWAT necessita de dados de entrada de clima diários e médios anuais. No modelo gerador climático (WXGEN) do SWAT deve conter dados médios necessários para gerar dados climáticos diários que são gerados pelo

modelo em 2 situações: quando é especificado que os dados irão ser gerados, ou quando algum dado está faltando. Para a obtenção de resultados confiáveis a escolha das estações deve seguir dois critérios: o primeiro é que as

séries de dados pluviométricos das estações devem ser superiores a 10 anos (exigência do modelo) e o segundo é que as estações situem-se na mesma isozone.

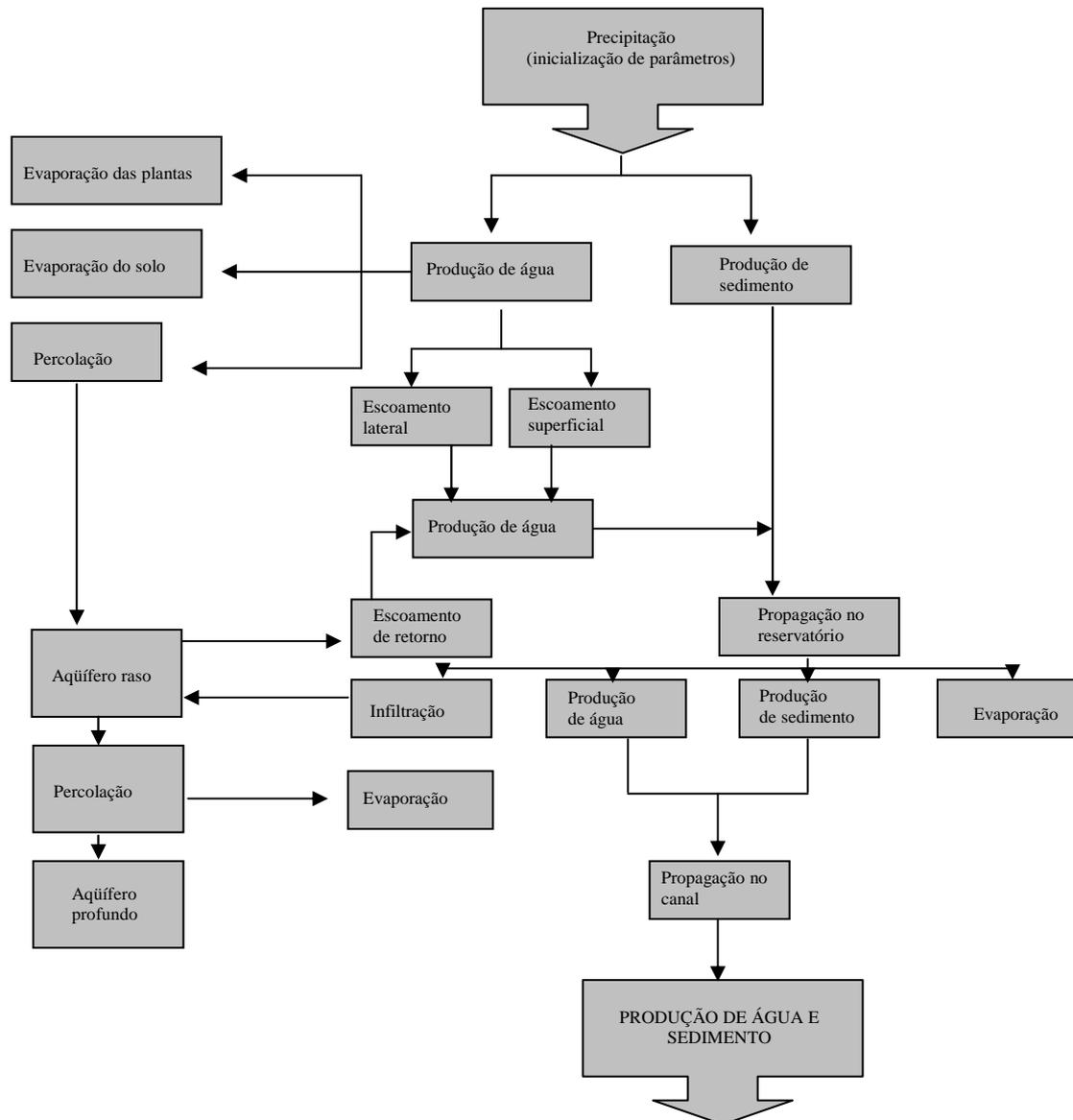


Figura 3 - Fluxograma de processamento do SWAT
Fonte: Grossi (2003), modificado de King et al. (1996).

O banco de dados de solo requer informações das características físico-hídricas de cada classe de solo, como os grupos de saturação (HYDGRP), a profundidade de raiz (SOL_ZMX), porosidade aparente (SOL_BD), capacidade de água no solo (SOL_AWC), condutividade hidráulica saturada (SOL_K), erodibilidade (USLE_K), albedo (SOL_ALB), carbono orgânico (SOL_CBN) e porcentagem de argila, silte, areia e seixo.

A calibração do modelo é necessária para se reduzirem as incertezas dos resultados obtidos através da simulação, para isto são separadas uma série temporal de dados medidos em dois períodos, uma para a calibração e outra para a validação do modelo, pois o parâmetro é rodado com os mesmos parâmetros de entrada para o período de validação e assim um ajuste é determinado (ARNOLD et al, 2000). Os métodos de calibração automática podem melhorar estes resultados.

5 Análise dos métodos de avaliação ambiental

Neste momento foram elencados vários critérios de análise baseados na tese de Fidalgo (2003), a qual desenvolveu critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais, e adaptados para o objeto de estudo abordado.

Estes critérios foram selecionados ao abordar os dados de entrada, as técnicas empregadas e os indicadores, priorizando a visão dos tomadores de decisão e seus eventuais problemas, além de avaliar se os métodos utilizam a capacidade de suporte do meio como seu objetivo fundamental.

A seguir, faz-se uma explanação sobre os critérios que serão avaliados e as regras para a sua análise. Eis os critérios:

a) Confiabilidade, validade científica e padronização dos dados de entrada.

A confiabilidade e a validade científica se referem à clareza e objetividade dos procedimentos descritos para sua obtenção e, ainda, à possibilidade de serem repetidos gerando o mesmo resultado. É importante que o método para a obtenção dos dados - envolvendo a amostragem, a coleta, o registro, análise e seu resultado final - siga normas e padrões técnicos e científicos estabelecidos ou, na inexistência de padrões, que o método tenha sido empregado anteriormente e seus resultados avaliados, devendo-se analisar também a sua fonte.

Um aspecto importante na análise da validade científica está em verificar se é bem fundamentada a opção pelo emprego de um método quantitativo ou qualitativo. Uma abordagem quantitativa deve ser preferida quando é possível realizá-la, porém, uma abordagem qualitativa pode ser mais apropriada quando a determinação quantitativa contém muitas incertezas.

Quanto à padronização dos dados, dificilmente se trabalha em condições ideais, em que todos os dados são compatíveis. Geralmente há a necessidade de realizar transformações e adequações para integrá-los. Para tal, é fundamental conhecer o dado, seu conteúdo, como foi obtido e o que representa seu resultado, bem como explicitar e justificar com clareza as regras para sua padronização.

b) Exatidão Temporal e capacidade de representar a evolução e a dinâmica do ambiente.

O termo exatidão temporal indica a qualidade dos dados em relação ao momento do

evento que eles representam. Considera-se que o critério exatidão temporal é atendido quando o intervalo de tempo decorrido entre a aquisição do dado e o momento a ser representado for correspondente à dinâmica do ambiente e à capacidade de suporte.

Já na capacidade de representar a evolução e a dinâmica do ambiente é verificado se os dados são capazes de representar essa variabilidade para a compreensão da evolução e dinâmica do ambiente. Para isto, o conjunto de dados deve abranger três aspectos: o primeiro se refere ao uso de séries temporais obtidas em intervalos de tempo entre coletas e período de coleta de dados suficientes para a representação dos fenômenos cíclicos ou sazonais; o segundo, à representação dos fenômenos de interesse (diante dos objetivos do planejamento e dos processos que ocorrem na área de estudo) associados a eventos históricos de forma a refletir seus efeitos e o terceiro aspecto se refere à capacidade de expressar as dinâmicas do passado.

Deve-se verificar se o conjunto de indicadores abrange três aspectos: se permite a compreensão da evolução do ambiente e a influência das dinâmicas do passado no contexto atual, se expressa a dinâmica atual, e se estabelece relações entre os principais eventos históricos e seus efeitos ao ambiente.

c) Representatividade dos temas e relevância.

A representatividade se refere à abrangência dos dados em relação aos temas cujo estudo é necessário para atender aos objetivos definidos no planejamento e para a compreensão dos elementos e processos que ocorrem na área de estudo. Verifica-se se os dados atendem às questões legais, aos aspectos físicos, biológicos, sócio-econômicos e políticos.

Os problemas resultantes do uso de dados irrelevantes ou desnecessários estão na elevação dos custos e aumento do tempo gasto devido ao levantamento, armazenamento e processamento desses dados; e, ainda, na possibilidade de gerar resultados enganosos ao interferir neles de forma tendenciosa. Consideram-se os dados e indicadores, relevantes, quando apresentam relação com os elementos e processos que ocorrem na área de estudo diante dos objetivos do planejamento e, necessários, quando se encontram distribuídos entre todos os temas tratados, não se observando um excessivo número de dados associado a algum tema específico, nem o uso desnecessário de diferentes dados para expressar o mesmo tipo de informação. Deve-se, ainda, considerar que o conjunto de indicadores representa os aspectos ambientais relevantes, quando estes refletem o resultado de uma análise integrada do conjunto

de dados e temas analisados de forma interdisciplinar, ou expressam o potencial ou restrição de uso, as fragilidades e os problemas e conflitos existentes, e, ainda caracterizam o estado do ambiente, as pressões exercidas sobre ele e as respostas da sociedade.

d) Facilidade de aplicação e custo

Este parâmetro se refere ao prazo de aplicação quanto ao cronograma, o tipo de tecnologia empregada, os recursos e dados disponíveis e o custo envolvido na aplicação do método, verificando a viabilidade de um gestor público na sua aplicação. Além de verificar a complexidade do método, pois muitas vezes a aplicação de um método pode ser dificultada ou mesmo inviabilizada se não houver, por exemplo, pessoal treinado para sua execução, equipamentos para levantamentos em campo ou recursos computacionais para o armazenamento e análise de dados.

Segundo Ross (2001), a variação do custo por quilômetro quadrado ocorre em função da escala de trabalho e de alguns fatores, como a complexidade da área a ser pesquisada, o nível de profundidade do trabalho de pesquisa, com maior ou menor utilização de dados primários ou secundários, e as equipes para a execução dos trabalhos, caso sejam equipes próprias, parcerias com institutos de pesquisa e universidades ou empresas contratadas.

e) Forma de determinação dos indicadores e a inter-relação entre os fatores.

Este critério analisa a forma de determinação dos indicadores, descrevendo qual a técnica utilizada e a fonte de obtenção e, dentre os indicadores determinados, qual a relação entre eles para a representação da dinâmica do ambiente.

f) Interpretabilidade.

A interpretabilidade dos indicadores envolve dois aspectos. Primeiro, a capacidade de informar e ser compreendido pelo público a que ele se destina (tomadores de decisão, população ou outros). Segundo, a capacidade de permitir a distinção entre condições aceitáveis e críticas.

Verifica-se se são utilizados recursos que facilitam a visualização dos resultados pelo público a que eles se destinam, se o nível de síntese obtido facilita sua compreensão sem prejudicar seu conteúdo e se são apresentadas referências que permitem a distinção entre condições aceitáveis e críticas.

g) Acesso ao banco de dados.

É importante analisar se o formato do banco de dados permite o acesso de dois diferentes tipos de usuários, atendendo a duas diferentes finalidades, a primeira voltada à sua manutenção e execução de atualizações, análises e elaboração de novos dados e informações, operações geralmente realizadas por técnicos especializados, e a outra, voltada à visualização e consulta dos dados pela maioria de usuários, que não são especialistas e precisam de ferramentas apropriadas.

Para a análise considera-se se o banco de dados contém todos os dados utilizados e indicadores elaborados no diagnóstico; se é apresentado em formato adequado, permitindo sua manutenção e a execução de atualizações, análises e elaboração de novos dados e informações; e se tem ferramentas apropriadas para a visualização e consulta dos dados pela maioria dos usuários.

6 Resultados e discussão

6.1 Análise do método AMORIM & CORDEIRO

Quanto ao critério Confiabilidade, validade científica e padronização dos dados de entrada, o método se mostra confiável ao analisar a clareza e objetividade dos parâmetros de sustentabilidade, pois os 15 parâmetros selecionados são transparentes, não restando dúvida ao aplicá-los. Entretanto, esta avaliação é feita em campo e pode tornar-se um tanto quanto subjetiva, dependendo do grupo técnico que aplicará o método, caso não tenha mais material para dar suporte a esta decisão.

Por exemplo, o tipo de ocupação do fundo de vale é feito visualmente em trabalho de campo, entretanto, em nenhuma das aplicações foi utilizado GPS e imagens de satélite para um mapeamento do uso do solo, podendo acarretar resultados a partir de impressões e não dentro dos padrões técnicos.

Dentre os parâmetros analisados, existem os quantitativos e os qualitativos. Entretanto, nos quantitativos não houve uma medição exata e mapeável, como, por exemplo, a quantidade de áreas permeáveis do solo e da bacia hidrográfica em si. Através de um estudo geotécnico poderia ser averiguado o tipo de solo e suas características, tornando-se mensuráveis as áreas permeáveis. Já nos parâmetros qualitativos, alguns se tornam com alto grau de subjetividade como o parâmetro: qualidade estética e paisagística, isto pressupõe a utilização de especialistas, com participação por métodos *ad hoc* e, ainda, de uma ação interdisciplinar.

A exatidão temporal e capacidade de representar a evolução e dinâmica do ambiente é

bem representada no Método Amorim&Cordeiro por ser um método de fácil aplicabilidade e baixo tempo operacional. Entretanto, devido à característica quantitativa da ficha de avaliação, no momento em que o método for aplicado os valores dos parâmetros podem não ser tão adequados dependendo da conjuntura, sendo importante, neste momento que haja uma reavaliação dos valores julgados em cada parâmetro, para que as informações não fiquem prejudicadas.

O mais demorado seria a análise da qualidade da água do curso d'água, pois depende de ensaios normalizados, que implicam um determinado tempo operacional para que saiam os resultados, caso seja necessária a sua execução.

Dentro dos objetivos do planejamento, os parâmetros deste método são representativos e relevantes, pois avaliam desde questões legais, como o enquadramento do corpo d'água, aspectos físicos, biológicos e até questões sociais, como o grau de identificação e valorização pela população do fundo de vale em questão e a qualidade estética e paisagística.

A facilidade de aplicação e o baixo custo são características importantes deste método, pois basta percorrer a área, junto da ficha de avaliação, com bastante critério, alta percepção visual e cautela na avaliação, junto de uma máquina fotográfica para aplicação deste. O uso de equipamentos e tecnologias sofisticadas de alto custo é necessário apenas para a análise de um parâmetro (qualidade da água do curso), mas, dependendo da bacia estudada, já existem resultados pontuais e informações confiáveis dos trechos descartando o uso destes.

A forma de determinação dos indicadores foi feita a partir de três tipologias de fundos de vale e, dentro delas, foram listados os principais impactos ocasionados. Quanto à inter-relação entre os fatores foi feita uma análise enfocando três situações: o meio geofísico, o biológico e o antrópico e a conseqüente relação entre estes no fundo de vale. Para priorizar os efeitos foi utilizada a técnica da matriz de impacto; entretanto, a ponderação dos fatores foi feita sem o auxílio de uma equipe multidisciplinar.

A interpretabilidade dos indicadores é clara, mas principalmente para técnicos. Já para leigos, alguns parâmetros como, por exemplo, a permeabilidade do solo e da bacia hidrográfica seriam avaliados apenas quanto ao trecho possuir asfaltamento, ou o córrego estar canalizado. Entretanto, para uma análise mais concreta seria interessante o cruzamento de estudos geotécnicos, e, caso o córrego esteja canalizado, analisar o tipo de material utilizado e quais as suas principais características.

Já o acesso ao banco de dados neste método foi caracterizado pela clareza da forma de obtenção da ficha de avaliação (principal

instrumento do método) e a possibilidade, de acordo com cada caso, de haver uma rediscussão dos parâmetros de avaliação e da importância que foi designada a cada fator, para que pudesse ser modificada de acordo com a conjuntura específica. Dentro desta visão, cada passo para a obtenção dos critérios foi bem explicativo em Amorim (2004), abrindo espaço para modificação dos próximos tomadores de decisão. Um banco de dados real poderia ser montado com o uso de SIG e a incorporação de novos dados cadastrais e temáticos para uma análise mais concreta.

De um modo geral, este tipo de metodologia prioriza a localização pontual de cada efeito. A partir dela podem-se averiguar as tendências da ocupação e as precauções a serem tomadas. Além disso, o método possui um baixo custo de aplicabilidade e possibilita o uso mais sustentável para fundos de vales dentro do planejamento das cidades. Entretanto, o indicador de qualidade de água requer uma análise à parte dos parâmetros em cada trecho, pois os monitoramentos existentes não chegam até a especificação de microbacias.

As tipologias inicialmente definidas não foram identificadas e diferenciadas em cada trecho em ambas as aplicações. Por causa da dificuldade de distinção nos trechos, para a identificação seria necessária a subdivisão em mais trechos em função de suas peculiaridades, entretanto, o tempo de aplicação seria muito maior.

Seu uso se restringe aos fundos de vales urbanos, é um método de fácil aplicação e baixo custo. Entretanto, para que haja maior credibilidade na sua avaliação seria necessária a inter-relação com outras técnicas.

O diagnóstico fotográfico reforça a percepção visual, mas as características espaciais seriam mais concretas se houvesse um banco de dados com informações geotécnicas e que fossem feitos estudos de erodibilidade, uso e ocupação e outros através da técnica de superposição de cartas. Seria também imprescindível que houvesse uma equipe multidisciplinar para a aplicação e discussão no preenchimento da ficha de avaliação, devido à inter-relação existente entre os parâmetros. Isto pressupõe a utilização de especialistas, com participação por métodos *ad hoc* e ainda de uma ação interdisciplinar.

6.2 Análise do Método PESMU

Quanto ao critério confiabilidade, validade científica e padronização dos dados de entrada, este método é auto-explicativo, facilitando na objetividade dos procedimentos, devido aos instrumentos deste que vão desde a listagem de

informações para a caracterização do empreendimento que traz informações sobre o local e o seu entorno; as fichas de caracterização e análise dos fatores, contendo a definição e descrição das variáveis de controle e seus fatores, além de fluxogramas de decisão que orientam na tomada de decisão para o preenchimento da matriz de análise de sustentabilidade que indicará se a relação entre as intervenções urbanas e as variáveis de controles é favorável, desfavorável, neutra ou insuficiente quando faltam informações para se tomar a decisão e inexistente quando não há relação entre a intervenção e a variável de controle. Por fim, um quadro resumo tornará mais visíveis os resultados do método, trazendo mais clareza a ele e tornando seus resultados mais confiáveis.

A exatidão temporal e a capacidade de representar a evolução e dinâmica do ambiente são bem representadas neste método, por ser ele de fácil aplicabilidade e baixo tempo operacional. Sendo assim, o intervalo de tempo entre a aquisição dos dados e o momento de divulgação dos resultados é pequeno, variando apenas com a grandeza da área estudada.

Dentro dos objetivos do planejamento, as variáveis de controle deste método são representativas e relevantes na sustentabilidade ambiental e um pouco da geográfica, pois a variável de controle distribuição espacial analisa o ambiente construído sob as várias intervenções humanas, mas não abrange as sustentabilidades social, econômica e cultural.

A facilidade de aplicação e o baixo custo são características importantes deste método, devido aos seus instrumentos e por não necessitar de altas tecnologias para a obtenção de resultados.

A forma de determinação dos indicadores foi feita a partir de 10 diretrizes geradas a partir do estudo bibliográfico no segundo relatório de Silva e Teixeira (1999), que deveriam permear o método de análise em execução: utilização limitada dos recursos naturais; baixo consumo energético; baixa ocorrência de impactos negativos sobre o ambiente; minimização da necessidade de tratamento e disposição de resíduos; ocorrência nos sistemas urbanos, de fluxos sob a forma de ciclos fechados, coincidentes ou próximos aos naturais; preferência por alternativas pouco concentradoras, que apresentem caráter mais disperso; preservação de espaços que contenham ecossistemas frágeis; regeneração de ambientes degradados, naturais ou construídos; estabelecimento de uma relação simbiótica entre o ambiente construído e os elementos naturais e o atendimento às três dimensões do tempo passado, presente e futuro. Estas diretrizes nortearam os indicadores construídos e a

interligação dos fatores com a intervenção urbana.

A interpretabilidade dos indicadores torna-se mais fácil, devido à ficha de caracterização onde há uma definição e uma breve descrição dos fatores que serão relacionados, mas, mesmo assim, seria imprescindível que a aplicação do método fosse feita por técnicos, devido à especificidade das relações, e, preferencialmente, por uma equipe multidisciplinar para uma análise mais completa e confiável.

O banco de dados desse método é acessível, ele se inicia com a listagem de informações sobre o empreendimento e prossegue com os fluxogramas de decisão até chegar aos resultados dentro da matriz de sustentabilidade e a sua sistematização no quadro-resumo. Se for fornecido apenas o quadro-resumo das análises, não sabendo de onde vêm as informações, pode acontecer desconfiar dos resultados, por isso a importância do acesso ao banco de dados por completo. A criação de um banco de dados em SIG gerenciaria melhor as informações, além de trazer mais riqueza às análises.

Segundo Figueiredo (2000) e Vianna (2002), o método se mostra flexível, pois a utilização dos componentes de fluxos de água e urbanismo inseridos na matriz deve ser feita de acordo com a abrangência do projeto, podendo-se, assim, analisar desde projetos de urbanismo completos, englobando-se os três sistemas de água (sistema de abastecimento de água, sistema de esgotamento sanitário e sistema de drenagem), até projetos que contemplem uma parte constituinte de um destes últimos.

Seu uso permite que diversas informações sejam organizadas, facilitando verificações e identificando possíveis ausências na elaboração e implantação de empreendimentos. Mesmo assim, as verificações ainda parecem um pouco simplistas e superficiais, necessitando de dados mais concretos para que a análise seja mais profunda. Se houvesse um banco de dados para as informações e um adicional da ferramenta de Sistema de Informações Geográficas, a análise seria muito maior, mais rápida e eficiente e esta seria uma importante ferramenta para o planejamento das cidades e de grande alcance.

Para uma análise mais completa dos projetos de qualquer sistema urbano de água, seriam necessários dados sobre características anteriores à implantação, no local e na área envoltória como: levantamento planialtimétrico, caracterização pedológica e geológica; caracterização climatológica e hidrológica; levantamento da rede hidrográfica, com a caracterização das bacias; localização, quantificação e tipologia da cobertura vegetal; caracterização ecológica, com identificação de

fatores de interesse (físicos e biológicos) e de condições de degradação; dados de qualidade das águas e do ar; localização e dimensões do sistema viário; cadastramento de edificações existentes; demarcações das restrições legais à utilização de partes do terreno; caracterização dos sistemas de saneamento existentes; levantamento das fontes energéticas disponíveis, com identificação da respectiva matriz.

A fonte dos dados interfere diretamente na qualidade das informações do projeto, permitindo uma análise mais profunda ou superficial. Uma base puramente técnica fica comprometida, pois os projetos precisam estar inseridos em um contexto. Estes dados são fundamentais para a caracterização e identificação do projeto, bem como do local de sua implantação e das condições do entorno, possibilitando a criação de cenários para as análises. Sendo assim, é importante que o método não seja aplicado individualmente, mas, sim, para o levantamento de questões e para a discussão em grupo, devido aos questionamentos que surgem à medida que se façam as verificações. Para isso, seria necessária a associação de métodos *ad hoc*, que possibilitem a efetiva interdisciplinaridade.

O método cumpre o objetivo proposto em relação ao item análise, pois faz um exame de cada parte constituinte de um todo com o intuito de sua compreensão e do conhecimento das suas relações. Já o termo avaliação pressupõe uma ponderação, um valor e, no PESMU, esta aparece com uma qualificação das inter-relações. Na fase de concepção é possível a utilização do método no formato como ele se apresenta, devido às suas variáveis (F, D, I, X).

Quanto às fases do projeto para a aplicação do PESMU, há uma melhor adequabilidade na fase de concepção do projeto, devido às suas variáveis. Na fase de avaliação pós-ocupação, em que se pressupõe uma qualificação destas relações, existe um terceiro elemento interligado, o qual não é abarcado pelas análises possíveis dentro do método, que vem a ser a apropriação humana concretizada deste espaço, explicitando a dimensão social da sustentabilidade. Assim, faz-se necessária a introdução de variáveis de controle relativas à adequação do projeto à realidade da população local.

6.3 Análise do Método SWAT

Quanto ao critério confiabilidade, validade científica e padronização dos dados de entrada, dentre os métodos analisados, este é o que mais se destaca neste item, pois está sendo aplicado em diversas partes do mundo, com resultados satisfatórios. As equações desenvolvidas para o modelo já foram testadas e validadas, sendo

averiguado, em cada caso, o modelo e calibrado de acordo com a necessidade, já que no manual do SWAT estão descritas as equações para a averiguação do modelo.

Os dados de entrada no SWAT são padronizados e quantificados, mas ao fazer a interface com o SIG, também poderá ser feita a análise de dados. O modelo é baseado nas características físicas da bacia. A variação sazonal destes processos é dada não só pelos dados climáticos (precipitação, temperatura, e outros) necessários para executar o modelo, mas também por um submodelo de crescimento vegetal capaz de simular a variação das demandas hídricas de sistemas naturais.

Quanto à exatidão temporal, o modelo opera geralmente com um passo de tempo diário, além de ser possível uma resolução horária. Foi desenvolvido para a simulação contínua de vários anos, mas, devido à grande quantidade de parâmetros de entrada, e dependendo da equipe que aplicará o modelo, o tempo entre a captação dos dados e a saída dos resultados pode ser um pouco mais longa, entretanto, é um importante instrumento para a predição de impacto a longo prazo. A possibilidade de simular cenários é uma ferramenta importante, pois utiliza um tempo mínimo para vários resultados e cenários do meio.

Já a capacidade de representar a evolução e dinâmica do ambiente é muito boa, pois os resultados poderão ser dados desde uma bacia extensa até a discretização de várias sub-bacias, simulando cenários para todas as situações, refletindo as diferenças do uso e tipo de solo, cobertura vegetal e topografia para uma posterior avaliação de transporte de sedimentos, fluxo de água, cobertura vegetal e mudanças na qualidade de água.

A representatividade dos temas avaliados é relevante quanto às características físicas das bacias. Este modelo está construído para dar resposta exclusivamente a questões relacionadas com o escoamento de águas superficiais e quantidade de água disponível, entretanto, a integração dos resultados deste Modelo e de outros dados relacionados com os recursos hídricos é realizada no interior do SIG. Outro processo simulado pelo SWAT, relevante para este estudo, é a erosão do solo. As características a serem analisadas provêm da necessidade de cada usuário, pois o ambiente SIG possui um espaço ilimitado, adquirindo desde informações cadastrais até temáticas, além de poder cruzar estas informações formando novos resultados.

Quanto à facilidade de aplicação e o custo, neste modelo, a simulação em grandes bacias e sub-bacias pode ser executada sem excessivo investimento de tempo ou dinheiro. Entretanto, ao compará-lo com os outros métodos será exigido um maior custo e, devido à grande

quantidade de parâmetros, uma maior dificuldade na aplicação. Na maioria das aplicações, o custo de execução de um programa computacional é muitas ordens de magnitude menor do que o correspondente custo relativo à investigação experimental. Esse fator adquire maior importância na medida em que o problema real estudado apresenta maiores dimensões e complexidade (como uma bacia hidrográfica), além dos custos operacionais mais elevados relativos às pesquisas de campo (PESSOA et al., 1997).

Segundo o manual do SWAT (NEITSCH et al, 2002), a determinação dos parâmetros foi adquirida a partir da necessidade de cada aplicação, havendo um melhoramento do modelo com o passar do tempo. O SWAT incorpora características de diversos modelos, pois, desde que foi criado foi submetido à revisão e à expansão continuadas das suas potencialidades.

O banco de dados deste modelo é acessível e pode ser modificado a qualquer momento, pois o manual do SWAT descreve todas as equações utilizadas no modelo SWAT, a função de cada parâmetro e forma de operação no modelo. Apesar do software BASINS que incorpora o modelo SWAT possuir apenas lacunas para que fossem colocados os resultados de cada parâmetro, o manual explica o peso de cada parâmetro e a forma de consideração. O modelo é baseado em balanço de água no ciclo hidrológico e no monitoramento de água, sedimentos, nutrientes e pesticidas, arquivando os principais focos de cada sub-bacia. Em seguida é simulado o transporte de sedimentos, nutrientes (fósforo e nitrogênio) e pesticidas. O banco de dados do SIG pode ser desenvolvido a qualquer momento com dados específicos do local em estudo.

7 Considerações finais

Uma dificuldade com relação à análise comparativa dos métodos foi quanto à escala destes, pois o SWAT foi desenvolvido para grandes escalas, podendo ser subdividido em escalas menores com a discretização da bacia. Para isto, o modelo torna-se mais complexo perante os outros. Além disto, alguma variável, como, por exemplo, o custo de aplicação, pode vir a ser prejudicada ao ser comparada com os outros métodos. Este modelo teve muitas aplicações em grandes bacias, mas, ao ser aplicado em uma sub-bacia específica, localizando um fundo de vale como nos outros métodos, seria necessária uma adaptação do modelo e uma calibração posterior.

Ao incorporar o banco de dados em SIG nos métodos PESMU e AMORIM & CORDEIRO, terá que haver uma preocupação com a

compatibilidade das informações com a escala do estudo, para que o cruzamento das informações se torne verídico, além de produzir a riqueza de detalhes desejada.

Outra diferença entre os Métodos Amorim&Cordeiro, PESMU e SWAT é quanto ao local da aplicação e seus parâmetros. O SWAT foi desenvolvido para uma área agrícola, fazendo uma análise física da bacia e até análise de pesticidas e erodibilidade, mas, sem a visão de planejamento como nos outros métodos, isto pode ser incorporado com a interface do ARCVIEW, o qual pode gerar mapas e cartas visando a uma ocupação sustentável do meio em estudo. Além disso, ao analisar a área rural, com os parâmetros físicos da bacia, pode-se fazer um planejamento geoambiental desta para uma ocupação posterior da área, considerando as condições de escoamento, a erodibilidade, o clima, o uso do solo, a geologia, relevo, pedologia e outros fatores que estiverem disponíveis.

A ferramenta de SIG, utilizando a técnica de superposição de cartas, traria mais flexibilidade para adaptação ao meio de análise dos métodos estudados, podendo adaptarem-se de acordo com a conjuntura. Esta ferramenta analisa tanto dados quantitativos quanto qualitativos, gerando mapas que podem ter suas classes quantificadas em porcentagens, tornando as informações mais precisas.

Segundo Odum (1969), do ponto de vista energético, os rios e correntes são ecossistemas incompletos, pois uma parte da energia provém do ecossistema terrestre adjacente devido à adaptação natural da matéria orgânica, constituindo sistemas ideais de depósito de matéria orgânica, desde que a carga não seja excessiva. Esta análise das comunidades aquáticas não foi feita em nenhum dos métodos, sendo que, ao canalizar um leito, por exemplo, estas características são modificadas rapidamente, impactando drasticamente no ecossistema formado. Já quanto ao ponto de vista energético, os métodos AMORIM & CORDEIRO e SWAT fazem um estudo da qualidade da água, podendo enquadrar-se em uma classe ou um padrão de potabilidade da água.

Dentre as dificuldades para a avaliação dos critérios, tem-se a subjetividade presente em algumas das regras estabelecidas, para as quais não há como obter uma avaliação precisa, baseada em normas ou padrões sugeridos na literatura. Uma sugestão para melhorar a qualidade dos resultados da análise é a sua realização por mais de um profissional, reunindo diferentes opiniões.

Os três métodos auxiliam na tomada de decisão, diferenciando-se na complexidade, nas técnicas e na forma de avaliação. Os métodos possuem técnicas de avaliação diferenciadas e, portanto, a equipe que os aplicará poderá

escolher o método mais adequado, ou aquele com o qual ela possuir maior afinidade.

Não há um método que seja o melhor e, sim, o mais adequado para cada situação. Os métodos AMORIM & CORDEIRO e o PESMU possuem um enfoque mais global para o diagnóstico, entretanto, o SWAT analisa em

detalhes as características físicas da bacia e se torna flexível na interface com o SIG. O SIG utilizado na interface com o SWAT é o ARCVIEW, um módulo do ARCGIS. Recomenda-se, para o uso em prefeituras, o software SPRING, que é um SIG gratuito, e já vem sendo implantado em planos diretores no Brasil.

8 Evaluation method applicable to hydrographic basins in the urban environment: analysis of the AMORIN & CORDERO, PESMU AND SWAT methods

Abstract: *This paper analyzes three methodologies applied to hydrographic basins and developed for the planning and management of the urban environment regarding environmental concerns. The methods analyzed are AMORIM & CORDEIRO and PESMU (created in UFSCAR), and a mathematical modeling with SWAT that interfaces with the ARCVIEW software. The research methodology was developed from criteria that were selected by prioritizing the focus on the conditions that the evaluation method should offer in order to give support to the manager. For that reason, some characteristics, such as reliability, scientific validity, and standardization and accessibility of data were analyzed. In this way, even when applied in different places, with distinct characteristics a comparison could still be made between answers in the different cases. The indicators of the methods were also analyzed in order to ascertain the potential range of the themes, their interpretability and representativeness. In light of the performed analysis, the conclusion is that there is no single best method, but one that is the most appropriate for each particular situation. While the AMORIM & CORDEIRO and PESMU methods have a more global focus for the diagnosis, the SWAT method analyzes the basin physical characteristics more deeply and becomes flexible in its interface with GIS. The three methods are complementary when it comes to the complex environment that is a hydrographic basin.*

Key-Words: Evaluation methods. Public policy management. Urban and environmental planning.

9 Referências

AMORIM, L.M. **Ocupação de fundos de vale em áreas urbanas:** estudo de caso córrego do Mineirinho, São Carlos-SP. 2004. Total p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

ARNOLD, J. C. et al. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the upper Mississippi river basin. **Journal of Hydrology**, v. 227, p. 21-40, 2000.

BALDISSERA, G. C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water assessment tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT.** 2005. Total p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

ECKHARDT, K.; ULBRICH, U.. Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. **Journal of Hydrology**, v.284, p. 244-252. 2003

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnósticos de planejamentos ambientais.** 2003 . Total p. Tese (Doutorado em planejamento e desenvolvimento rural e sustentável) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FIGUEIREDO, G. A. B. G. **Sistemas urbanos de água: avaliação de método para análise de sustentabilidade ambiental de projetos.** Dissertação de mestrado, UFSCar, São Carlos-SP, 2000.

GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GRENN, C. H.; ARNOLD, J. G. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. **Soil & Water Division of ASABE. SW**, v. 6726, p. 1211- 1250, 2007.

GROSSI, C. H. **Sistema de informação geográfica - BASINS 3.0 na modelagem hidrológica da bacia experimental do Rio Pardo, SP.** 2003. Total p. Dissertação (Mestrado em energia na agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2003.

HATTERMAN, F. F.; KRYSANOVA, V.; HABECK, A.; BRONSTERT, A. Integrating wetlands and riparian zones in river basin modeling. **Ecol. Model**, v. 199, p. 379-392, 2006.

HATTERMAN, F.; KRYSANOVA, V.; WECHSUNG, F.; WATTENBACH, M. Integrating groundwater dynamics in regional hydrological modelling. **Environ. Model. Soft**, v.19, p.1039-1051, 2004.

IZAURRALDE, R. C.; WILLIAMS, J. R.; MCGILL, W. B.; ROSENBERG, N. J.; QUIROGA JAKAS, M. C. Simulating soil C dynamics with EPIC: Model description and testing against long-term data. **Ecol. Model**, v. 192, p.362-384, 2006.

JUNQUEIRA, C. A. R. e SILVA, R. S. Ocupação antrópica de fundo de vale: análise do vale do córrego Santa Maria do Leme, São Carlos-SP. – In: 2º CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEAMENTO, URBANO, REGIONAL, INTEGRADO, SUSTENTÁVEL, 27 a 29 de setembro de 2006, Universidade de Minho, Braga, Portugal. Anais – **Planejamento Sustentável**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2006. p. 12.

KRYSAKOVA, V.; HATTERMAN, F.; WECHSUNG, F. Development of the ecohydrological model SWIM for regional impact studies and vulnerability assessment. **Hydrol. Process**, v.19, p. 763-783, 2005.

LENHART, T.; ECKHARDT, K.; FOHRER, N.; FREDE, H. G. Comparison of two different approaches of sensitivity analysis. **Phys. Chem. Earth**, v. 27, p.645-654, 2002.

LENHART, T.; VAN ROMPAEY, A.; STEEGEN, A.; FOHRER, N.; FREDE, H. G.; GOVERS, G. Considering spatial distribution and deposition of sediment in lumped and semi-distributed models. **Hydrol. Process**, v. 19, p.785-794, 2005.

MACHADO, R. E. **Simulação de Escoamento e de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. Total p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)- Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

NEITSCH, S. L., J.G. Arnold, J. R. Kiniry, R. Srinivasan, J. R. Williams, 2002. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) User's Manual, Version 2000, Grassland Soil and Water Research Laboratory. Black Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Texas Water Resources Institute, Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, 472p.

OLIVEIRA, M.Q.C. **Impacto de mudanças no uso do solo nas características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do rio Joanes e sua repercussão na zona costeira**. 1999. Total p. Dissertação (Mestrado em Ciências-Geologia) – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 1999.

SHAW, K. **An evaluation of the BASINS 3.0 models including the procedural steps taken to evaluate the Barton Creek Watershed**. Lexington: University of Kentuck, 2001. 134 p.

SILVA, R. S. e TEIXEIRA, B. A. N. **Urbanismo e saneamento urbano sustentáveis: desenvolvimento de métodos para análise e avaliação de projetos**. São Carlos: CEF/UFSCar, 1999. 83 p. Relatório 5

SUPERINTENDÊNCIA DOS RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE (SUREHMA). **MAIA: manual de avaliação de impactos ambientais**. ed. 1. Curitiba: SUREHMA / GTZ, 1993. 3100 p.

VAN GRIENSVEN, A.; BAUWENS, W. Application and evaluation of ESWAT on the Dender basin and Wister Lake basin. **Hydrol. Process.**, v.19, p. 827-838, 2005.

VIANNA, A. V. N. **Análise de Sustentabilidade ecológica de projetos urbanos. Avaliação do Método PESMU aplicado a fundos de vale em Ribeirão Preto**. 2002. Total p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

WATTENBACH, M.; HATTERMAN, F.; WENG, R.; WECHSUNG, F.; KRYSAKOVA, V.; BADECK, F.A simplified approach to implement forest ecohydrological properties in regional hydrological modelling. **Ecol. Model.**, v. 187, p. 49-50, 2005.