

UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

ALDO AROUCA

TÉCNICAS PARA CONTROLE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA
OPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE RODOVIAS

RIBEIRÃO PRETO – SP

2014

ALDO AROUCA

**TÉCNICAS PARA CONTROLE DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS NA OPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE
RODOVIAS**

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de
Ribeirão Preto (UNAERP), como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

RIBEIRÃO PRETO-SP

2014

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento Técnico
da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

A771t Arouca, Aldo, 1951-
Técnicas para controle dos impactos ambientais na operação e
conservação de rodovias / Aldo Arouca. - - Ribeirão Preto, 2014.
170 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes.

Dissertação (mestrado) - universidade de ribeirão preto,
UNAERP, Tecnologia ambiental. Ribeirão Preto, 2014.

1. Sustentabilidade. 2. Estradas. 3. Impacto ambiental.
I. Título.

CDD 628

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha querida esposa Elisabete, pelo amor, apoio, dedicação, compreensão e grande incentivadora de meus estudos, sem os quais não haveria a realização deste grande sonho.

Em todas as horas de ausência no lar, ou mesmo nas noites de estudos sempre soube com seu carinho colocar em minha vida as palavras construtivas de que valeria a pena todos os esforços. Foi e é a grande razão da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me ter conduzido com saúde, paz e felicidade, nesta longa estrada da vida, mesmo quando nos falta algum pedaço de nosso coração, deu-me persistência e coragem para continuar vivendo;

Ao meu orientador Dr. Luciano Farias de Novaes, pela orientação segura, atenciosa que foi determinante na estruturação e desenvolvimento deste trabalho. A amizade sincera e o constante incentivo marcaram para sempre em minha vida, todos os seus ensinamentos.

Ao Dr. Lucas Lehfeld, pelo primeiro acreditamento de minhas observações a respeito das determinantes deste trabalho, constatou com extrema dedicação e bondade apoiando-me e acreditando na validade dos primeiros estudos.

À prof^a e Dr^a. Luciana Resende, na verdade não a palavras para agradecer tanta compreensão e carinho transmitido a minha pessoa, sempre com gestos e observações construtivas, me fez sentir como se tivesse recebido o grande primeiro abraço em minha vida.

Ao amigo e colega de curso Mario Carlucci pelos bons momentos que passamos juntos nesta vida acadêmica e a todos os professores que direta e indiretamente faziam parte desta minha vida acadêmica na Universidade de Ribeirão Preto.

RESUMO

Há uma importante lacuna nos conhecimentos de implantação e operação de rodovias, nos aspectos que envolvem a drenagem superficial, a faixa de domínio e os corpos hídricos, quanto aos impactos ambientais gerados pelo carreamento de solo e resíduos sólidos rodoviários. Objetivando contribuir com o avanço do tema e procurando dar efetividade e eficiência a faixa de domínio do corpo estradal e as áreas de preservação permanentes interceptadas pela rodovia, onde constantemente são atribuídos à rodovia como êmbolo indutor de erosão, assoreamento, e movimentação de resíduos sólidos na micro bacia contribuinte onde se verifica a infra estrutura rodoviária na região. Vale ressaltar que além destes aspectos já citados há também o acréscimo da rota de tráfego de produtos perigosos, que embora tenha legislação específica de transporte, impacta diretamente os mananciais de água da bacia hidrográfica regional, quando de acidentes no segmento rodoviário. Foram desenvolvidas várias frentes, em que se observa o potencial impactante e suas magnitudes, onde se formula as proposituras do projeto de pesquisa através de setores Água, Ar e Solo no segmento estradal e que recebe o nome de Km Ambiental. No setor Água é composto das seguintes técnicas: Controle da drenagem superficial e condução das águas superficiais; Caixa redutora de velocidade e alimentadora das águas subterrâneas; Caixa redutora de impacto difuso no corpo hídrico receptor; no setor Ar composto pelos módulos florestais de neutralização parcial de CO₂; módulos sucessionais de controle de poluição sonora em áreas conturbadas e trevos e no setor Solo composto de condomínios florestais de espécies nativas (junto das APP e corredores faunísticos) e arborização rodoviária (combate aos passivos ambientais). A pesquisa foi definida no campo exploratório de acordo com o objetivo, pois segundo Gil (2012) a pesquisa exploratória é utilizada para realizar um estudo preliminar de técnicas propiciando ao pesquisador uma visão geral de tipo aproximativo e apropriativo adotando-se vários trechos rodoviários para observação, análise, aplicação, comparando as variáveis técnicas e principalmente a validação da principal estrutura técnica, caixa difusa desenvolvida para este estudo de caso. Nas políticas públicas de infraestrutura rodoviária apresentam-se grandes fundamentos legais em seus propósitos de licenciamentos dos empreendimentos rodoviários, porém ficam restritos somente ao revestimento asfáltico, sendo que o remanescente em solo original e toda sua interface com a área limdeira vêm potencializando os efeitos de bordo das rodovias onde a degradação e o empobrecimento da biodiversidade na faixa de domínio e conseqüentemente junto aos lindeiros. Desta forma o Km Ambiental monitora vários parâmetros a fim de colaborar efetivamente com técnicas para combater a degradação Ambiental e restabelecer a biodiversidade ao longo do segmento rodoviário, onde a natureza nos ofertou nobremente seus recursos naturais.

Palavras-Chave: Sustentabilidade. Passivo Ambiental. Estradas.

ABSTRACT

There is a major gap in the implementation of knowledge and operation of highways, the aspects that involve surface drainage, the track area and water bodies, as the environmental impact caused by soil entrainment and road solid waste. To contribute to the theme of progress and seeking to effectiveness and efficiency estradal body of-way and permanent preservation areas intercepted by the highway, where constantly are assigned to the highway as an inducer piston erosion, siltation, and handling of solid waste in micro tributary basin where it checks the bus structure in the region below. It is noteworthy that in addition to these aspects already mentioned there is also the addition of dangerous goods traffic route, which although specific legislation transport, directly impacts the water sources of regional watershed, when accidents in the road segment. several fronts, where there is the striking potential and their magnitudes, where formulates the propositions of the research project through water sectors, Air and Soil in estradal segment and that is called Environmental Km were developed. In the water sector is composed of the following techniques: Control of surface drainage and conduction of surface water; Gearbox speed and feeder groundwater; gearbox diffuse impact on the water body receptor; Raised sector composed of forest modules partial neutralization of CO₂; successional modules of noise control in troubled areas and clovers and Solo sector composed of condominiums forest of native species (with the APP and wildlife corridors) and road afforestation (combating environmental liabilities). The research was defined in exploratory field according to the goal, because according to Gil (2012) Exploratory research is used to conduct a preliminary study of techniques providing the researcher an overview of approximate and appropriate type adopting several road stretches for observation , analysis, application, comparing the technical variables and especially the main technical structure validation, diffuse box developed for this case study. In road infrastructure of public policies have become major legal fundamentals in its licensing purposes of road projects, but are restricted only to the asphalt coating, and the remaining in original soil and all its interface with lindeira area come potentiating the edge effects the roads where the degradation and loss of biodiversity in the right of way and consequently along the bordering. Thus the Environmental Km monitors various parameters in order to effectively collaborate with techniques to combat environmental degradation and restore biodiversity along the road segment where nature has nobly offered up its natural resources.

Keywords: Sustainability. Environmental liability. Roads.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Relação benefício/custo da utilização de informações preliminares e trabalhos de campo	30
Tabela 02 - Valores do parâmetro “Interferência (I)” da fórmula da Relevância do Passivo Ambiental (RPA).....	
Tabela 03 - Valores do parâmetro “Grau de Risco (GR)” da fórmula da Relevância do Passivo Ambiental (RPA)	125
Tabela 04 - Valores do parâmetro “Agravante (Ag)” da fórmula da Relevância do Passivo Ambiental (RPA).....	127
Tabela 05 - Valores do parâmetro “Atenuante (At)” da fórmula da Relevância do Passivo Ambiental (RPA).....	128
Tabela 06 - Relação da frota de veículos com a emissão de CO ₂	131
Tabela 07 - Levantamento Apropriativo dos Aspectos e Impactos Ambientais dos resíduos sólidos lançados nas estradas	133
Tabela 08 - Resíduos sólidos recolhido na rodovia SP – 66 Km 90 ao Km 106.....	134
Tabela 09 -Volume (m ³) mensal de resíduos sólidos coletados pela concessionária, por rodovia, fevereiro/2004 a Fevereiro/2005.....	135
Tabela 10 - Tipos de indicadores ambientais	
Tabela 11 - Propostas de Indicadores Ambientais.....	

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Diagrama das relações rodoviárias e o meio ambiente	23
Figura 02 - Fluxograma da metodologia desenvolvida e aplicada pelo IPT	37
Figura 03 - Ilustração das diferentes escalas da sustentabilidade ambiental na microbacia hidrográfica.....	41
Figura 04 - Variação do deflúvio anual da microbacia ao longo do crescimento vigoroso da floresta regenerada após um incêndio que eliminou ambiente a floresta natural de <i>Eucalyptus regnans</i> localizada na bacia hidrográfica de abastecimento de água da cidade de Melbourne na Austrália	23
Figura 04 - Erosão e impacto no lindeiro a rodovia	115
Figura 05 - Material que fica depositado na interface da faixa de domínio e o lindeiro indicando a parte da prova do impacto	116
Figura 06 - Vista da caixa de retenção difusa na operação normal de drenagem, ou seja, sem passar pelo compartimento de decantação	120
Figura 07 - Vista geral da caixa de retenção difusa.....	120
Figura 08 - Vista da caixa de retenção difusa em operação, onde o escoamento está direcionado para o compartimento de decantação (fluxo fechado para o corpo hídrico)	121
Figura 09 - Caixa de retenção difusa proposta no presente trabalho	121
Figura 10 - Posicionamento da caixa de retenção difusa na faixa de domínio	122
Figura 11 - Saída do Material Assoreado entre a canaleta e a barragem de contenção junto a faixa de domínio na SP 326, mostrando a necessidade de implantar a caixa de decantação maior para acumular os resíduos carreados	122
Figura 12 - Material assoreado carreado pela faixa de domínio da estrada, mostrando a necessidade de implantar o sistema de contenção denominado “caixa de retenção difusa”	123
Figura 13 - Volume de Resíduos Sólidos junto a faixa de domínio e canaletas de drenagem em rodovias conturbadas.....	136
Figura 14 - Resíduos Sólidos junto à faixa de domínio e canaletas de drenagem em rodovias	136

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Fases de utilização dos instrumentos de gestão ambiental.....	91
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 IMPORTÂNCIA DAS RODOVIAS	17
3.2 IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO PELAS RODOVIAS	19
3.2.1 Fases do Projeto e o Ambiente Construído.....	26
3.2.2 Interações Bióticas e Abióticas na Paisagem Rodoviária.....	31
3.2.3 Biodiversidade e a Faixa de Domínio Rodoviário	50
3.2.4 Serviços Ecosistêmicos da Floresta.....	55
3.3 CONDIÇÕES FÍSICAS DAS RODOVIAS NO BRASIL.....	62
3.4 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA.....	66
3.4.1 História da Cartografia Geotécnica.....	66
3.4.2 Classificação das Cartas Geotécnicas.....	68
3.4.3 Métodos de Elaboração de Cartas Geotécnicas	71
3.4.4 Aplicação de Cartas Geotécnicas em Gestão Territorial.....	78
3.4.5 Cartas Geotécnicas à Erosão.....	80
3.4.6 Cartas Geotécnicas Aplicadas a Empreendimentos	81
3.4.7 Cartas Geotécnicas Aplicadas a Rodovias e Obras lineares	83
3.5 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL RODOVIÁRIA	85
3.5.1 Avaliação de Impacto Ambiental – AIA	88
3.5.2 Auditoria Ambiental.....	91
3.5.3 Recuperação de Áreas Degradadas	93
3.5.4 Monitoramento Ambiental.....	95
3 OPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA	97
3.1 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS SIGNIFICATIVOS NA OPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE RODOVIAS.....	99
3.1.1 Passivo Ambiental	99
3.1.2 Conceituação de Passivo Ambiental	100
3.1.3 Caracterização do Passivo Ambiental Associado à Operação Rodoviária.....	104
3.1.4 Componentes do Passivo Ambiental Associado à Operação Rodoviária	106
4 MATERIAL E MÉTODOS	107
5 RESULTADO E DISCUSSÃO	108
5.1 QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DE RESÍDUOS SÓLIDOS	109
5.2 IMPACTO DO PROCESSO EROSIVO.....	109

5.3 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS SIGNIFICATIVOS NA OPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE RODOVIAS.....	114
5.4 PRIORIZAÇÃO DO PASSIVO AMBIENTAL RPA	118
5.5 VARIAÇÃO NA QUALIDADE DO AR E A NEUTRALIZAÇÃO PARCIAL DAS EMISSÕES DE CO ₂	124
5.6 OCORRÊNCIA DE VETORES E MONITORAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS RODOVIÁRIOS.....	128
5.7 PROPOSTA DAS TÉCNICA DO KMAMBIENTAL PARA A OPERAÇÃO DE RODOVIAS	133
5.8 INDICADORES AMBIENTAIS PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO	134
5.8.1 Introdução a Indicadores Ambientais.....	135
5.8.2 Evolução dos Indicadores Ambientais	138
5.8.3 Características de Indicadores Ambientais.....	139
5.8.4 Elaboração de Padrões ou Limites Ambientais	141
5.8.5 Proposta de Indicadores Ambientais para Rodovias.....	142
CONCLUSÃO	147
REFERÊNCIAS	148

1 INTRODUÇÃO

Em uma análise real dos aspectos de uma rodovia já consolidada e em operação, pode-se afirmar que os maiores e mais significativos impactos ambientais são aqueles que têm na drenagem superficial o êmbolo propulsor de impactos no solo, nos recursos hídricos e na micro bacia local.

Com frequência, observa-se que a análise ambiental dos ecossistemas terrestres é efetuada seguindo uma estrutura convencional de estudos separados do meio físico, biológico e socioeconômico, sem uma preocupação interdisciplinar ao estudo. A verdade, todavia, é que componentes não se encontram isolados na paisagem, mas se interagem e desempenham funções que os definem. De fato, a vida depende do meio físico. Ou seja, o meio físico proporciona o contexto e os limites de funcionamento do meio biológico, assim como controla a produtividade dos sistemas ecológicos. A forma e o funcionamento de todos os organismos biológicos, animais e vegetais, evoluíram em respostas as condições prevalentes no meio físico, em termos de clima, geologia e geomorfologia.

Por sua vez, os organismos vivos também afetam o meio físico. A grande maioria dos vegetais terrestres, por exemplo, absorve a água do solo. Por seu turno, a quantidade de água que um determinado tipo de solo pode armazenar, principalmente em termos de sua disponibilidade para as plantas, depende de sua estrutura, a qual está condicionada ao tamanho e arranjo de suas partículas. As plantas também requerem significativa variedade de nutrientes, além do carbono e do oxigênio, disponível no solo.

As plantas e os animais também se encontram em permanente interação com o meio físico na paisagem, por meio de trocas gasosas, como é o caso da transpiração. A taxa de transpiração depende da disponibilidade de água, da temperatura relativa entre superfície e ar, assim como pressão de vapor da atmosfera. Outros fatores climáticos, tais como a temperatura do ar, umidade relativa, chuvas, ventos e insolação afetam de forma interativa o meio biológico. A evaporação direta do solo e a transpiração das plantas, juntas denominadas evapotranspiração, constituem processos que retiram a água armazenada do solo, que por sua vez, é recomposta pela chuva. As chuvas, por sua vez, têm origem na água evapotranspirada pela superfície, assim fechando o ciclo hidrológico.

A dinâmica da paisagem, representada pelas interações entre os componentes bióticos e abióticos do sistema terrestre, depende fundamentalmente da água na natureza. Referimo-nos à Eco-hidrologia, que pode ser definida como a ciência que procura descrever os mecanismos hidrológicos que dão suporte aos processos e padrões ecológicos (RODRIGUES-ITURBE, 2000; ZALEWSKI, 2000). Por essa razão, o enfoque eco-hidrológico de análise dos sistemas terrestres, que tem na conservação da água o seu elemento basilar, proporciona uma metodologia consistente para o entendimento da dinâmica da paisagem, do funcionamento dos sistemas terrestres e dos impactos ambientais do uso dos recursos naturais pelo homem. Esse enfoque é, por isso fundamental para o planejamento sustentável do uso da terra, assim como para o correto entendimento das mudanças dos processos hidrológicos decorrentes destas alterações da paisagem rodoviária.

A caracterização dos atributos do meio físico, assim como de sua variabilidade na paisagem, é fundamental para o estabelecimento de estratégias sustentáveis de uso dos recursos naturais e de conservação ambiental rodoviária. Trata-se de um desafio de enorme complexidade e é nesta complexidade natural que se encontra a chave para o entendimento e o estabelecimento dos objetivos para a conservação ambiental rodoviária.

A análise de elementos isolados desse contexto, sem levar em conta as interações e inter-relações dos ecossistemas terrestres, tende a ser, no mínimo, incompleta, quando não tendenciosa, porém não se restringe apenas aos processos ecológicos e hidrológicos do ecossistema impactado pela rodovia, mas permeiam, também, os aspectos culturais, sociais e políticos envolvidos na conservação ambiental rodoviária e no uso sustentável dos recursos naturais.

As águas provenientes da drenagem superficial das rodovias, quando não são controladas em seu volume e sua velocidade, fazem o carreamento de grande parte de partículas em suspensão e de resíduos sólidos colhidos no corpo estradal, causando no encontro com o corpo o hídrico coletor um forte impacto em suas margens, bem como uma significativa alteração na qualidade das águas. Somando a isto há um efeito de bordo na relação da faixa de domínio e a parte limdeira das áreas de proteção permanente - APP, onde a quase inexistência da mata ciliar, os impactos ambientais das atividades de manejo da conservação rodoviária da faixa de domínio, o desmatamento do entorno, o preparo e

adubação do solo agrícola, vão configurar uma degradação e um empobrecimento do solo através da erosão e a sedimentação dos cursos d'água.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho foi estabelecer um rol de soluções técnicas e ambientais, para neutralizar os impactos ambientais gerados em rodovia, onde o interesse maior foi estabelecer um equilíbrio sustentável junto aos recursos naturais, água, ar e solo impactados pela rodovia, sendo denominado de Km Ambiental.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desta forma, os objetivos específicos foram:

1. Quantificar o volume de resíduos sólidos gerados em áreas de rodovias conturbadas;
2. Propor um sistema que visa controlar o escoamento de drenagem superficial;
3. Apresentar metodologia de gestão para implementação da recuperação dos passivos ambientais existentes em rodovias.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 IMPORTÂNCIA DAS RODOVIAS

O transporte surgiu na fase de organização humana conhecida como sociedade pré-industrial, pela necessidade de facilitar a distribuição do excedente alimentar. Como esse serviço era muito rudimentar, sua utilização no deslocamento de pessoas era inexpressiva, concentrando-se a elite da sociedade nos centros das cidades.

Com o advento da industrialização surgiu a máquina a vapor e os meios de transporte, passaram a atender deslocamentos mais extensos, devido ao aumento populacional. Como consequência natural, a população cresceu abrangendo áreas em torno das cidades, porém de forma bastante desordenada pela falta de planejamento, surgindo assim, problemas de difícil solução como congestionamento e intensidade do tráfego, tornando-se um dos principais agentes do processo de poluição ambiental.

No Brasil os incentivos ao transporte individual como o aumento do número de veículos leves e a transferência da carga de ferrovia, trouxeram incremento no número de veículos trafegando nas rodovias com consequências diretas na queda da qualidade ambiental (TOLEDO, 1981).

A eficiência e a integração entre diversos modais de transporte são fatores fundamentais para o crescimento econômico de uma nação, pois permite o deslocamento das pessoas, a acessibilidade à educação, à informação, à saúde, à comercialização de bens, à integração social e a criação de polos comerciais industriais e de lazer. Além de representar um fator positivo para a vida econômica dos países, a existência de transportes eficientes contribui para o bem estar dos cidadãos. Porém, os sistemas de transporte tão essenciais à sociedade moderna, com benefícios econômicos significativos para esta sociedade, trazem também impactos ao meio ambiente. Tanto empreendedores, quanto membros e grupos da sociedade organizada percebem a necessidade de se manter um equilíbrio entre o sistema de transporte e o meio ambiente. As discussões ambientais relativas à implantação e operação de sistemas de rodovias são bastante abrangentes, visto que cada rodovia tem suas próprias características e influenciam o meio ambiente de maneira especial.

A integração entre transporte, desenvolvimento econômico, qualidade vida e meio ambiente é uma tarefa árdua, porém significa desenvolvimento sustentável que foi paradigma da última década do século XX e continua a ser no século XXI.

Para avaliar a qualidade de vida de um indivíduo ou de uma sociedade, vários parâmetros referentes à saúde, vestuário, educação, habitação, oportunidade de trabalho, profissionalização, distribuição da população, lazer, segurança, tranquilidade, ambiente comunitário, recreação, satisfação espiritual, participação na vida no país, realização pessoal e liberdade de expressão, devem ser observados e necessariamente estão interligados através da infra estrutura viária a serviço da sociedade. Pode-se afirmar que o transporte é o direito que viabiliza todos os demais direitos do cidadão, conseqüentemente também é o que mais depende e impacta o meio ambiente (SÁNCHEZ, 2006).

Na Europa, a rede viária do Império Romano marca seu início de sua construção antes do século 4a.c. e, no final do século 1a.c. já haviam sido construídos mais de 100.0000 km de vias (NARDO, 2000). As vias eram utilizadas para o transporte de pessoas e produtos utilizando-se animais e charretes. Estas foram as primeiras vias construídas utilizando-se conceitos e técnicas similares às que hoje ainda são aplicadas, tais como: obra de arte, drenagem e até mesmo sinalização. São obras tão importantes e duradouras que muitas delas são ainda parcialmente utilizadas em seu traçado, sendo atualmente objeto de várias pesquisas arqueológicas.

No Brasil, em particular no Estado de São Paulo, a Calçada do Lorena talvez seja a via pavimentada mais antiga, e que ainda encontra-se preservada em alguns de seus trechos. Conhecida como o Caminho do Mar que ligava a capital paulista ao porto de Santos, no século 18 foi ampliada e pavimentada com blocos de rocha para permitir a passagem de carroças visando à melhoria das condições de exportação. Esta obra possui importância histórica e também técnica, pois foi construída utilizando-se técnicas inovadoras para a época, como drenagem e estabilização de encosta (TOLEDO, 1981).

As rodovias transformam a paisagem local e regional. São estruturas que durante a operação e mesmo depois do seu encerramento, permanecem ao longo do tempo como elementos da paisagem. Na maior parte das vezes, após o encerramento da utilização e quando preservados, estes empreendimentos podem se tornar símbolos da história de uma sociedade.

A principal característica das rodovias é a grande extensão que percorrem e proporcionalmente, a estreita faixa de solo que ocupam.

Atualmente, são empreendimentos que promovem a ligação entre regiões afastadas que necessitam de comunicação, seja pela necessidade de transporte de pessoas, abastecimento ou outros. A implantação de uma rodovia apresenta uma série de impactos socioambientais positivos que não são alvos de discussão desta pesquisa, tais como: (descrever

3.2 IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO PELAS RODOVIAS

A construção de uma rodovia de alguma forma sempre altera as condições ambientais do meio físico, biótico, antrópico e socioeconômico. As rodovias, devido à sua grande extensão, geralmente atravessam áreas ambientais construídas por diferentes formações geológicas, formas geomorfológicas, tipos de solos, florestas, grupos de faunas, rios, córregos, lagos, manguezais, talwegues de drenagem, bacias hidrográficas, ou seja, diferentes ambientes são interceptados.

Quando há implantação de uma rodovia, estes ambientes são modificados e sempre sofrem algum tipo de impacto ambiental. Ocorrem no meio biótico devido à supressão de vegetação, interferência em diferentes habitats, impactos sobre o meio socioeconômico, de diferentes naturezas, devido à interferência junto a população que reside lindeiramente ao empreendimento. Neste estudo são abordados apenas os impactos ambientais negativos relacionados ao meio físico e suas relações.

O impacto ambiental no meio físico tem início quando a rodovia é implantada em área onde não existe ação do homem, ou seja, a primeira intervenção é o desmatamento da faixa de obra (off set) e de seus acessos, que gera a exposição do solo, e na sequência, uma série de outras intervenções são realizadas, tais como: escavação em solo, corte em rochas, aterros, desvios das drenagens naturais, barramento de rios, impermeabilização, construção de obras de arte, fundações, túneis, etc., cada uma associada a algum tipo de impacto.

Santos (1994) definem que a Geologia de Engenharia é fundamental em três conceitos básicos: natureza em continuo movimento, sentido do equilíbrio e a composição das características físicas dos diferentes materiais.

Em relação ao meio físico, os principais impactos ambientais negativos relacionados à implantação e operação de uma rodovia são provenientes da ação de processos superficiais, tais como: erosão, movimentos, gravitacionais de massa, assoreamento, recalques e colapsos; além de impactos relacionados à alteração da

qualidade das águas superficiais e subterrânea (FOGLIATTI; FILIPPO e GOUDARD, 2004). Os mesmos autores descrevem que os maiores impactos decorrentes de um empreendimento rodoviário ocorrem durante a sua implantação, porém, os impactos decorrentes da operação tendem a permanecer por um período maior, tornando-se muitas vezes mais significativos.

As transformações no ambiente decorrentes da implantação de uma rodovia são incisivas, no entanto, ao longo do tempo são incorporadas pelo meio, retornando a uma situação de equilíbrio ou não. Segundo Santos (1994) “a natureza está sempre em busca do equilíbrio” e, neste sentido é que após as transformações impostas pela sua construção e operação, as obras rodoviárias permanecem como um novo elemento do meio ambiente ao longo do tempo.

No entanto, a busca do equilíbrio é constante e não possui limite no tempo, fazendo com que os impactos decorrentes destes empreendimentos, relacionados aos processos do meio físico sejam agravados, gerados ou até mesmo estabilizados durante a sua fase de operação. A dinâmica dos processos do meio físico relacionado a um empreendimento rodoviário depende de vários fatores, tais como: ambiente, projeto, método construtivo, manutenção da vida e das medidas preventivas e de controle adotados (FORNASARI FILHO et al., 1992). A estabilização destes processos e a obtenção do desejável equilíbrio serão obtidas por meio de ações planejadas e concretas que possibilitem a elaboração de projetos adequados, implantação de medidas de prevenção, realização de Manutenção e monitoramento das áreas.

A situação mais próxima do equilíbrio com relação aos processos do meio físico e consequente otimização de condições ambientais pode ser calculada por meio da implantação de instrumentos de gerenciamento ambiental - IGA, que proporcionarão a minimização de impactos ambientais (BITA & ORTEGA, 1998). Obviamente que tais instrumentos aplicados em todas as fases do empreendimento (concepção, implantação, operação e desativação), baseado em estudos de impacto ambiental, proporcionarão a adoção de programas e medidas que irão minimizar os impactos ambientais do empreendimento como um todo, gerando assim o sistema de gestão ambiental rodoviário.

No entanto, a maioria das rodovias foi implantada anteriormente à Resolução CONAMA 237/97, que regulamenta o sistema de licenciamento Ambiental de empreendimentos no Brasil e considera conceitos de gestão ambiental, e que define as competências e os tipos de atividades que devem estar submetidas aos processos de licenciamento ambiental.

Segundo a resolução CONAMA 01/86, anterior à resolução 237/97 e que define os tipos de empreendimentos sujeitos à apresentação de estudo de impacto ambiental, estava apresentado no seu artigo 2º item I “Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento”. Desta forma, isentando-se as rodovias concedidas à iniciativa privada, a maioria das rodovias do país encontra-se “irregular” perante a legislação ambiental.

Em cada uma das quatro etapas em que um projeto pode ser dividido, quais sejam: planejamento, projeto, construção e operação, os diferentes constituintes do meio ambiente são impactados em maior ou menor grau, em função do tipo e do porte do projeto de transporte que se deseja implantar, bem como em função das características ambientais da região na qual o mesmo irá ser inserido.

A primeira etapa de planejamento abrange estudos de localização e de mercado, análise de viabilidade técnica e econômica e avaliação de políticas sociais que geram expectativas principalmente no meio socioeconômico, pois a simples idéia de que um determinado projeto possa ser criado, pode induzir o desenvolvimento de movimentos migratórios, alterações do mercado imobiliário e reações de grupos e entidades organizadas da sociedade civil.

A seguir e para alternativa do projeto em estudo, elabora-se detalhamento da mesma. Nesta etapa de projeto são fortalecidas algumas expectativas criadas na fase de planejamento, acelerando as suas implicações e causando impactos no meio socioeconômico, sendo considerada como a que mais impacta no meio físico pela realização de obras que provocam alterações nas águas, no solo, no ar e na paisagem. O meio biótipo pode ser impactado devido à utilização de técnicas construtivas, por vez agressiva e inadequada a certos ecossistemas.

Na entrada em operação de uma rodovia, poderão ter tantos impactos que foram previstos nas fases de planejamento e projeto, como impactos imprevistos, cabendo a partir daí o monitoramento e o controle dos mesmos. Os impactos decorrentes das operações rodoviárias são em geral com menor grau de significância dos que na fase de implantação da mesma. As transformações impostas ao meio ambiente não são tão drásticas, já que muitos conflitos foram previamente equacionados total ou parcialmente.

Entretanto, os impactos decorrentes da operação rodoviária atingem nas respectivas áreas de influência a sua maior proporção, pois são impactos muitas vezes irreversíveis, isto é, que continuarão ocorrendo durante toda a vida útil do projeto.

Dentre estes impactos destaca-se aqueles provocados pelas atividades relacionadas com os serviços de conservação, manutenção e intervenções das vias, com o reordenamento do tráfego e muitas vezes a queda de prioridade imposta a drenagem de superfície e a faixa de domínio, gerando um efeito de borda junto a população lindeira ao empreendimento.

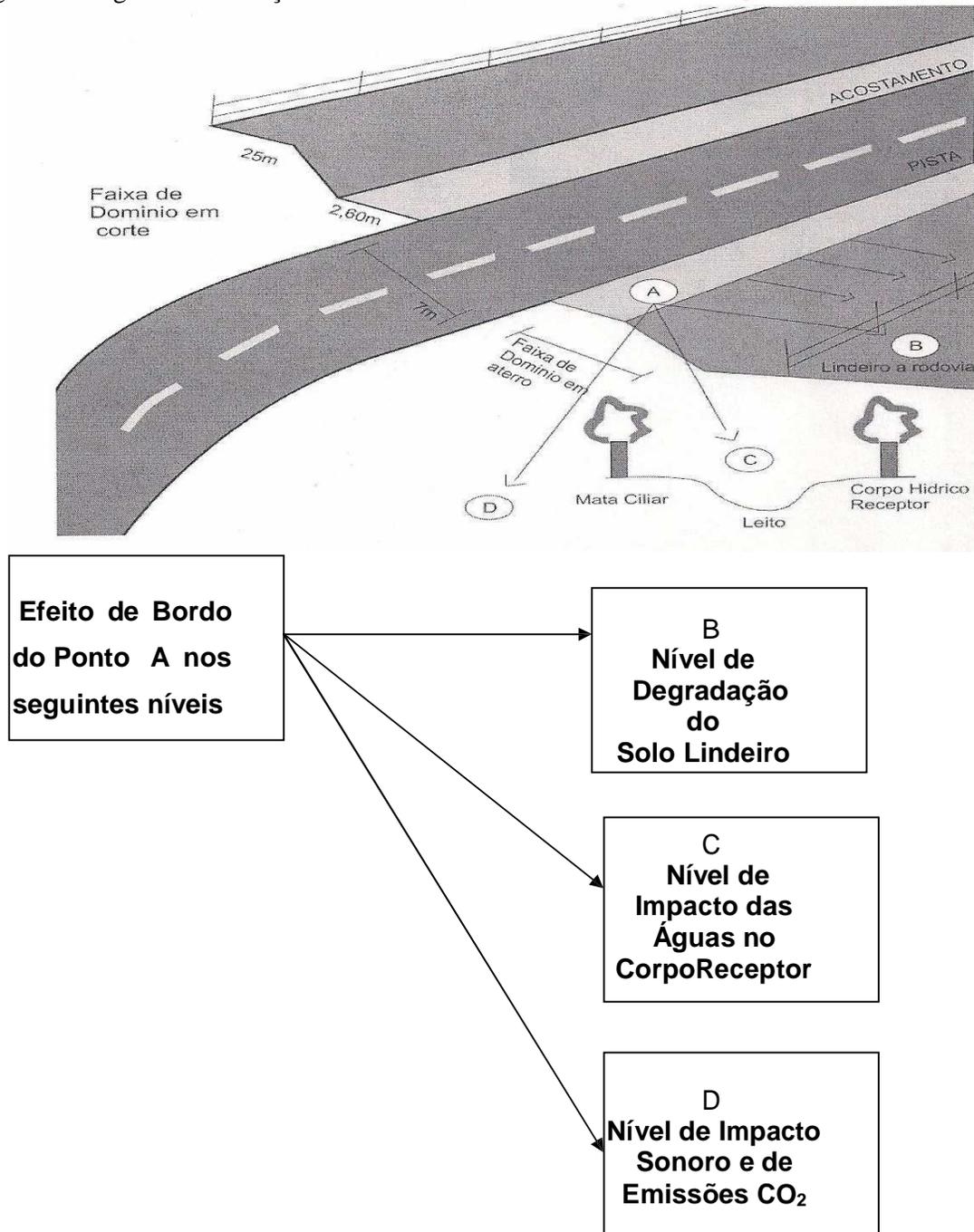
Estes impactos são levantados de acordo com as técnicas mais apropriadas, onde resulta nas medidas que irão minimizar estas ações antrópicas, porém existe um espaço próprio de onde a função rodoviária se materializa que é a pista de rolamento composta pela capa asfáltica, pelo acostamento pela drenagem superficial e uma faixa remanescente do solo originalmente existente quando da desapropriação, que denomina-se “Faixa de Domínio” onde processa todo o efeito de bordo com a linha determinante dos lindeiros da rodovia.

Existe um espaço físico e cultural no corpo estradal que é a faixa de domínio onde se processa a transição do planejado e executado, com a realidade de toda a biodiversidade ali antes existentes que transmitem e potencializa os impactos previstos e não previstos que são contidos nas áreas de influência rodoviária.

Neste espaço têm-se movimentos com o solo, tem-se alteração na flora e no revestimento vegetal, conseqüentemente interferências nos campos hídricos, criações de novas paisagens sociais, perturbações na fauna, imposições sonoras, aonde a medida do crescimento populacional e as necessidades da economia, vão processando de forma muito significativa e impactante, todos os recursos ambientais e até mesmo o próprio meio ambiente rodoviário passa a sofrer uma pressão anormal resultando assim em pressões ambientais, tais como: erosões, assoreamentos, poluição sonora e visuais e atropelamento da fauna.

Na Figura 01 apresenta-se um diagrama das relações rodoviárias e o meio ambiente, podendo ser observado a relação da faixa de domínio da rodovia com o solo lindeiro, com o corpo receptor e com a população residente nas proximidades.

Figura 1. Diagrama das relações rodoviárias e o meio ambiente.



Estas relações com o meio ambiente sob ponto de vista físico podem até ser recuperada com a realização de controles e técnicas de combate á erosão, ao assoreamento, aos impactos da drenagem, a revegetação de terraplanos, porém sem estabelecer um sistema que elimine este efeito de bordo o meio biótico sofre uma pressão onde poderão ocorrer extinções de espécies, perda de diversificação genética, desfloramentos, doenças etc. que são problemas irreversíveis, porém podem ser previstos e reduzidos.

Entre estas relações a que mais importa níveis dos impactos é a Drenagem, que são obras com finalidade de conduzir as águas superficiais ou subterrâneas quando fluxo natural delas recebe as intervenções rodoviárias, como a abertura de acessos das estradas de serviços, cortes e aterros para implantação do traçado rodoviário, desmatamentos e supressões na faixa de domínio que afetam a ocupação e uso do solo e criam obstáculos e interrupções do escoamento espontâneo e normal das águas (DER – 1996 e Sé – 1996).

Podem ser usadas sarjetas, valetas de proteção, drenos, camadas drenantes e outras soluções para a proteção da superfície exposta da rodovia, indo até o limite da área delimitada pela faixa de domínio.

Assim, conforme apresentado na Figura 01, há uma concepção de impacto até a faixa de domínio ou até a área de influência, porém não é comum existirem técnicas e controles com enfoque ambientais sendo projetada além desta faixa indo de encontro com o solo lindeiro, testemunha viva da biodiversidade um dia ali existente.

Após a conclusão das obras de implantação e a desmobilização de canteiros e usinas, (asfalto e concreto) mais precisamente quando for efetivada a liberação do corpo estradal aos usuários, com a obtenção da Licença de Operação, entra uma fase de operação cuja rodovia passa a receber as atividades de conservação e manutenção e são classificadas em quatro tipos, sendo estes:

- 1 – Conservação de Rotina;
- 2 – Conservação de Emergência;
- 3 – Conservação Especial;
- 4 – Tráfego.

Na conservação de rotina são executados os serviços com padrões e níveis pré-estabelecidos visando manter a rodovia nas condições originais em que foram construídas, principalmente no que se refere ao controle das erosões, limpeza e

manutenção da vegetação da faixa de domínio, manutenção do pavimento e da rede de drenagem.

A conservação de emergência atende os serviços provocados por uma calamidade que danificou a rodovia, visando reparar, repor, reconstruir ou restaurar as condições normais das obras de arte, estruturas ou trechos rodoviários.

Os serviços e obras necessários para preservar o investimento inicial, ampliações ou construções de sistemas de drenagem, e obras de controle preventivo de erosões ou deslizamento de encostas estão agrupados em Conservação Especial, que vem muito a ter com esta relação rodovia – meio ambiente, pois para preservar o investimento inicial, também tem-se que preservar os impactos previstos inicialmente ou colocar técnicas que minimizem a extensão destes impactos ou preservando sua não propagação além da faixa de domínio e também mantendo e preservando a área lindeira com o mesmo objetivo do investimento inicial do empreendimento, só que com a responsabilidade socioambiental junto ao efeito de bordo da rodovia perante seus usuários e lindeiros.

Como os impactos decorrentes da drenagem são muitos próximos dos impactos da fase de implantação e da manutenção dos sistemas de drenagem bueiros, sarjetas, decidas de água, caixas de passagens, exigem vistorias periódicas e mais frequentes em períodos chuvosos, objetivando a prevenção contra o assoreamento e o entupimento por resíduos sólidos, sente-se a necessidade de implantar medidas ambientais justamente para neutralizar e combater a propagação destes impactos nas áreas de preservação permanente a ao longo dos lindeiros rodoviários (BELLA; RIDONE, 1993). Estas medidas são:

- Setor Água:

a) Controle da Drenagem Superficial e Técnicas de Condução

b) Redutores de Velocidade das Águas;

c) Sistema de Acoplamento com do Corpo Hídrico - Caixa Difusa;

- Setor Solo:

a) Condomínios Florestais de Espécies Nativas junto as APP; Faixa de Domínio.

- Setor Ar:

a) Plantio de módulos florestais para compensação das emissões de O₂.

Este conjunto de Técnicas para a Conservação Especial em rodovias que farão parte integrante da descrição das observações a partir da faixa de domínio estabelecendo relações entre variáveis e a coleta de dados local sempre com a preocupação central de identificar os fatores e como neutralizar as ocorrências no campo ambiental.

3.2.1 Fases do Projeto e o Ambiente Construído

A construção de uma rodovia de alguma forma sempre altera as paisagens com as ações impactantes no meio físico, biótico e antrópico. As rodovias, devido á sua grande extensão, geralmente atravessam diversos ambientes formados por várias formações geológicas, formas geomorfológicas, tipos de solo, florestas, grupos de faunas, rios, córregos, lagos, manguezais, talvegues de drenagem, bacias hidrográficas, ou seja, diferentes ambientes e paisagens são interceptadas.

Na fase de planejamento onde se elabora o projeto, divulga o empreendimento e processa a licitação com contratação das obras, temos então a implantação do empreendimento rodoviário. Pode-se agrupar esta fase em: 1) mobilização de recursos, liberação de área física de trabalho, estruturas de apoio; 2) execução da terraplanagem, obras de artes especiais e correntes, túneis, obras de contenção, pavimentação sinalização e obras complementares; 3) Circulação de veículos de passeio e carga, controle de operação, conservação rodoviária.

Nestas 3 fases citadas há a natureza do impacto respectivamente no meio físico, biótico e antrópico relacionado em impacto positivo, negativo e positivo-negativo acompanhado de sua significância (Sánchez 2006).

Quando há implantação da rodovia temos impacto no meio físico de alteração do sistema de drenagem e na bacia hídrica, erosão e assoreamento, alteração da qualidade da água, emissões de ruído e vibrações, alteração da qualidade do ar; e no meio biótico a perda e fragmentação da vegetação, influência em áreas de preservação permanente, alteração nos habitats e corredores faunísticos, interferências em unidades de conservação. Junto destes impactos no meio físico da alteração do sistema de drenagem e na micro bacia hidrográfica, e no meio biótico com a perda e fragmentação da vegetação e interferências em APP, pode-se acrescentar que no meio antrópico os efeitos sequenciais da relocação compulsória dos lindeiros e suas atividades motivados pelos incômodos das atividades de implantação que irão migrar para a fase da operação rodoviária.

Necessário citar que antes da implantação da rodovia existia na paisagem original toda baseada em uma biodiversidade local que recebe um desequilíbrio constante na fase de operação e conservação rodoviária onde a ação do homem fica mais latente e onde tem-se que implementar técnicas mitigadoras destes impactos para uma procura da melhoria desta biodiversidade impactada.

Santos (1994) cita “a natureza para ser comandada precisa ser observada”, expressão que revela a maravilhosa capacidade de percepção e síntese própria dos sábios, pode-se entendê-la como a própria essência da Geologia de Engenharia, no campo rodoviário. Para o atendimento de suas necessidades (energia, transporte, alimentação, moradia, segurança física, comunicação) o Homem é inexoravelmente levado a aproveitar uma série de recursos naturais (água, petróleo, minérios, energia hidráulica, solos) e ocupar e modificar espaços naturais das formas cidades, agricultura, indústria, usinas, vias de transportes, portos canais, disposição de resíduos, o que já o transforma no mais poderoso agente geológico hoje atuante na superfície do planeta.

Em relação ao meio físico e meio biótico onde se verifica que a natureza deve ser obedecida, entendida e absorve-las nas atitudes comportamentais e nas soluções de engenharia de tal forma que as ações humanas dessa ordem sejam inteligentes, exitosas e provedoras da qualidade de vida para o solo; para esta geração e para as futuras, ou seja, sustentáveis. Assim os processos de erosão assoreamento, movimentos gravitacionais de massa, recalques colapsos, vão resultar em impactos diretamente na bacia hídrica com fortes alterações na quantidade e na qualidade das águas tanto superficiais como subterrâneas (FOGLIATTI, et al, 2004). Os mesmos autores indicam que nos resultados da matriz de identificação de impactos os maiores estão na fase da implantação, porém os impactos decorrentes da operação tendem a permanecer por um período maior, tornando-se muitas vezes mais significativos.

A IAEG – International Association For Engineering Geology and the Environment, refletindo o crescimento exponencial dos problemas ambientais em todo o mundo, lançou em 1992 sua conceituação epistemológica oficial para os estudos da geologia de engenharia e que também já faz parte do estatuto da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental: “Geologia de Engenharia é a ciência dedicada a investigação, estudo, e solução dos problemas de engenharia e meio ambiente decorrente da interação entre as obras e atividades do Homem e o meio físico, assim como ao prognóstico e ao desenvolvimento de medidas preventivas a reparadoras de danos geológicos e suas consequências”. De forma concisa, pode-se entender a geologia de Engenharia como a geociência aplicada responsável pelo domínio tecnológico da interface entre a atividade humana e o meio físico geológico.

O ambiente construído é o resultado da intervenção humana no mundo físico natural. É onde lugares com diferentes características e identidades são criados e os meios para mantê-los funcionais e interdependentes são estabelecidos. Inclui tudo o que é construído – todos os tipos de construções casa, escritórios, fabricas, escolas e igrejas, junto com trabalhos de engenharia pesada como estações de tratamento, cisternas de gerenciamentos de águas pluviais, rodovias e ferrovias, instalações de geração de energia, pontes, túneis,

portos (SCOTTISH ARCHITETURE, 2005). Claramente, o ambiente construído inclui a recreação dos habitats naturais por meio das paisagens e estes habitats são geralmente, áreas externas que incluem pátios, parques, jardins, fazendas, áreas alagadas, lagos e outros espaços verdes entrecortados por vias, estradas e rodovias.

A variedade e o âmbito do ambiente construído estão organizados em seis componentes inter-relacionados: produto, interiores, estruturas, paisagens, cidades e regiões onde a soma dos seis componentes define o alcance do ambiente construído total. As construções e infraestrutura de ligação onde os ambientes são regiões onde cidades e paisagens são agrupadas e definidas pela unidade da bacia hidrográfica.

Exemplificando o legado de um ambiente construído dos Estados Unidos inclui 4,6 milhões de construções comerciais e 101,5 milhões de casas; 425 mil sítios subutilizados e 61 mil milhas quadradas (\cong 158 mil Km²) de estradas, vias e rodovias (ENVIRONMENTAL BUILDING NEW, 2001; BROWN, 2001).

O ambiente construído apresenta muitos desafios para os processos e sistemas ecológicos naturais. Uma forma de considerá-las é pensar sobre os padrões do ambiente construído como nós e corredores. Os nós podem ser considerados os núcleos industriais que são cidades maiores ou menores, vilarejos e áreas industriais e comerciais autônomas. Para que funções econômicas e sociais aconteçam nesses nós ou núcleos urbanos, eles devem ser conectados por corredores de transporte e serviços.

Da mesma forma os padrões do ambiente natural também podem ser compreendidos como os conceitos de nós e corredores. Assim os primeiros seriam grandes campos, florestas, áreas importantes de recarga de águas subterrâneas e de proteção de nascentes, áreas alagadas, correntes e lagos. Para esses núcleos naturais se apoiarem os processos naturais e funcionarem de forma ecologicamente adequada, eles devem estar conectados a corredores para o escoamento e transporte de água, nutrientes e de várias espécies de plantas e animais.

Como o ambiente construído se aproveita do ambiente natural, o hábitat torna-se fragmentado, levando á perda da biodiversidade e á redução da capacidade de recarga da água. O ambiente construído depende do ambiente natural para armazenar e assimilar micronutrientes, purificar a água e fornecer recursos naturais para a construção, operação e manutenção. Exemplificando mostra-se que a preservação das áreas alagadas em um ambiente urbano, pode reduzir a carga de nitrogênio para uma bacia urbana. Esse novo entendimento dos impactos e da dependência do ambiente constituído dos sistemas naturais, bem como da saúde e bem estar humano, esta levando a um novo paradigma de

desenvolvimento que considera esses fatores, além do projeto para as necessidades e atividades humanas.

O termo projeto em função do contexto foi inicialmente usado em projetos de transportes mais especificamente em rodovias. A mudança de projeto tradicional para projeto em função do contexto começou nos anos 1990 (National Research Council, 2005). A administração de Estradas de Rodagem de Maryland (Maryland State Highway Administration, 1998) fornece a seguinte definição: O projeto em função do contexto primeiro faz perguntas sobre a necessidade e o propósito do projeto de transporte e depois contempla igualmente segurança, mobilidade e preservação dos valores cênicos, estéticos, históricos, ambientais e outros valores da comunidade.

De forma semelhante, o Departamento de Transporte de Minnesota (Minnesota Department of Transportation, 2007) define o projeto em função do contexto como “o equilíbrio e a implementação simultâneos dos objetivos de segurança e mobilidade com a preservação e melhora dos valores estéticos, cênicos, históricos, culturais, ambientais e comunitários nos projetos de transportes”.

Embora existam diferentes definições, o projeto em função do contexto garante que os projetos não sejam apenas funcionais e de custo eficiente com os ambientes natural, social e cultural. Através da Tabela 1 pode-se comparar os critérios usados tanto para projetos tradicionais como em função do contexto. Os critérios que protegem elementos históricos e culturais, ainda que minimizem alguns impactos ambientais, não são os objetivos principais do projeto tradicional embora tenha sido considerado.

Nestes os engenheiros tendiam a pensar nos atributos históricos, culturais, sociais e ambientais como um inconveniente e como algo a se sobrepujar durante o processo de permissão.

No projeto em função do contexto, tais critérios são tratados como objetivos principais e são melhorados junto com os critérios tradicionais. Portanto o projeto em função do contexto reconhece que a proteção de elementos culturais e históricos, bem como de espaços abertos e selvagens, tem benefícios sociais e econômicos diretos e indiretos para os seres humanos e para a comunidade em que vivem.

Tabela 1. Comparação de Critérios Usados para Projetos Rodoviários

Projeto Tradicional	Projeto Sensível ao Contexto
Minimiza Custos Maximiza Capacidade Maximiza Segurança	Protege elementos históricos Protege elementos culturais Protege particularidade da comunidade Maximiza a estética visual Minimiza impactos ambientais Maximiza benefícios econômicos Incorpora valores da comunidade local Protege fortemente a biodiversidade Fornece habitats para a vida selvagem

As partes interessadas comprometidas levantarão importantes questões que devem ser incorporadas nas decisões de projeto. Por exemplo, o impacto da infraestrutura de transporte na fragmentação do habitat da vida selvagem é uma questão consistentemente levantada pelos envolvidos, porque afeta inúmeros processos ecológicos e hidrológicos atravessando muitas escalas temporais e espaciais. A vida selvagem também fornece muitos benefícios recreacionais e econômicos ao público. Como resultado, a mitigação baseada no ecossistema é proposta como estratégia para incorporar considerações ecológicas em projeto de transporte.

Estruturas para travessias de animais selvagens e galerias de águas pluviais projetados adequadamente são componentes comuns do projeto em função do contexto que protegem a conectividade do habitat. Corredores de vida selvagem são faixas de terra natural que conectam o habitat selvagem da fragmentação. Eles ajudam a reduzir os efeitos negativos da fragmentação do habitat e podem promover a diversidade de espécies (DAMSCHEL et al, 2006) e afetar espécies variadas como pássaros, peixes, lobos, borboletas, etc.

Entretanto, os impactos decorrentes da fase de operação rodoviária atingem as áreas de influência da rodovia, acrescidos da consolidação dos impactos da fase de implantação realçando suas magnitudes ou significâncias, muitas vezes irreversíveis e propagadas através da faixa de domínio aos lindeiros e em ações difusas nos campos hídricas receptores que compõe as Áreas de Preservação Permanentes e a bacia hidrográfica local.

Estas magnitudes propagadas são distribuídas em categoria alta, média e média/baixa, nos impactos de alteração do sistema de drenagem, na erosão e assoreamento,

na qualidade das águas, na contaminação do solo, na qualidade do ar, nas emissões de vibrações sonoras tornando a faixa de domínio em embolo indutor de efeito de bordo com estes impactos para os lindeiros do sistema rodoviário.

Assim, conforme apresentado na Figura 02, há uma concepção de impacto até a faixa de domínio, porém a difusão que passa pela área de influência não é mais contemplada pela matriz de identificação de impactos rodoviários, não é comum existirem técnicas e controles com enfoque ambiental projetado e implantado além da faixa de domínio, preservando o solo lindeiro, testemunha viva da biodiversidade um dia ali existente.

3.2.2 Interações Bióticas e Abióticas na Paisagem Rodoviária

O presente capítulo tem por objetivo apresentar elementos para o entendimento de como a alteração antrópica da paisagem rodoviária pode afetar o ciclo hidrológico, os processos ecológicos e os serviços ambientais proporcionado pelos ecossistemas, que são fundamentais para a manutenção da vida. Espera-se também, contribuir para a análise consistente dos possíveis impactos ambientais resultantes do uso dos recursos naturais e da alteração da paisagem, fornecer elementos para o estabelecimento de estratégias sustentáveis de manejo e uso, bem como de medidas e ações corretivas ou de minimização de impactos ambientais rodoviários.

As discussões sobre a relação entre a floresta e o ciclo hidrográfico, incluindo aqui a influência sobre o escoamento dos rios e riachos, a proteção de mananciais, o eventual efeito sobre as chuvas e, enfim, seu papel na regulação climática é bastante antigo, controversas, recorrentes e ainda não totalmente resolvidas.

Por exemplo, o possível efeito das florestas sobre as chuvas, forte componente do folclore criado em torno das interações entre a floresta e a água (ANDRESSIAN, 2004), embora tenha sido objeto de algumas tentativas de verificação experimental no passado, há muito tempo foi descartado pela ciência, conforme colocado por Hewlett (1967), quando relator da sessão “Floresta e Precipitação” do Simpósio Internacional de Hidrologia Florestal realizado nos Estados Unidos em 1965.

Os participantes, aparentemente, concordam com as conclusões de Penman (1963), de que na ausência de dados científicos convincentes deve-se considerar que a mera presença da floresta em um dado local não afeta necessariamente a ocorrência de chuvas nessa área.

Trabalhos recentes, todavia, vêm acumulando evidências suficientes para mostrar que a histórica suposição popular de que as florestas atraem as chuvas foi, aparentemente, desprezada muito cedo pela ciência (VAN DIJK & KEENAN, 2007).

Outro aspecto histórico muito interessante reside na semelhança entre o raciocínio leigo da antiguidade com o enfoque de estudos modernos sobre as relações. Em 1801, por exemplo, o livro *Harmonia Hidrovegetal*, de autoria de Rauch, 1801 (APUD ANDRESSIAN, 2004) descreve que a “*floresta pode ser considerada como sifão localizado entre as nuvens e a superfície terrestre, atraindo as chuvas sobre elas para alimentar as nascentes e o escoamento dos riachos*”. Evidentemente, devido às dificuldades inerentes de poder ser comprovada de modo experimental, esta afirmação faria sempre parte da crença popular. Todavia, evidências baseadas não na comprovação experimental dessa possível atração, mas sim na análise indireta de mecanismos físicos da dinâmica da atmosfera, mostram que as florestas naturais podem sim ser responsáveis por um processo de bombeamento biótico da umidade atmosférica, ou seja, de atração das chuvas (MAKARIEVA & GORSHKOV, 2007).

Essas evidências ademais de sua importância inerente para o avanço do conhecimento e para a solução da polémica histórica, podem, resolver outro paradoxo histórico nas relações entre a floresta e a água. Trata-se de um fato conhecido de que a floresta é a superfície de maior evaporação, maior do que todos os demais tipos de vegetação, e também maior do que a evaporação de uma superfície líquida. Na escala terrestre de uma bacia hidrográfica, a Equação 1 do balanço hídrico pode se resumir a:

$$P = E + Q \quad \text{Equação - 1}$$

P: precipitação; E: evaporação; Q: escoamento gravitacional.

Ora, se a floresta apresenta alta taxa de evaporação, então o que se espera é que o escoamento gravitacional (Q) deveria ser menor, pelo simples fato de satisfazer esta equação do balanço hídrico. Mas o que se observa, na realidade, é exatamente o contrário, ou seja, áreas com florestas apresentam, também, elevado escoamento gravitacional (vazão de riachos e rios) (NEARY et al 2009 CREED et al, 2011). Isso mostra que as florestas desempenham também outras funções importantes, além de maior evaporação, no controle da fase terrestre do ciclo da água, capazes de, no conjunto, fazer com que haja sempre água em abundância para atender as elevadas taxas de evaporação, armazenamento de água no solo e escoamento gravitacional.

Por essa mesma razão, desenvolveu-se no passado a crença de que as florestas aumentam a vazão dos rios, o que desencadeou controvérsia ainda maior. Bernardin de Saint Pierre, em seu livro *Estudos da Natureza*, publicado entre 1784 e 1788, propôs o reflorestamento das terras altas da França a fim de resgatar rios e riachos que secaram em consequência do desmatamento. Por outro lado, Belgrand, um famoso engenheiro civil francês, afirmava que “*a floresta diminui, ao invés de aumentar, a vazão dos rios*” (ANDREASSIAN, 2004).

Este debate data de mais de dois séculos atrás, mas não deixa de ser interessante observar que ele ainda perdura nos dias atuais, em que pese o acúmulo de resultados experimentais de estudos que se iniciaram por volta de 1900 e que deram início ao estabelecimento da ciência denominada Hidrologia Florestal, como ramo da Hidrologia que se preocupa com as relações entre a floresta e a água. Mais do que apenas produzir o embasamento científico para o esclarecimento do mito entre a floresta e a água, a Hidrologia Florestal, na realidade, desenvolveu ferramentas poderosas para o manejo racional dos recursos naturais. Todavia o que se observa é que o tema ainda é polêmico no mundo todo, principalmente no que diz respeito ao estabelecimento de políticas de conservação da água e de incentivo ao uso sustentável dos recursos naturais. Nesse sentido, a proteção dos remanescentes florestais e a restauração florestal continuam sendo a base de políticas públicas voltadas para a melhoria ambiental e a conservação da água, como se somente isso bastasse. Na realidade, essa percepção pública generalizada de que as florestas naturais, em todas as circunstâncias e em qualquer situação, são sempre benéficas para os recursos hídricos – no sentido de que elas fazem chover, aumentam a vazão dos rios, reduzem as enchentes e mantêm a qualidade da água – é questionável e deve dar lugar às evidências acumuladas da experimentação científica. Trata-se, na realidade, de uma relação muito mais complexa, cujos resultados esperados vão depender da interação de vários fatores e não apenas da presença ou ausência da floresta.

Outro aspecto interessante dessa controvertida relação entre floresta e a água diz respeito às plantações florestais, ou florestas plantadas. Desde seu advento, mas principalmente devido à expansão atual das áreas com plantações florestais no mundo todo, resultado do crescimento de sua importância econômica, a percepção generalizada é de que estas florestas plantadas, ao contrário das florestas naturais, seriam prejudiciais (e mesmo antagonicas) aos recursos hídricos. E os argumentos contidos nesse mito são mais ou menos uma repetição do debate histórico sobre a relação entre a floresta e a água, só que ao contrário, a começar pelo estigma da palavra “eucalipto”, tais como: plantações florestais “consomem muita água”, “secam o solo”, “suas raízes furam o lençol freático”, “inibem a formação de nuvens” ou “desestabilizam o ciclo hidrológico”. Da mesma forma, a opinião

generalizada de que as plantações florestais são sempre prejudiciais aos recursos hídricos não passa pelo escrutínio da experiência científica. É preciso analisar todo o contexto, já que os possíveis efeitos serão sempre decorrência de interações entre vários fatores, e não apenas resultado da presença ou ausência de plantações florestais. No caso da percepção de se estabelecerem plantios florestais para a recuperação de áreas degradadas, por exemplo, os resultados são realmente muito promissores em algumas situações, inclusive no que diz respeito ao retorno de serviços ambientais. Todavia, dependendo da extensão da degradação ou em situações em que o solo já perdeu sua resiliência ou capacidade de autorrenovação, os resultados serão nulos. Já no caso de plantações florestais em larga escala visando ao abastecimento industrial, a pressão da sociedade é frequentemente rebatida por aqueles que são responsáveis pelo seu manejo, com a alegação de que as florestas plantadas, em toda e qualquer circunstância e em qualquer situação, são benéficas para o meio ambiente. Na realidade, por se constituírem produto da engenharia humana, em termos de tecnologia silvicultural de formação e manejo de talhões homogêneos visando a maximizar a produtividade, os benefícios ambientais dependerão do plano de manejo. Tal plano deve garantir a interação dos plantios florestais com os demais elementos da paisagem e contribuir para a manutenção da biodiversidade e a proteção de áreas hidrologicamente sensíveis.

O que essa breve perspectiva histórica mostra é que a relação entre a floresta e o ciclo hidrológico é um tema antigo, polêmico, carregado de juízo de valor, recorrente e ainda não totalmente resolvido, a despeito de contar-se, atualmente, com enorme volume de evidências experimentais acumuladas. Por exemplo, a questão das mudanças climáticas é um dos problemas ambientais globais da atualidade, cujo enfrentamento está sendo baseado em diversas medidas, entre as quais o sequestro de carbono atmosférico. O reflorestamento, supostamente, contribui para a captura de CO_2 . Todavia, essa medida pode causar impactos sobre a disponibilidade de água se não for devidamente planejada (JACKSON et al, 2005). Evidentemente não se trata de um dilema, mas apenas de mais uma indicação de que a análise ambiental de ecossistemas terrestres, visando ao diagnóstico de possíveis impactos, assim como ao planejamento de medidas mitigadoras, deve ser feita a partir das interações bióticas e abióticas da paisagem, tendo como base as evidências disponíveis.

Por volta do ano de 1900, pesquisadores da Suíça conseguiram estabelecer uma modalidade experimental consistente para a obtenção de evidências sobre a relação entre a floresta e a água por meio da instalação de um par de microbacias experimentais na região de Bernese Emmental daquele país (MCCULLOCH & ROBINSON, 1993). O princípio experimental envolvido foi, na realidade, relativamente simples: duas microbacias adjacentes foram selecionadas de tal maneira a garantir similaridade em termos de tamanho

(área), morfologia, geologia e clima. Quanto ao uso da terra, neste experimento original uma delas estava inteiramente coberta por florestas, enquanto a outra possuía 69% de pastagem e 31% de floresta. Assim, a comparação dos componentes do balanço hídrico entre as duas microbacias pareadas, supostamente similar em todos esses fatores, menos o uso da terra, permitiria atribuir a diferença de balanço hídrico entre elas ao fator uso da terra, no caso, entre uma bacia totalmente florestada e a que continha pastagem. A validação estatística desta comparação é obtida pelo estabelecimento de um período pré-tratamento, referido como calibragem, visando a estabelecer um modelo de predição do comportamento de uma delas com base nos resultados obtidos na outra.

De acordo com **Andressian (2004)**, os primeiros trabalhos com microbacias experimentais foram realizados na França, por volta de 1860. De qualquer maneira, a despeito da disputa em torno da primazia desse método experimental, parece haver consenso de que o trabalho pioneiro nessa modalidade experimental foi o par de microbacias referidas como Whagon Whell Gap, localizadas nas montanhas do Colorado, Estado Unidos, cujos resultados foram publicados por Bates & Henry (1928). A partir desta publicação, a metodologia ganhou aceitação generalizada e diversos outros trabalhos similares foram estabelecidos no mundo, tendo permitido o acúmulo de informações valiosas para o entendimento das relações entre a floresta e o ciclo da água.

Muito do que se conhece hoje a respeito da relação entre a floresta e a água, ou sobre os impactos ambientais das atividades de manejo florestal, resultou do acúmulo desses estudos, como os efeitos do desmatamento e do reflorestamento sobre o balanço hídrico na escala da microbacia, sobre a erosão e a sedimentação dos cursos de água, os efeitos da adubação florestal sobre a qualidade da água e os efeitos do preparo do solo sobre as perdas por erosão.

Com o devido tempo, as pesquisas em microbacias experimentais proporcionaram o estabelecimento dos chamados princípios hidrológicos, os quais são essenciais para a correta interpretação dos efeitos das práticas de manejo, assim como o entendimento do funcionamento hidrológico das microbacias, que inclui, por exemplo, os mecanismos de geração do escoamento direto (o aumento repentino da vazão provocado pelas chuvas), por sua vez importante para o conhecimento que temos hoje sobre o ecossistema ripário.

Todavia, é precisamente este conceito atual e ecossistêmico da microbacia que mais de perto se relaciona com a estratégia de avaliação dos impactos ambientais. Como bem esclarecido por Swank & Johnson (1994), desde que o desenho experimental esteja adequadamente fundamentado em termos metodológicos, os impactos hidrológicos observados podem ser relacionados com seus fatores causativos, o que, sem dúvida, é

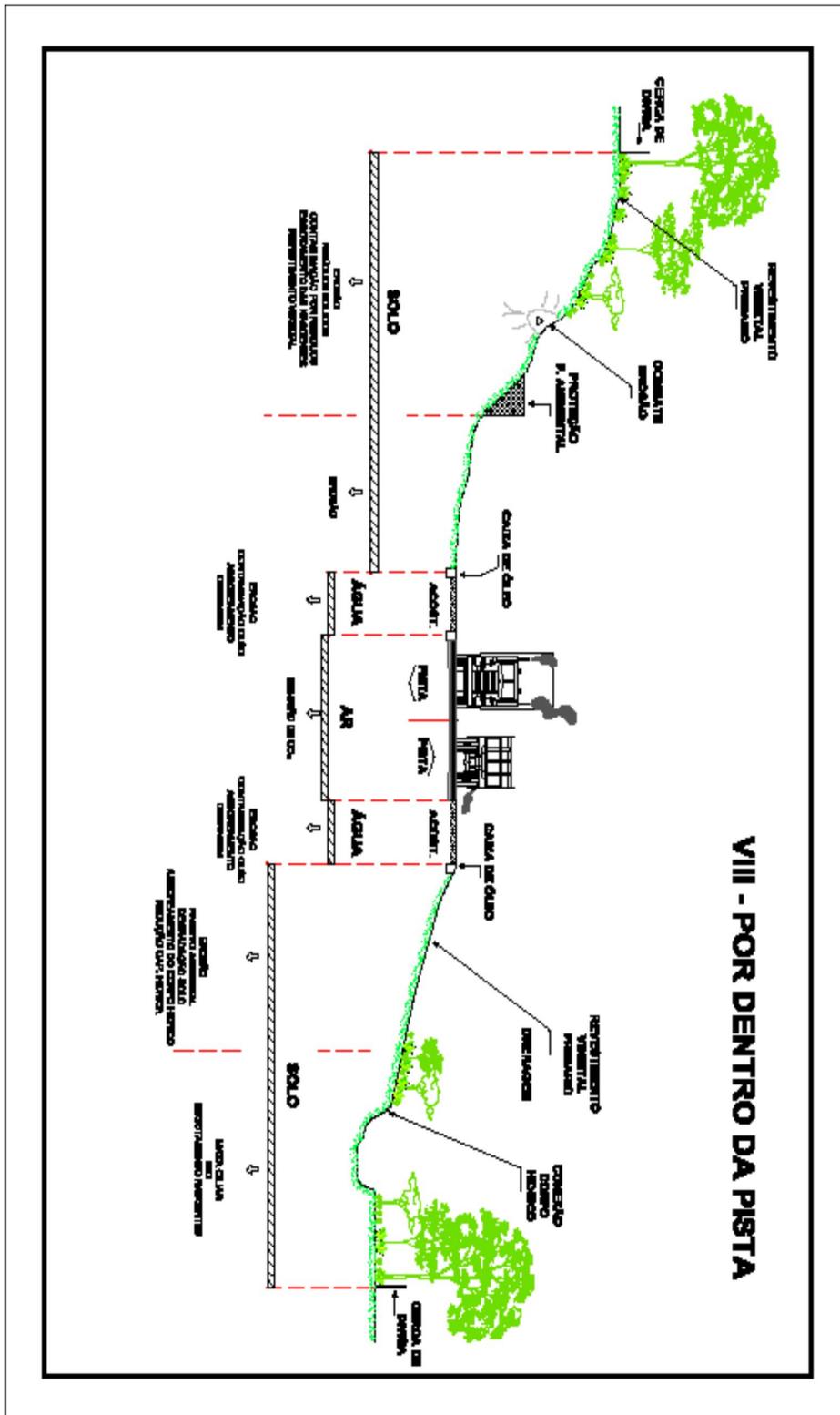
fundamental para o processo de previsão e extrapolação dos resultados, bem como para a melhoria das práticas de manejo (manejo adaptativo), conforme esquematizado na Figura 2:

Na figura 02 apresenta-se um diagrama das relações rodoviárias e o meio ambiente, podendo ser observado a relação da faixa de domínio rodoviária com o solo lindeiro, com o corpo hídrico receptor e com a população residente no entorno.

Estas relações da rodovia implantada e em operação do ponto de vista do meio físico e biótico indicam a difusão dos impactos no ponto A em seu efeito de bordo migrando com erosão, empobrecimento do solo original, desequilíbrio de micronutrientes; nível e impacto nas águas no corpo receptor - Área de Proteção Permanente e interferência na micro-bacia hidrográfica com aumento do nível de turbidez das águas, assoreamento da calha do receptor, estrangulamento da mata ciliar; impactos com vibrações sonoras nas áreas consolidadas do entorno e desequilíbrio na qualidade do ar com emissões de $[[CO]]_2$.

Entre estes impactos os mais significantes estão agrupados no meio físico com alteração do sistema original de drenagem, erosão, assoreamento, alterações no ar e na água, contaminantes do solo e no meio biótico com fragmentação e perda de vegetação, desequilíbrios em áreas de preservação permanente, alteração no habitat da fauna onde se procura difusamente da faixa de domínio rodoviária para a área lindeira (DER, 1996, SÉ, 1996).

Figura 2. Diagrama das relações rodoviárias e o meio ambiente.



Assim, conforme apresentado na Figura 02, há uma concepção de impacto até a faixa de domínio, porém a difusão que passa pela área de influência não é mais contemplada pela matriz de identificação de impactos rodoviários, não é comum existirem técnicas e controles com enfoque ambiental projetado e implantado além da faixa de domínio, preservando o solo lindeiro, testemunha viva da biodiversidade um dia ali existente.

HIDROLOGIA FLORESTAL - Calder (2007) sintetizou o conjunto de resultados obtidos desde os trabalhos pioneiros iniciados em 1900, de acordo com o que chamou de princípios estabelecidos ao longo do desenvolvimento da Hidrologia Florestal, a saber:

- A evapotranspiração de florestas é , em geral, maior do que a de vegetação de menor porte e de culturas agrícolas não irrigadas;

- A qualidade da água que emana de microbacias cobertas por florestas é geralmente boa. Todavia, práticas não sustentáveis de manejo florestal podem causar erosão, perdas de sedimentos e de nutrientes, contribuindo para gerar impactos a jusante, assim como a degradação hidrológica dos solos e, eventualmente, da própria microbacia;

- Na escala de microbacias, a cobertura florestal pode mitigar os efeitos de enchentes. Todavia, isso geralmente não ocorre na escala de bacias hidrográficas de maior porte; e

- Ainda não foi possível evidenciar efeitos benéficos da floresta sobre a vazão mínima, mesmo que se possa admitir, em tese, que a maior taxa de infiltração proporcionada pela floresta seja suficiente para contrabalancear o maior consumo de água, resultando em maior recarga do aquífero, o que contribuiria para manter a vazão mínima.

Com base em resultados obtidos em mais de 90 microbacias experimentais em várias partes do mundo, pode-se afirmar que o desmatamento diminui a evapotranspiração, o que resulta em uma quantidade maior de água disponível no solo e na vazão dos riachos. Por outro lado, o reflorestamento diminui a vazão na escala da microbacia. Muito importante, todavia, é o fato de que estes resultados variam de lugar para lugar e é, às vezes, imprevisíveis (BOSCH & HEWLETT, 1982; BROWN et al, 2005).

Outros trabalhos em microbacias experimentais também evidenciaram que as atividades de manejo florestal podem afetar o balanço hídrico e a qualidade da água, principalmente em termos da carga de sedimentos em suspensão e de nutrientes dissolvidos. A colheita florestal representa uma ruptura no processo natural de ciclagem de nutrientes, resultando, desta forma, em um aumento na concentração de nutrientes no deflúvio da microbacia, aumento esse que se mostra proporcional á intensidade do corte. O aumento na concentração de nutrientes na água, além de representar impacto sobre a qualidade da água a jusante, implica perdas do capital natural de nutrientes do solo, o que gera prejuízos para a produtividade florestal a médio e longo prazo.

Uma característica hidrológica que distingue uma microbacia é sua sensibilidade a chuvas de alta intensidade, o que resulta no aumento imediato da vazão causado pelo escoamento direto provocado pelas chuvas (hidrograma). Paralelamente a esta elevação da vazão durante e após uma chuva, ocorre também alteração na composição química da água. Em geral, o pH, a alcalinidade e a concentração de alguns nutrientes como cálcio, magnésio e sódio tendem a diminuir ao longo da fase de ascensão do hidrograma, enquanto a concentração do carbono orgânico, do potássio, do ferro e do alumínio tende a aumentar. Essas alterações têm a ver com a dinâmica das áreas ripárias da microbacia, que normalmente se expandem com o prolongamento das chuvas, e que desempenham papel crucial no processo de geração do escoamento direto nas microbacias. As alterações de curto prazo, desta maneira, são governadas por processos hidrológicos de superfície na escala das microbacias, incluindo as mudanças da cobertura vegetal. Já as variações de médio e longo prazo são influenciadas, predominantemente, por alterações gradativas que ocorrem nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

Dessa forma, a metodologia de microbacias experimentais acabou também sendo reconhecida como muito adequada para fornecer informações cruciais para o manejo racional dos recursos naturais (LIKENS, 1985; MCCULLOCH & ROBINSON, 1993; MOLDAN & CERNY, 1994; SWANK & JOHNSON, 1994). Além de constituir na escala natural de avaliação e conservação da água, a microbacia possibilita, também, que o monitoramento seja feito com base nos processos de funcionamento do ecossistema, em termos do ciclo hidrológico e do fluxo geoquímico de nutrientes. Outro aspecto importante dessa estratégia é o fato de possibilitar o estacionamento das relações de causa e efeito entre as práticas de manejo e os impactos hidrológicos (STEDNICK, 1996).

Conforme a definição de bacia hidrográfica é bastante simples e pode ser encontrada em inúmeros textos de hidrologia e geografia: área delimitada pelo divisor topográfico e que apresenta um sistema de drenagem bem definido. Mas, então, pode-se perguntar: o que isso tem a ver com a água e com o meio ambiente? Portanto, melhor do que apenas definir, talvez seja muito mais interessante discorrer conceitualmente sobre o papel das bacias hidrográficas no desenvolvimento sustentável.

Falar de bacia hidrográfica significa, basicamente, falar de água, na natureza. Parece uma conceituação simplista, ou mesmo nebulosa, do que vem a ser uma bacia hidrográfica, mas na realidade essa afirmação contém a essência mesmo do conceito, da origem e do seu funcionamento. As bacias hidrográficas foram formadas, na evolução do tempo geológico, pela interação das chuvas com a superfície, no sentido de desenvolver condições para o armazenamento e a drenagem da água das chuvas ao longo da paisagem. Assim, cada bacia

hidrográfica é única, pois é o resultado da interação do clima e da geologia ao longo do processo evolutivo de formação da paisagem.

A bacia hidrográfica constitui a manifestação bem definida de um sistema natural aberto e pode ser vista, assim, como a unidade ecossistêmica da paisagem, porque nela ocorre a integração dos ciclos naturais de energia, de nutrientes e, principalmente, da água. A bacia pode ser vista como uma condição singular e conveniente da definição espacial do ecossistema, dentro da qual é possível estudar e principalmente, medir os efeitos e as interações entre o uso da terra e a quantidade e a qualidade da água (FALKENMARK & FOLKE, 2002; TETZLAFF et al; 2007).

Existem as grandes bacias hidrográficas dos rios e as infinitas bacias de menor tamanho, as bacias dos ribeirões, assim como as chamadas microbacias dos riachos e córregos. A eficácia das medidas de restauração ambiental e revitalização dos rios decrescem das microbacias para as macrobacias. Ou seja, o foco de um programa de revitalização ambiental de um rio tem que estar voltado para as microbacias que o formam. Da mesma maneira, a eficácia das medidas de conservação de uma dada microbacia hidrográfica decresce da mata ciliar para a proteção da superfície mesma do solo. Em outras palavras, a restauração da mata ciliar nas microbacias é uma medida necessária, mas não suficiente para o alcance do objetivo de conservação da água. É preciso também estabelecer medidas que conservam o aparentemente mais insignificante, mas na realidade o mais importante de todos os processos hidrológicos de funcionamento das microbacias, que é a infiltração de água. Quando o solo se compacta, a infiltração da água diminui, afetando assim a recarga da água subterrânea.

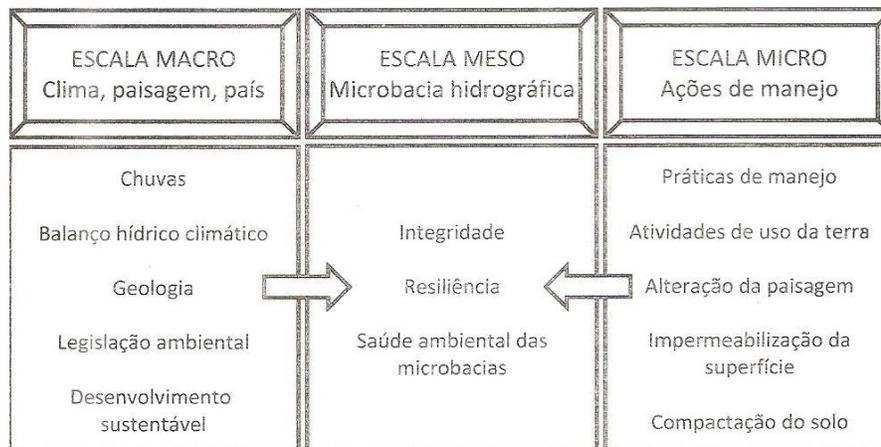
É na escala das microbacias hidrográficas que ocorrem as práticas de manejo – o homem planta, colhe, destrói, desmata, compacta o solo, constrói estradas ruins que atravessam áreas ripárias, pavimenta, impermeabiliza, sistematiza o terreno, soterra nascentes, põe fogo, ara, gradeia, faz monoculturas extensas, planta até na beira do riacho, às vezes até dentro da água, queima a mata ciliar, não cuida das pastagens, confina o gado em cima de áreas ripárias, constrói açudes, instala pivô central, irriga e aduba. Estas ações ocorrem na escala das propriedades rurais, onde estão também as microbacias hidrográficas. E é na escala das microbacias hidrográficas que o foco principal das práticas de manejo sustentável dos recursos hídricos tem que estar centrado, pois as microbacias são as grandes alimentadoras dos rios e dos grandes sistemas fluviais.

O conceito chave é o que se encontra embutido na expressão manejo integrado de microbacias, que significa o planejamento das ações de manejo (florestal, agrícola), resguardando os valores da microbacia hidrográfica, isto é, os processos hidrográficos, a ciclagem geoquímica de nutrientes, a biodiversidade, a proteção de suas partes

hidrológicamente sensíveis e sua resiliência. Um dos fatores mais importantes para a permanência desta capacidade é a integridade do ecossistema ripário, traduzido pela pujança da mata ciliar protegendo as áreas ripárias das microbacias, que não se limita aos 30m em ambas as margens dos cursos de água, mas incluem as cabeceiras de drenagem dos riachos, assim como outras partes da microbacia, às vezes situadas até mesmo na meia encosta, cuja característica principal é a permanência de condições saturadas de água na maior parte do tempo. É por isso que estas áreas são consideradas de preservação permanente, no sentido de que sua preservação em boas condições proporciona serviços ambientais importantes. Quando as microbacias perdem estas características naturais, elas se tornam vulneráveis a perturbações que, de outra forma, seriam normalmente absorvidas. É por isso que a água é o reflexo daquilo que se faz com a bacia hidrográfica. A escala maior do rio, da macrobacia hidrográfica, é o resultado final de tudo o que ocorre em escalas menores.

Os processos que determinam a sustentabilidade operam em várias escalas, e é fundamental que a conservação da água e do meio ambiente seja equacionada em todas essas escalas. Caso contrário, o resultado obtido será, sem dúvida, incompleto. A microbacia hidrográfica representa uma das escalas mais importantes para o alcance da conservação ambiental (Figura 3).

Figura 3. Ilustração das diferentes escalas da sustentabilidade ambiental na microbacia hidrográfica.



Fonte. Grul, adaptado por AROUCA, A.

A Figura 3 ilustra a incoerência, tão em alta nos tempos atuais, do conflito entre os assim chamados “ambientalistas” e “ruralistas”. Quando a legislação ambiental estabelece suas normas, como é o caso da proteção das Áreas de Preservação Permanente, o que ela busca, enquanto imposições legais que operam na escala macro, é manter a estabilidade hidrológica, a saúde ambiental e os serviços ambientais proporcionados por essa concisão. Mas, aparentemente do lado de cá, ou seja, na escala micro, as pessoas acham que com isso

elas vão “perder áreas produtivas” ou pagar por um crime que não cometeram. Trata-se de uma disputa insólita, que não leva a nada. Tampouco resolve afirmar que os “ambientalistas” são financiados por países ricos, que querem produzir e deixar a missão de proteção ambiental apenas para o Brasil. Assim, essa conceituação de bacias hidrográficas acaba também facilitando o entendimento das nossas dificuldades de encontrar o caminho da sustentabilidade.

O abastecimento de água para a crescente população mundial é um dos problemas ambientais mais importantes que a humanidade vai ter que enfrentar. Atualmente, mais da metade da população mundial vive nas cidades, e esta proporção tende a crescer paralelamente ao crescimento da população mundial. Dessa população urbana, estima-se que cerca de um bilhão de pessoas vivem sem o fornecimento de água de boa qualidade (DUDLEY & STOLTON, 2003).

Entretanto, essa demanda de água para abastecimento da população representa menos de um décimo do consumo total de água, em que pese, evidentemente, o aspecto crítico e vital desta demanda. Em geral, o maior consumo de água para atender a sobrevivência da humanidade é para a irrigação, principalmente onde a agricultura é feita em condições de déficit hídrico ou em regiões semiáridas, assim como nos campos inundados para a produção de arroz.

Mais especificamente, pode-se afirmar que a floresta desempenha importante papel na hidrologia de uma bacia hidrográfica, não apenas pelo papel regulador das transferências de água entre os vários compartimentos do sistema, pelos processos de interceptação e de evapotranspiração, mas também por fornecer a matéria orgânica que protege e melhora as condições hídricas do solo. Os solos florestais, devido à camada orgânica que se acumula sobre a superfície (serrapilheira), assim como a fauna associada a essas condições de alto conteúdo de matéria orgânica, possuem condições que são vitais para a hidrologia das microbacias, assim como ao ecossistema aquático, resultando nas normalmente boas condições de qualidade de água dos riachos (NEARY et al., 2009).

A despeito das dificuldades de se estabelecerem teorias generalizadas sobre estas relações, parece claro que a melhor fonte de água doce de boa qualidade para o abastecimento humano são os ecossistemas florestais (DUDLEY & STOLTON, 2003; NEARY et al.; 2009). O aspecto utilitário dessa relação foi, desde cedo, reconhecido e implementado em muitos países, pelo estabelecimento das chamadas “bacias hidrográficas municipais”, ou seja, os mananciais de abastecimento de água da população das cidades, que incluem não apenas a represa de onde os órgãos municipais retiram a água para o abastecimento, mas toda a sua bacia hidrográfica de contribuição, manejada de forma

integrada para garantir a preservação de sua cobertura florestal para o só propósito de produção de água.

No mundo todo, cerca de um terço das **grandes cidades** (46 entre 105) ainda conseguem manter seus mananciais de abastecimento públicos devidamente protegidos com cobertura florestal. Um exemplo marcante desses mananciais de abastecimento público é o da cidade de Melbourne, na Austrália, que, a despeito de pressão natural, vem conseguindo manter a bacia hidrográfica municipal, que engloba uma área de cerca de 120.000 hectares inteiramente protegida com floresta natural de *Eucalyptus regnans*, sob regime de manejo visando á produção de água, e se orgulha, assim de abastecer os habitantes de Melbourne com água considerada de melhor qualidade do mundo, sem nenhum gasto de tratamento convencional (MMBW, 1980; DUDLEY & STOLTON, 2003).

Outros exemplos localizam-se nos Estados Unidos. A cidade de São Francisco é abastecida com água de uma bacia hidrográfica protegida localizada no Parque Nacional de Yosemite. Já a cidade de Seattle, no estado de Washington, capta água da bacia hidrográfica Cedar River, com área de 36.650 hectares, sendo que 64% dessa área pertencem ao próprio município. Todavia, a floresta da área restante, que é de terceiros, é manejada de forma sustentável mediante um acordo com o poder público municipal. A água desse manancial também é distribuída aos 1,2 milhões de habitantes da cidade de Seattle sem nenhum tratamento, nem mesmo filtração (DUDLEY & STOLTON, 2003).

Há também o famoso exemplo do manancial da cidade de Nova York, a bacia hidrográfica referida como Catskill/Delaware, fama esta derivada não apenas do desafio que é manter o abastecimento de água desta megalópole, mas também pelo discernimento dos técnicos envolvidos em seu manejo. Essa bacia hidrográfica municipal localiza-se a cerca de 160 km da cidade de Nova York e fornece 90% da água que abastece a população. Possui uma área de cerca de 2.500 Km², dos quais 75% são cobertos com floresta (apenas 10% desta área são de domínio do município, sendo a restante propriedade de terceiros). Existem, por exemplo, cerca de 400 fazendas de pecuária, assim como muitas outras áreas de agricultura, que, sem dúvida, constituem fontes potenciais de contaminação biológica e química. Em função disso, em 1989 a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) impôs uma condicionante maior ao órgão responsável pelo abastecimento de água da cidade, que promoveu, então, estudos visando a resolver o problema, tendo chegado a duas alternativas: a) construir nova unidade de estação de tratamento de água, a um custo estimado entre 6 e 8 milhões de dólares, mais custo anual de manutenção estimado entre 300 e 500 milhões de dólares; b) estabelecer um amplo programa de manejo de bacias hidrográficas envolvendo todos os atores sociais da bacia, a um custo estimado de 1,0 a 1,5 bilhão de dólares ao longo de 10 anos. Esta segunda alternativa foi a escolhida e a fonte de

seu financiamento foi a aprovação, pela população de Nova York, de um aumento em sua conta de água. De comum acordo com os donos das propriedades rurais da bacia hidrográfica, este financiamento foi aplicado em programas de subsídios ou de pagamentos de serviços ambientais, para todos aqueles que concordassem em melhorar as práticas de manejo e restaurar as matas ciliares.

No nosso país, infelizmente, há poucos mananciais ainda inteiramente protegidos, destacando-se o do Parque Estadual da Cantareira e a Reserva Estadual de Morro Grande, que fazem parte do sistema de abastecimento de água da grande São Paulo o valor econômico desses mananciais protegidos por florestas naturais é, em geral, subestimado, ou mesmo não reconhecido, nem pela população e tampouco pelo poder público. O atual Aeroporto Internacional de Guarulhos, em São Paulo, por pouco não foi construído justamente na área do manancial da Reserva Estadual de Morro Grande. Sem dúvida, esta dificuldade de entendimento do valor socioeconômico e ambiental de mananciais protegidos por florestas naturais faz parte das frequentes crises de abastecimento de água, que só tenderão a aumentar com o incremento populacional e com o desmatamento.

As florestas plantadas sempre estiveram na mira de discussões acaloradas em vários países, relacionadas com seus possíveis efeitos sobre os recursos hídricos, principalmente no que diz respeito ao elevado consumo de água. Tais discussões, longe de terminarem, atingiram presentemente uma dimensão nova e muito significativa. Em primeiro lugar, em razão do total de área plantada, que atinge aproximadamente 50 milhões de hectares nas regiões tropicais, com uma taxa de novos plantios de cerca de 3 milhões de hectares por ano (STAPE et al.; 2004). Entretanto torna-se cada vez mais evidente o fato de que a disponibilidade natural de água constitui hoje um dos mais importantes temas relacionados ao manejo dos recursos naturais (ZELEWSKI, 2000; WAGNER et al; 2002). Desta forma, considerando que a floresta e a água são inseparáveis, estas evidências estão exigindo, cada vez mais, que o manejo das florestas plantadas incorpore a análise dos impactos hidrológicos potenciais de forma mais sistêmica.

As relações entre as florestas plantadas e a água vêm sendo estudadas em diversos países, usando diferentes enfoques de pesquisa, como mostram, entre outros, os trabalhos de Calder et al (1992), Almeida et al (2007), Lima et al (1990), Lima et al (2003), Lesch & Scott (1997), Vitali et al (1997), e Rodriguez-Suarez et al (2011). Por outro lado, a literatura especializada conta com alguns trabalhos de revisão sobre o assunto, tais como Bosch & Hewlett (1982), Calder (1992), Lima (1993), Whitehead & Beadle (2004), Brown et al (2005), Farley et al (2005), Van Dijk & Keenan (2007). Em termos dos aspectos fisiológicos do consumo de água pelo eucalipto, talvez um dos pontos mais polêmicos destas discussões, o trabalho de Whitehead & Beadle (2004) analisa praticamente todos os aspectos

que devem ser considerados na análise objetiva do consumo de água. Uma das principais conclusões é a de que o eucalipto não consome mais água por unidade de biomassa produzida do que qualquer outra espécie florestal.

Todavia, a despeito dessas recentes evidências, as campanhas antieucalipto e as dúvidas a respeito de seu impacto sobre a umidade do solo continuam muito comuns tanto no Brasil quanto em outros países (ACIAR, 1992; CAMINO & BUDOWSKI, 1998; COSSALTER & PYE-SMITH, 2003). Não há dúvida de que esta situação paradoxal indica a necessidade de se avaliar as relações entre florestas plantadas e a água de uma forma diferente, de maneira a avaliar como as florestas plantadas utilizam a água disponível e afetam a qualidade da água como consequência das práticas de manejo. Em outras palavras, a questão fundamental a ser abordada na relação florestas plantadas e água deve envolver sim o consumo da água, mas deve, mais do que isso, incluir outras considerações, tais como a qualidade da água, a sedimentação, a qualidade do ecossistema aquático, a hidrologia da microbacia, a permanência dos fluxos de base, o controle dos picos de vazão, assim como o princípio fundamental de equidade ao acesso à água (NAMBIAR & BROWN, 1997; Lima, 2004). Esta nova percepção da sociedade para com o uso racional dos recursos naturais, sem dúvida, está claramente implícita no conceito multidimensional do manejo florestal sustentável (NAMBIAR, 1999; GAYOSO et al.; 2001; NARDELLI & GRIFFITH, 2003; WANG, 2004).

Como parte dessa polêmica, existe a percepção de que as florestas plantadas em larga escala para o abastecimento industrial não devem fazer parte do conceito de manejo florestal sustentável, com o argumento de que são, na realidade, culturas de árvores, caracterizadas pela homogeneidade e pelo objetivo primário de produção de madeira, semelhante ao sistema convencional de produção agrícola (SAA & VAGLIO, 1997). Este argumento, além de não contribuir em nada para o equacionamento da dimensão ambiental, já que a agricultura causa impactos hidrográficos significativos, tampouco encontra respaldo no conhecimento contemporâneo dos sistemas biológicos. De fato, como bem argumenta Perry (1998), a estratégia de manejo visando à produção de madeira e a estratégia de manejo florestal sustentável não é antagônica. Muito pelo contrário, a manutenção da produtividade florestal ao longo do tempo depende crucialmente de sua integração com a manutenção dos aspectos ecológicos e hidrológicos ao longo da paisagem.

Assim, um aspecto importante para o entendimento das relações entre as florestas plantadas e a água é a questão da escala do uso da terra. A busca do manejo florestal sustentável das florestas plantadas tem que considerar sua característica inerente de múltiplas dimensões e escalas. Esta estratégia incorpora a noção da microbacia hidrográfica como unidade sistêmica da paisagem e como escala natural dos processos hidrológicos

envolvidos no balanço hídrico, na qualidade da água, no regime de vazão e na saúde do ecossistema aquático. Ela possibilita também uma visão mais abrangente das relações entre o uso da terra – seja para a produção florestal e agrícola, a abertura de estradas, a urbanização, enfim, toda e qualquer alteração antrópica da paisagem – e a conservação dos recursos hídricos. Quem sabe, assim, a sociedade acabará percebendo que o problema da diminuição da água e da deterioração de sua qualidade não está apenas nas florestas plantadas, mas em uma infinidade de outras ações atópicas e em práticas inadequadas de manejo (Lima, 2004).

O clássico trabalho de revisão de Hilbert (1967) já afirmava claramente que o desmatamento aumenta a produção de água nas microbacias, assim como o reflorestamento diminui esta produção de água. Mas este autor foi também muito cuidadoso em sua revisão, alertando para o fato de que a análise dos inúmeros resultados disponíveis mostrava claramente que estes efeitos eram altamente variáveis de lugar para lugar e, em alguns casos, imprevisíveis.

Assim, levando em conta os trabalhos de revisão mais recentes, que incluíram um número maior de resultados e de condições experimentais, o que se tem de entender é que existe, de fato, a possibilidade de que as florestas plantadas e o manejo florestal influenciem a quantidade de água na escala da microbacia. Como afirmado por Versfeld (1996), parece ser uma política sensata ter em conta que não se precisa de outras pesquisas para provar que as florestas consomem água, ou que as florestas plantadas têm um consumo da mesma ordem de grandeza das florestas naturais. O que se deve agora é direcionar os esforços em busca de soluções para os conflitos que decorrem tanto do aumento da demanda pela água quanto do reconhecimento, pela sociedade e por outros usuários desse recurso natural escasso que antes não eram levados em conta, da questão da vazão ecológica e da qualidade do ecossistema aquático.

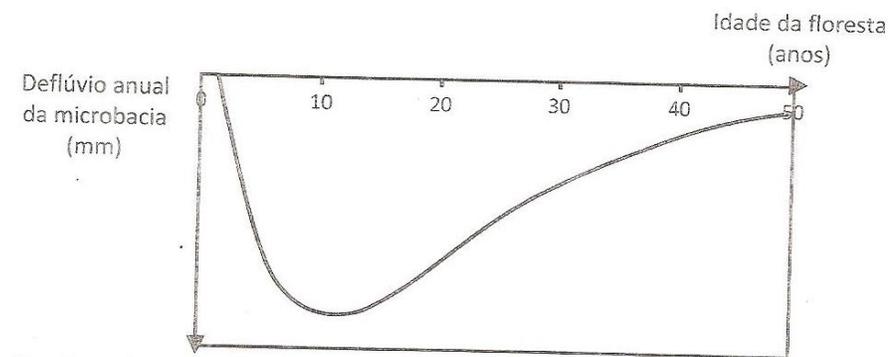
Com relação à variabilidade dos resultados, Andressian (2004) esclarece a respeito de alguns dos pré-requisitos para a ocorrência de impactos significativos da floresta sobre a quantidade de água na microbacia. Um destes requisitos seria o solo, principalmente em termos de sua profundidade. Em solos rasos, as diferenças no consumo de água entre a floresta e uma vegetação de menor porte, como as gramíneas, seriam restritas apenas à diferença nas perdas por interceptação entre duas coberturas vegetais. O outro requisito são as condições climáticas, principalmente em termos do regime de chuvas. Quando a distribuição das chuvas ao longo do ano possibilita que a evapotranspiração ocorra sempre à taxa potencial, as condições de rugosidade aerodinâmica do dossel florestal podem aumentar o consumo de água, principalmente em decorrência da maior quantidade de energia advectiva disponível, comparativamente a uma vegetação de menor porte. E existe, ainda, o requisito

fisiológico relacionado com a espécie florestal, com a eficiência de uso da água e com as mudanças proporcionais dos componentes do balanço hídrico ao longo do talhão.

Esses aspectos podem fornecer as bases para o entendimento de alguns resultados experimentais, como os de Swank & Miner (1968), que observaram uma redução no deflúvio anual de uma microbacia experimental que teve sua floresta natural substituída por uma floresta plantada de *Pinus strobus*, redução esta que atingiu cerca de 94 mm quando a plantação atingiu a idade de 10 anos.

Na Austrália, na bacia hidrográfica que abastece a cidade de Melbourne, um incêndio florestal queimou enormes áreas da floresta natural de *Eucalyptus regnans*. A germinação do banco de sementes foi vigorosa após este episódio, permitindo uma regeneração de elevada quantidade de mudas por hectare. Esse crescimento vigoroso, que pode ser entendido como similar à substituição da floresta natural por plantação mencionado anteriormente, foi também acompanhado de uma redução significativa (300 a 400 mm) na produção anual de água nas microbacias experimentais instaladas na área. Vários trabalhos foram publicados a respeito dessa transformação. Kuczera (1987), por exemplo, acompanhando os dados do monitoramento ao longo do crescimento da nova floresta, apresentou uma hipótese a respeito da variação do consumo de água à medida que a floresta regenerada em alta densidade avança em idade, conforme ilustrado na Figura 3, mostrando que existe, na fase de crescimento rápido da floresta regenerada, uma sensível redução na produção de água na microbacia, a qual provavelmente atinge o máximo à idade de 15 anos, tendendo a diminuir com a maturação da floresta.

Figura 4. Variação do deflúvio anual da microbacia ao longo do crescimento vigoroso da floresta regenerada após um incêndio que eliminou a floresta natural de *Eucalyptus regnans* localizada na bacia hidrográfica de abastecimento de água da cidade de Melbourne na Austrália.

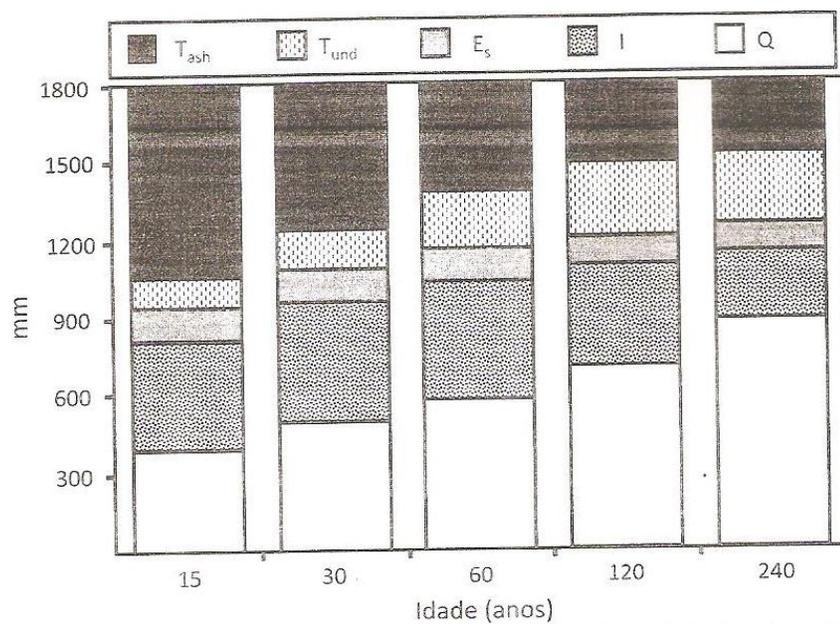


Fonte: Kuczera (1987).

Mais recentemente, Vertessy et al. (2001), por meio da medição criteriosa do índice de área foliar, da área basal e de vários componentes do balanço hídrico em floresta de

Eucalyptus regnans com diferentes idades (15, 30, 60, 120 e 240 anos) na mesma região encontraram mudanças significativas nos componentes do balanço hídrico, cujos resultados globais poder ser observados na Figura 5. Observa-se, que á medida que aumentou a idade do talha, ocorreu alteração na proporção e na preponderância dos componentes do balanço hídrico, que resultou no aumento ou na diminuição do deflúvio da microbacia.

Figura 5. Componentes do balanço hídrico em florestas de *Eucalyptus regnans* de diferentes idades. T_{ash} - Transpiração média anual; T_{und} - Transpiração média anual do sub-bosque; E_s - Evaporação direta média do solo; I - Perda média anual por interceptação e Q - Deflúvio médio anual da microbacia.



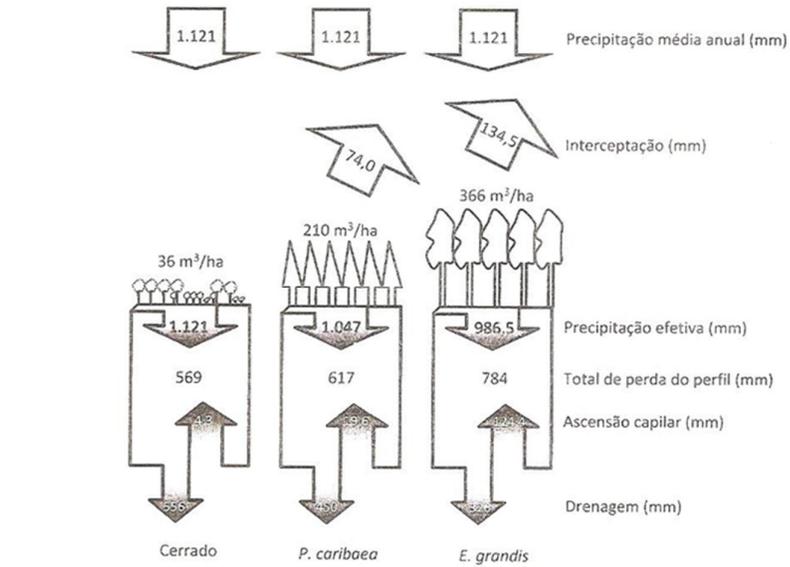
Fonte: Adaptado de Vertessi et al. (2001).

Whitehead & Kelliher (1991), na Nova Zelândia, Lesch & Scott (1997), na África do Sul, e Huber et al. (1998) no Chile, também encontraram diferenças nos componentes do balanço hídrico e conseqüentemente na vazão da microbacia após a realização de desbastes de *Pinus radiata*, *Pinus pátula* e *Eucalyptus regnans* e *Pseudotsuga menziesii*, respectivamente. Tais resultados indicaram que as práticas de manejo também influenciam a quantidade de água na microbacia.

Em nosso país, alguns dos poucos trabalhos nessa linha também confirmam estas evidências experimentais. Lima et al (1990), por exemplo, mediram o balanço hídrico comparativo ente o cerrado, plantação de *Eucalyptus grandis* e plantação de *Pinus caribaea*

no vale do Jequitinhonha, através do método do balanço hídrico do solo, cujos resultados se encontram resumidos na **Figura 6**.

Figura 6. Representação Esquemática das medições do balanço hídrico.



Fonte: Adaptado de Lima et al. (1990).

Com relação aos possíveis impactos hidrológicos sobre a qualidade da água, a literatura mostra vários trabalhos, principalmente em termos das atividades mais intensivas do manejo florestal, como é o caso da colheita. Esses trabalhos sugerem que estas atividades, por exemplo, o corte raso da floresta plantada pode causar aumentos significativos na concentração de sedimentos em suspensão no riacho, assim como perdas de solo e nutrientes, o que pode ser prejudicial tanto á qualidade da água quanto a qualidade do ecossistema aquático (SCOTT et al; 2001; SIKKA et al., 2003; DIAS JR. et al; 2003; FERNANDEZ et al, 2004; PENNINGTON & LAFFAN, 2004).

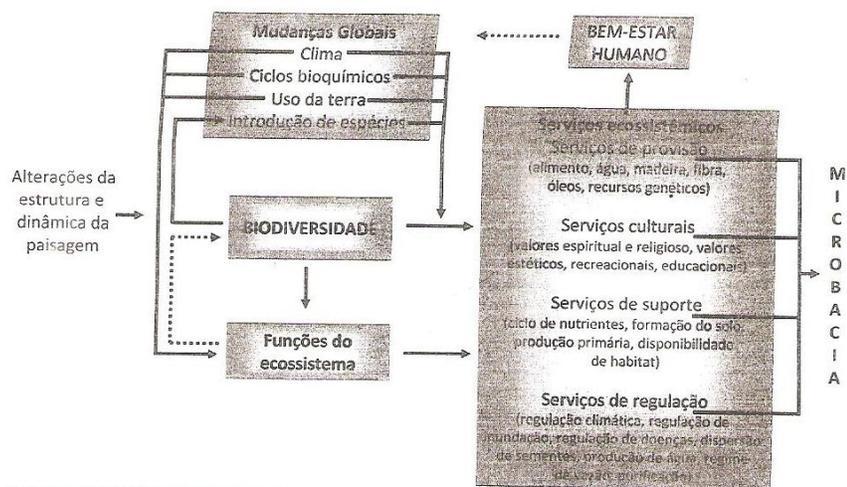
Portanto, essa estratégia aponta para a necessidade da reestruturação das práticas convencionais de manejo, com o objetivo de adaptá-lo ás condições regionais prevalecentes, bem como aos processos ecológicos e ás potencialidades da paisagem. Ela evidência a necessidade de monitoramento nas diferentes escalas da sustentabilidade. Representa, portanto, uma mudança conceitual fundamental de manejo baseado na unidade de manejo florestal para o manejo baseado no ecossistema. Isso, sem dúvida, agrega valor e possibilita inovações tecnológicas e novas estratégias de manejo que incorporam a questão da água, envolvendo as seguintes premissas: a) as decisões de manejo são baseadas na capacidade natural de suporte da paisagem; b) o manejo incorpora a manutenção da hidrologia da microbacia e, conseqüentemente, a conservação da água; c) o plano de manejo é continuamente melhorado com base nos resultados do monitoramento; d) o plano possui maior flexibilidade e interatividade, incorpora o aspecto crucial das escalas de sustentabilidade e proporciona transparência ás decisões de manejo.

Todavia, a despeito dessas evidências, a necessidade de incorporação dessas premissas em políticas de manejo integrado das grandes microbacias ainda não se encontra totalmente consolidada, tanto no Brasil como em outros países da América Latina. E as conseqüências aparecem diversas vezes na forma de pressões ambientalistas, de dúvidas e reclamações de proprietários rurais ou mesmo de artigos e opiniões na imprensa, sempre reiterando a noção falsa de que as florestas plantadas são necessariamente incompatíveis com a conservação ambiental e com a manutenção dos recursos hídricos. Integrar os objetivos de manutenção e conservação da água no plano de manejo das florestas plantadas, em termos de hidrologia da microbacia, balanço hídrico, qualidade da água, regime de vazão (fluxo de base e pico de vazão) e qualidade do ecossistema aquático, parece ser a resposta mais adequada a essas inquietudes (TWERY & HORNBECK, 2001).

3.2.3 Biodiversidade e a Faixa de Domínio Rodoviário

O que é biodiversidade? Onde está? Para que serve? Essas são algumas das questões chave do documento *Ecosystem and Human Well-being – A Biodiversity Synthesis* (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), lançado em 2001 com o apoio das Nações Unidas, cujo objetivo foi atender às necessidades de informações científicas dos tomadores de decisões e do público sobre os impactos que as mudanças nos ecossistemas causam ao bem-estar humano e as opções de respostas a essas mudanças. A resposta para tais questões é que a biodiversidade é a base de uma ampla cadeia de serviços ecossistêmicos que contribuem para o bem-estar humano. A biodiversidade é vista tanto como uma variável reposta – afetada pelas mudanças globais e de uso e cobertura do solo – como um fator modificador dos processos e serviços do ecossistema para o bem-estar humano. Modificações antrópicas na paisagem podem afetar a biodiversidade, a qual pode por sua vez influenciar os serviços ecossistêmicos na escala da microbacia (Figura 7).

Figura 7. Biodiversidade, funcionamento do ecossistema e serviços ambientais.



Fonte: Adaptado de Millennium Ecosystem Assessment, 2005.

Apesar do reconhecido valor que a conservação da biodiversidade tem para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e bem-estar humano, inúmeros são os impactos ocasionados por ações humanas na biota. Fragmentos e perda de habitats caça, fogo, agricultura e introdução de espécies são apenas alguns exemplos de intervenções que podem desencadear cadeias de impactos, algumas com efeito acumulativo ou mesmo sinérgico, atingindo vários níveis de ecossistema. Ripple & Beschta (2006) mostraram uma

interessante cadeia de impactos que atingiram diferentes níveis do ecossistema decorrentes do aumento da visitação humana em um parque Nacional nos Estados Unidos (Zion Canyon, Utah). Este aumento produziu imediatamente a densidade de pumas (*Puma Concolor*), o que levou a um subseqüente aumento da densidade de veados (*Odocoileus hemionus*), acarretando aumento na intensidade de pastejo e redução do recrutamento de árvores ripárias de algodão (*Populus fremontii*), aumento da erosão, e, por fim, redução da abundância das espécies aquáticas e terrestres. Esse exemplo ilustra apenas uma situação de desequilíbrio ambiental, mas pode representar outras situações que acontecem com certa frequência em paisagens dominadas pelo homem.

Redford (1992) lembra que a influência humana nas florestas tropicais era considerada pelos ecologistas, no passado, como de baixo impacto. Sabe-se, hoje, que as consequências destas intervenções nos ecossistemas naturais (hoje, já não tão naturais assim) são incomensuráveis. Ecossistemas naturais têm sido substituídos por ecossistemas antrópicos – agrícolas ou urbanos –, cuja estrutura e funcionamento são profundamente diferenciados dos naturais. Fragmentos inseridos em ambientes degradados ou antrópicos, por exemplo, apresentam forte tendência ao aumento do número de espécies onívoras e, possivelmente insetívoras menos especializadas em detrimento à redução ou perda das espécies frugívoras (MOTTA-JUNIOR, 1990). Modificando-se a composição das comunidades bióticas, alteram-se, também, as relações inter e intraespecíficas. Por exemplo, as interações entre plantas e animais frugívoros são fortemente afetadas pela fragmentação e perda de habitats (Jordano et al., 2006), já que uma das primeiras consequências é a redução drástica (ou eliminação completa) das espécies frugívoras, as quais representam boa parte da biomassa de vertebrados em florestas tropicais (EISENBERG, 1980). Frugívoros são agentes essenciais na dispersão de sementes e, conseqüentemente, na regeneração natural da floresta.

Manter a diversidade biológica em uma paisagem antrópica significa incluir, além dos componentes agrícolas e urbanos, remanescentes florestais (remanescentes em Áreas de Preservação Permanente na forma de Reserva Legal). Manter os remanescentes naturais não significa somente tê-los inseridos estruturalmente na paisagem, como é o caso de várias regiões agrícolas altamente impactadas do estado de São Paulo, mas sim tê-los desempenhado satisfatoriamente suas funções ecológicas, dentre elas a de manutenção e retenção de biodiversidade. Em seu estudo denominado “*The emptyforest*”, Redford (1992) descreve alterações profundas da estrutura e funcionamento de florestas tropicais sob efeito intenso de exploração humana (caça). A perda da diversidade biológica implica em nada menos do que a perda das funções ecológicas desempenhadas pela floresta, o que inclui não somente a perda de relações bióticas, mas também nas interações entre a biota e o meio

físico. Florestas vazias ou defaunadas apresentam, por exemplo, redução na intensidade do processo de dispersão de sementes, alterando o sucesso reprodutivo de certas espécies vegetais e comprometendo a integridade do ecossistema. Destaca-se que a dispersão de sementes é responsável pela manutenção da diversidade tropical. Isso significa que uma floresta sem dispersores, por exemplo, é uma floresta que possivelmente se degrada (ao invés de se manter) ao longo do tempo. Esse processo de degradação compromete, em maior ou menor escala, a qualidade e disponibilidade da água, bem como outros serviços ecossistêmicos.

O processo de alteração da paisagem influencia fortemente o hábitat local e a diversidade biológica de riachos e rios em múltiplas escalas (ALLAN, 2004). Cullen (2007) destaca alguns impactos das alterações do uso da terra na saúde de rios, tais como alteração de padrões de vazão, aumento no aporte de matéria orgânica, nutrientes e contaminantes, perda de habitats para a biota aquática, deposição de areia e alteração da temperatura da água. Esses impactos exemplificam o que se chama de cadeias de impactos, as quais confirmam o fato de que os componentes do ecossistema não se encontram isolados na paisagem. Quando árvores são removidas da zona ripária, a entrada de troncos e galhos no riacho é reduzida. Assim, a disponibilidade de hábitat para a biota aquática diminui, a temperatura do riacho aumenta devido à falta de sombreamento e os níveis de luz e nutrientes na coluna de água podem aumentar o que, por sua vez, pode desencadear a proliferação de algas e, na sequência, o aumento dos macro invertebrados pelo aporte de matéria orgânica disponível.

Assim, a biodiversidade exerce um importante papel nas funções do ecossistema. Os produtos da biodiversidade incluem dos serviços produzidos pelos ecossistemas (como alimento e recursos genéticos). Além do papel importante da biodiversidade no fornecimento dos serviços dos ecossistemas, a diversidade de espécies vivas tem um valor intrínseco independente de qualquer interesse humano (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

A paisagem onde prevalece o eixo rodoviário é uma extensão em área de terra, formada por um aglomerado de ecossistemas, ou mosaicos de áreas destinadas que interagem funcionalmente.

Entende-se por mancha uma unidade espacial que representa uma área contígua, espacialmente definida, que tenha características espaciais e não espaciais distintas da sua vizinhança. A definição é ampla, dinâmica e varia de acordo com as escalas temporal e espacial e com o fenômeno de interesse (WIENS, 1976).

Com o avanço tecnológico, as paisagens naturais foram substituídas por áreas urbanas e rurais. As alterações em áreas naturais têm sido muito drásticas desde a revolução industrial, causando problemas ecológicos que podem ser avaliados pelas alterações na estrutura e função da paisagem, as quais são objetos de estudo da Ecologia da Paisagem.

A Ecologia da Paisagem enfoca três características da paisagem: a *estrutura*, relação espacial entre os distintos ecossistemas presentes; a *função*, interações entre os elementos espaciais; e a *mudança*, alteração na estrutura e função do mosaico ecológico ao longo do tempo (FORMAN & GODRON, 1986). A paisagem pode ser descrita pela sua estrutura, que se refere ao arranjo espacial relativo de seus elementos e às conexões entre eles. Ela representa tanto características espaciais (arranjo geográfico, por exemplo), como não espaciais (composição, por exemplo) de seus elementos (TURNER, 1989).

A origem do termo “Ecologia da Paisagem” teve suas raízes na região centro-leste europeia, onde geógrafos começaram a ver a paisagem não somente pelo seu componente estético (como os paisagistas), mas como a entidade espacial e visual do espaço humano. A concepção de Ecologia da Paisagem nos Estados Unidos foi inicialmente influenciada por cientistas naturais, preocupados com a relação do padrão de distribuição de plantas e animais (biogeografia) com meio físico e antrópico (NAVEH & LIEBERMAN, 1993). Mais tarde, engenheiros florestais, agrônomos e arquitetos, preocupados com o planejamento do uso da terra, interessaram-se pela Ecologia da Paisagem. O conceito de “manejo de paisagem” surgiu da aplicação dos conceitos da Ecologia da Paisagem ao manejo de ecossistemas naturais. O Capítulo aborda a Ecologia da Paisagem sob uma ótica aplicada ao gerenciamento de unidade de conservação, tais como reservas biológicas, parques nacionais e áreas de proteção ambiental.

Para a aplicação prática dos conceitos da Ecologia da Paisagem, deve-se considerar que, como uma proposta holística e integrada de manejar recursos, o manejo dessas paisagens envolve decisões com base em complexas interações de fatores bióticos e abióticos (LACHOWSKI, 1994). As facilidades que o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas oferecem para processamento e análises de dados espaciais tornam essas técnicas fundamentais para o diagnóstico, análise e modelagem da paisagem (LUCIER, 1994). Os avanços recentes dessas técnicas têm tornado possível o processamento de dados para grandes áreas e, por isso, elas têm sido amplamente utilizadas em estudos de paisagens florestais (Sachs et al., 1998).

A heterogeneidade do espaço temporal dos ecossistemas influencia os processos ecológicos. Os fluxos de nutrientes e sedimentos, por exemplo, são os processos mais evidentes influenciados pela paisagem. Rios e córregos expressam a variância local e a heterogeneidade da paisagem em que estão inseridos (WIENS, 2002). O conhecimento da

relação da influência sobre os ecossistemas terrestres nos ecossistemas aquáticos é crucial para o manejo dos sistemas aquáticos (LIKENS & BORMANN, 1974). A relação paisagem-água tem ganhado importância ultimamente, fazendo com que a heterogeneidade presente em torno dos rios seja vista como “paisagem ribeirinha” e que os conceitos da ecologia da paisagem sejam aplicados aos ecossistemas aquáticos (WIENS, 2002).

Nessa mesma linha, a preocupação com os fatores bióticos que afetam os processos hidrológicos resultou no surgimento do termo Eco-hidrologia, que pode ser definido como o estudo das inter-relações funcionais entre a hidrologia e a biota na escala de microbacia (ZALEWSKI, 2000). Considerando-se que o componente biótico de maior interferência hidrológica é a vegetação, o manejo eco-hidrológico da paisagem pode ser entendido como o próprio manejo da vegetação. Assim, este manejo se preocupa em entender como o tipo de vegetação, condição, posicionamento e suas interações com o meio físico podem interferir nos processos hidrológicos nos ambientes terrestre (paisagem) e aquático (riachos, por exemplo). Para descrever o papel da floresta nos processos hidrológicos, é necessário entender os serviços que esta pode oferecer em termos hidrológicos, os quais fazem parte do conjunto de seus serviços ecossistêmicos.

3.2.4 Serviços Ecossistêmicos da Floresta

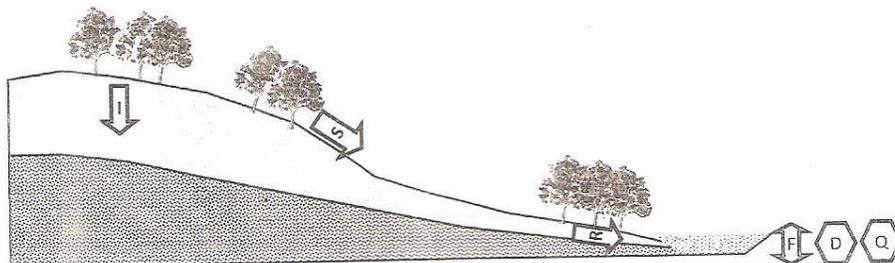
O termo “serviço ecossistêmico” é mais atual e substitui o termo “serviço ambiental”, ainda amplamente utilizado como referência às funções ecológicas desempenhadas pelos ecossistemas. Ele pode ser definido como a capacidade que a natureza tem de fornecer benefícios para a qualidade de vida e saúde humana. Os serviços ecossistêmicos são classificados em quatro categorias: produção, regulação, suporte e culturais. Eles incluem produção de alimentos, combustíveis, fibras, regulação do clima, controle de pragas, benefícios espirituais, entre outros (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). As florestas oferecem serviços nas quatro categorias, sendo que os de suporte e regulação são os mais relevantes para o ciclo hidrológico.

Conforme observado na Figura 8, a floresta contribui para o processo de infiltração da água no solo (I), já que a cobertura florestal intercepta a água da chuva, diminui sua velocidade, mantém a umidade do solo e permite que o processo de infiltração ocorra de forma lenta. Este processo é particularmente mais importante em partes altas do terreno com solos mais profundos, pois permite maior armazenamento de água no solo. Estas áreas protegidas pelo Código Florestal Brasileiro, que determina que sejam preservadas áreas

localizadas em topos de morros, enquadradas na categoria de Áreas de Preservação Permanente (APP).

No entanto, a efetividade deste serviço depende das condições do ambiente florestal como estrutura da floresta, altura das copas, sub-bosque, teor de matéria orgânica do solo, interferência antrópica (no caso de vegetação nativa) ou tipo de manejo (no caso de plantios florestais). Portanto, a simples presença da floresta não garante a infiltração da água no solo, já que florestas degradadas podem não apresentar todas as condições citadas anteriormente. Fica claro, também, que o plantio de áreas com espécies arbóreas com técnicas adequadas não resulta imediatamente na prestação de serviço, o qual tende a ser mais efetivo gradualmente com o desenvolvimento da floresta até sua maturação e o estabelecimento de novo equilíbrio.

Figura 8. Serviços ecossistêmicos beneficiados pela cobertura florestal (I – Infiltração; S – Proteção do Solo; R – Proteção ripária) e processos hidrológicos influenciados (F – Regulação de fluxo; D – Produção de água; Q – Qualidade da água).



Fonte: AROUCA, A.

A proteção do solo é particularmente importante em áreas mais declivosas, nas quais a força da gravidade dificulta o processo de infiltração e direciona a água para o escoamento superficial, que causa impactos de diversas ordens, com destaque para os processos erosivos. A cobertura florestal exerce função de proteção do solo, reduzindo o escoamento superficial e beneficiando a infiltração. A função de proteção do solo também depende das características da floresta e de suas condições de conservação.

Embora outras coberturas vegetais possam desempenhar a função de proteção do solo, a floresta nativa (madura) é a cobertura mais indicada por suas características de interceptação, sub-bosque, serrapilheira, raízes e baixa intervenção humana, as quais contribuem para menores taxas de erosão e, conseqüentemente, menor produção de sedimentos que causam assoreamento e alterações diversas nos ecossistemas aquáticos. As áreas de alta declividade não são propícias ao desenvolvimento da agricultura pela

declividade em si e pela presença de solos normalmente rasos, pedregosos e de baixa fertilidade. Estas áreas apresentam vocação natural para a cobertura florestal.

É importante observar que durante eventos extremos de chuva, em algumas situações, mesmo a proteção oferecida pelas florestas naturais não é suficiente para conter deslizamentos em áreas declivosas e enchentes nas áreas mais baixas. O volume de água destes eventos em um curto período, as características geológicas, os solos rasos e a alta declividade são elementos que tornam inevitáveis tais ocorrências (FAO, 2005). Mesmo assim, deve-se ressaltar que a floresta nativa é a cobertura mais indicada e distúrbios como desmatamento, ocupações e modificações em sua estrutura aumentam a probabilidade de catástrofes desta natureza.

Outra importante função diz respeito à proteção ripária (R) oferecida pela vegetação florestal. Essa proteção envolve aspectos físicos relacionados ao sombreamento do canal, criação de microclima adequado para manutenção da temperatura da água, entre outros. A floresta nativa é responsável, também, por importantes interações com o ecossistema aquático, incluindo a entrada de material vegetal, fornecimento de alimento e estruturação do habitat aquático (NAIMANET al., 2005). Este papel da floresta somente pode ser exercido de maneira apropriada se esta contiver a estrutura e composição de espécies nativas da região, motivo pelo qual não é recomendado o uso de florestas exóticas na zona ripária.

No Brasil, as áreas ripárias são protegidas pelo Código Florestal, que estabelece diferentes larguras de faixas de proteção (APP), em função da largura do canal considerado. Segundo a referida lei, as APP têm função de proteção dos corpos de água e também devem funcionar como corredores ecológicos. O estabelecimento da largura ideal de proteção que garanta os serviços ecossistêmicos citados é motivo de discussão técnica e política atual em torno das alterações do Novo Código Florestal Brasileiro. Discussões a parte, dois fatos importantes devem ser considerados em planejamento ambiental: 1) essas áreas abrigam trechos hidrológicamente sensíveis; 2) a faixa que garante a efetividade dos serviços ecossistêmicos é variável, o que explica a dificuldade técnica de estabelecimento de uma regra geral válida para todo o país.

As áreas hidrológicamente sensíveis (AHS) ou áreas variáveis de afluência (AVA) são áreas da paisagem geralmente situadas em torno de corpos de água, mas também existentes em encostas, que recebem grande fluxo de água de áreas a montante e que, por suas características físicas, como topografia plana, solo raso e baixa condutividade hidráulica do solo, apresentam frequência maior de saturação do que outras áreas (Hewlett&Hibbert, 1967). A intensidade e a frequência de saturação dependem das condições citadas e também do regime de chuvas a que são submetidas, sendo que sua condição de saturação é frequente no período chuvoso e depende da ocorrência de chuvas no

período seco. Essas áreas são consideradas sensíveis do ponto de vista do manejo, já que sua condição de saturação aumenta o risco de impactos físicos, causados por máquinas e manejo do solo, e químicos, já que poluentes são conduzidos diretamente para o corpo de água por escoamento direto (AGNEW et al., 2006).

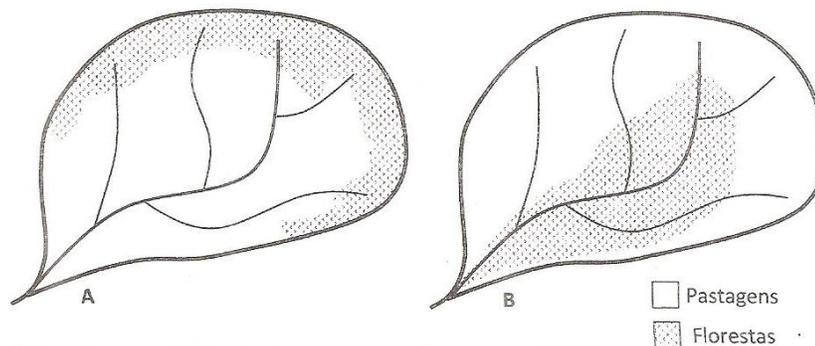
Essas áreas apresentam funções específicas que são potencializadas pela proteção florestal, podendo-se dizer que esta associação entre a biota e o meio abiótico forma um ecossistema intermediário (ou ecótono), também conhecido como ecossistema ripário. Dentre as funções hidrológicas deste ecossistema, pode-se citar: 1) a retenção de nutrientes e sedimentos provenientes da encosta, o que melhora a qualidade da água (Q), 2) a regulação do fluxo de água no canal (F) pela atenuação dos fluxos superficiais e 3) alimentação do fluxo base após o término do evento de chuva, contribuindo para a produção de água (D).

Embora essas áreas apresentem características importantes para a proteção do corpo hídrico, é um equívoco atribuir-se a elas toda a responsabilidade de “filtrar” ou corrigir o manejo inadequado do solo nas áreas a montante da microbacia. Ou seja, a existência destas áreas não exime a responsabilidade de um manejo correto do solo e de práticas agrícolas adequadas nas demais áreas.

Os processos de infiltração e escoamento superficial dependem, portanto, da capacidade da vegetação em facilitar ou dificultar estes processos, principalmente em eventos de chuva, estabelecendo uma relação chuva-vazão que é característica da interação do meio abiótico e biótico na microbacia. Vários modelos vêm sendo utilizados para predição desta relação e estes são particularmente importantes para o dimensionamento de estruturas hidráulicas como canais, pontes e tubulações. No entanto, a maior parte dos modelos é baseada em equações empíricas que consideram a proporção de cada uso do solo na área de contribuição (ou bacia) a montante da posição da estrutura no terreno. Essa abordagem simplificada, que considera somente a proporção de floresta e não sua posição pode não ser adequada para uma avaliação correta da função hidrológica da cobertura florestal, embora seja útil para o dimensionamento de estruturas.

Para ilustrar o efeito da posição da floresta em relação à rede de drenagem, na Figura 9 são exemplificadas duas bacias compostas por pastagem e floresta. Supondo que as bacias tenham as mesmas características físicas, composição e disposições distintas de seus componentes, provavelmente os serviços ecossistêmicos prestados pelas florestas nas bacias são diferentes nos dois casos. Na bacia A, o componente floresta poderá garantir maior proteção à região das cabeceiras (nascentes). Na bacia B, a maior proteção estará diretamente ligada ao canal principal. Portanto, é possível que uma mesma “quantidade” de floresta (área ocupada) em uma bacia hidrográfica esteja desempenhando diferentes serviços ecossistêmicos, de acordo com sua posição da paisagem.

Figura 9. Exemplo ilustrativo de diferentes configurações espaciais dos componentes da paisagem em relação á rede de drenagem em uma bacia hidrográfica.



Fonte:

Para todos os serviços ecossistêmicos citados anteriormente, fica claro que o desempenho da floresta depende de suas condições estruturais e de manejo. Desse modo, em ecossistemas antropizados como os agroecossistemas que dominam a paisagem brasileira (excluindo-se a Amazônia), a crescente demanda por tais serviços vem levando a ações de restauração e uso de plantios florestais como forma de recuperar serviços ecossistêmicos prejudicados pela ação antrópica.

As ações de restauração são benéficas e devem ser conduzidas em áreas antropizadas com vistas a melhorar suas condições ambientais. No entanto, é preciso entender claramente em que condições a floresta poderá contribuir para os serviços ecossistêmicos, evitando-se falsas expectativas sobre seu desempenho. Na Figura 10, são apresentados os potenciais teóricos de desempenho de diferentes coberturas florestais em relação aos principais serviços ecossistêmicos citados. Nota-se que a floresta nativa madura e sem interferência antrópica apresenta os potenciais máximos de desempenho em todos os serviços ecossistêmicos considerados. A presença de floresta fragmentada apresenta potencial reduzido de exercer funções hidrológicas, dependendo de sua proporção na bacia e de seu posicionamento, conforme comentado anteriormente.

Figura 10. Comparação do potencial de serviços ecossistêmicos oferecidos por diferentes coberturas florestais sob manejo (MB – muito baixo, B – baixo, M – médio, A – alto e MA – muito alto).

COBERTURA FLORESTAL	Serviços ecossistêmicos					
	I	S	R	D	F	Q
Nativa madura 	MA	MA	MA	MA	MA	MA
Nativa (inicial/intermediária) 	B-M	B-M	MB-B	B	B	B
Plantio florestal (rápido crescimento) 	M-A	M-A	MB	B-M	M	A
Plantio florestal (rápido lento) 	A	M-A	MB	M-A	A	A
Plantio florestal + floresta nativa 	A	A	M-A	B-M	A	A

(I – Infiltração; S – Proteção do Solo; R – Proteção ripária) e processos hidrológicos influenciados (F – Regulação de fluxo; D – Produção de água; Q – Qualidade da água).

Fonte:

Florestas nativas em estágios iniciais (plantios ou processos de regeneração) têm o seu potencial de oferecimento de serviços ecossistêmicos bastante reduzidos por ainda não apresentarem características importantes, como copa, estrutura, sub-bosque, serrapilheira e solos. À medida que a floresta se desenvolve, o potencial de serviços aumenta, sendo que alguns poderão atingir o nível de desempenho similar ao da floresta madura em diferentes tempos. Por exemplo, é possível que a proteção do solo ocorra com o fechamento das copas das árvores, no entanto, o potencial de infiltração dependerá da matéria orgânica e da ação das raízes na melhoria das condições do solo.

As florestas plantadas também oferecem serviços ecossistêmicos relacionados aos processos hidrológicos. Excluindo-se as funções das florestas ripárias e de corredores ecológicos, os plantios florestais podem oferecer serviços ecossistêmicos, dependendo da espécie, da rotação e do sistema de manejo. O desempenho destas áreas manejadas, quando comparadas às áreas nativas, é normalmente inferior, mas, ainda assim, a cobertura florestal

oferecida por estes ecossistemas apresenta melhor desempenho em funções hidrológicas em comparação a outras coberturas agrícolas.

As florestas plantadas com espécies de rápido crescimento, como *Eucalyptus sp.*, normalmente são manejadas em curtas rotações (6-7 anos) e oferecem, a partir do fechamento das copas (2-3 anos), serviços de interceptação e proteção do solo, não tão eficientes quanto a vegetação nativa, mas com vantagens em relação às coberturas de menor porte. Os serviços de produção de água e regulação do regime de vazão geralmente apresentam baixo desempenho neste tipo de floresta, em função da grande demanda de água ocorrida nas rotações curtas, reduzindo o deflúvio na microbacia e alterando o regime de vazão em função da demanda de água e outras interferências causadas pela retirada da floresta a cada rotação (Lima, 2010).

O desempenho dos plantios florestais nestes serviços dependerá da espécie e do tipo de manejo empregado, da disponibilidade hídrica regional e das características físicas locais, sendo que manejos mais intensivos normalmente reduzem o potencial de funções hidrológicas. Em função disso, o manejo de longa duração de florestas plantadas, como menor intervenção e possibilidade de maturação do ambiente florestal, apresenta melhor desempenho em todas as funções hidrológicas, inclusive na produção de água e regulação do regime de vazão dos riachos.

O aumento da cobertura florestal nativa na paisagem aumenta o potencial de oferecimento de serviços ecossistêmicos, independentemente da cobertura da cobertura dominante (matriz). Desse modo, plantios florestais entremeados a áreas de vegetação nativa conseguem obter melhores desempenhos em todos os serviços ecossistêmicos, pois a floresta nativa complementa as funções desempenhadas pelos plantios florestais, melhorando o desempenho deste ecossistema também na proteção ripária (quando a vegetação nativa ocupa as áreas ripárias), produção de água e regulação do regime de vazão (pela menor demanda de água, maior potencial de armazenamento e maior efeito tampão nas áreas ripárias).

O manejo da paisagem visando à conservação da água deve estar baseado no planejamento do uso da terra com a preocupação de garantir a melhor ocupação de áreas específicas importantes para os processos de infiltração, proteção do solo e interação com o ambiente aquático. A floresta nativa (madura) exerce reconhecidamente um papel importante para garantir tais processos, sendo a melhor opção para tais áreas. No entanto, florestas em diferentes estágios de conservação, de desenvolvimento ou mesmo de plantios florestais podem não desempenhar integralmente os serviços ecossistêmicos. Neste caso, o manejo destas florestas deverá ter como objetivo a recuperação das funções hidrológicas. Embora as florestas desempenhem papel fundamental nos processos hidrológicos, elas

ocupam pequenas proporções da paisagem em áreas agrícolas. Neste caso, somente o manejo adequado do solo e da área agrícola serão capazes de fazer com que os benefícios gerados pelas áreas florestais não sejam suprimidos pelos impactos causados pela agricultura.

3.3. CONDIÇÕES FÍSICAS DAS RODOVIAS NO BRASIL

A implantação da infraestrutura de transporte no Brasil nos moldes do que hoje se apresenta, teve início no final do século XIX e início do século XX. Nesta época, foram construídas as primeiras ferrovias com tecnologia predominantemente inglesa, as primeiras linhas de transmissão por empresas americanas, bem como construção de rodovias para a utilização de veículos automotores.

Apenas para ilustração da importância e comparação entre os empreendimentos de obras lineares, no Brasil, segundo dados referentes ao ano 2010 do ministério dos transportes (GEIPOT, 2010) existem 1.724.929 km de rodovias implantadas, 29.283 km de ferrovias e 16.084,87 km de dutos.

A importância econômica e social das rodovias é significativa para o país. A distribuição do transporte de carga no Brasil, em toneladas, é realizada 60,49% por rodovias; 20,86% por meio aquaviário; 4,86% em dutovias, e 0,33% por via aérea (GEIPOT, 2010).

As dutovias são compostas por oleodutos, gasodutos, minerodutos e, principalmente, por aquedutos. Os principais produtos transportados são: água, petróleo, nafta, gasolina, diesel, querosene, óleo combustível, álcool, gás natural e minérios (GEIPOT, 2010). Ainda segundo os dados do Anuário Estatístico de 2010, os minerodutos possuíam no ano 2010 extensão de 567 km, os gasodutos 6.490,97 km e os oleodutos 9.026,9 km; já os aquedutos são muito mais extensos e de difícil mensuração.

Segundo Preussler (1998) APUD Garibaldi (2004), o sistema rodoviário brasileiro responde pela circulação de 95% do transporte de passageiros. Dos 1.724.929 km de rodovias existentes no ano 2010, apenas 149.064 km pavimentados, ou seja, 8,6% do total, o que mostra a precariedade do sistema. Entre as rodovias pavimentadas, 56.097 km são de rodovias federais (aproximadamente 38%).

Apenas para comparação, Sijing (2005) expõe sobre as obras a serem construídas na China até o ano de 2.020, um país em franco desenvolvimento econômico. O autor destaca a importância dos estudos que estão sendo desenvolvidos para a construção de 100.000 km de ferrovias, 85.000 km de auto-estradas, 8.000 km de dutos para gás.

No estado de São Paulo, existe cerca de 230.000 km de rodovias (13% das rodovias do país), considerando-se rodovias federais, estaduais e municipais, sendo que, destas, menos de 30.000km são pavimentadas (20% das rodovias pavimentadas do país estão em São Paulo e 13% das rodovias do Estado são Pavimentadas) (ROMANINI, 2000).

Os dados atuais do ministério dos transportes (GEIPOT, 2010) apontam que 36,1% possuem o pavimento em mau estado de conservação, 36,2% o pavimento está em condições regulares e apenas 27,7% das rodovias encontram uma condição de pavimentação em bom estado de trafegabilidade. A situação de precariedade do sistema se torna mais evidente quando comparado com a situação de um país de dimensões continentais como a do Brasil, no caso, os Estados Unidos da América, onde a malha rodoviária asfaltada é 27 (vinte e sete) vezes maiores que a brasileira e a população é apenas 60% superior (GARIBALDI 2004).

Para elaboração da 1ª Etapa do Programa de Recuperação de Rodovias do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – PRR do DER-SP/ Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, que se encerrou em dezembro de 2006 foram cadastradas as áreas degradadas relacionadas às rodovias inseridas no programa. Estas áreas degradadas possuem diferentes naturezas: físico-química, biologia e sócio-econômica, e fazem parte dos impactos ambientais que migram da fase de implantação para a fase de operação e que não tem ações mitigatórias nos serviços de conservação e manutenção rodoviária, com resultados analisados indicando uma área degradada a cada 10 km de rodovia (DER, 2006).

Dentre as áreas degradadas levantadas e cadastradas, existem vários processos do meio físico. Foram registradas as feições de escorregamentos de encostas e taludes, erosões de diferentes tipos, assoreamento e colapsos afundamentos, sendo as erosões de processo mais comuns e mais numerosos com cerca de 60% dos casos, ocasionando assim uma forte pressão de assoreamento nos campos hídricos adjacentes da micro bacia hídrica.

O histórico da formação da erosão está ligado a diferentes causas relacionadas aos procedimentos de obra, tais como: movimentos de terra periféricos, sistemas de drenagens inexistentes ou ineficientes, faltas de cobertura vegetal em taludes de corte e aterro, antigas

áreas de apoio às obras (áreas de empréstimos, bota-foras, mineração), etc. Além de causas naturais, tais como: perfil de alteração dos solos, relevo, clima, pluviometria, etc.

Imagina-se que a situação de degradação ambiental encontrada no Estado São Paulo é menor que a situação de degradação existente com as rodovias do restante do país. Tal situação deve-se à falta de investimento público na conservação e manutenção de rodovias, atrelada à falta de pesquisa que possam subsidiar os trabalhos de conservação. Para as obras rodoviárias a falta de conservação e manutenção adequada leva à ocorrência de degradação de todos os seus componentes: sinalização, plataforma da rodovia (pavimento das faixas de rolamentos e acostamentos), dispositivos de acesso, sistemas de drenagem, etc. O conjunto degradado de uma rodovia coloca em risco a saúde e segurança do usuário, da população que vive nas suas proximidades e o meio ambiente.

Outros tipos de obras lineares, também causam degradação ambiental de diversas formas causadas por processos do meio físico. Os maiores impactos relacionados ao meio físico ocorrem durante a instalação destas obras. O desmatamento, exposição do solo, movimentação de terra, etc. induzem à formação de processos erosivos, assoreamento e escorregamentos em taludes. No entanto, a operação destes empreendimentos também ocasiona os mesmos processos em razão da ineficiência ou inexistência de sistemas de drenagem, falta de proteção superficial e inclinações excessivas de taludes (FORNASARI FILHO et al,1992).

As ferrovias brasileiras são, em geral, muito antigas. Uma situação muito comum que hoje se observa é a formação de erosões que causam a destruição da plataforma, e por vezes interrompem o funcionamento das mesmas. Os antigos sistemas de drenagem foram dimensionados para uma situação de pouca ocupação nas bacias de drenagem contribuintes e que atravessam as linhas férreas, no entanto, a ocupação avançou, impermeabilizou os terrenos e tornou os sistemas de drenagem obsoletos, com vazão insuficiente, causando erosões.

Santos (2002) descreve outro processo, o empastilhamento, que resulta em erosão superficial nos taludes das ferrovias e queda de material sobre linha férrea causando riscos ao tráfego das máquinas em Taquaritinga (SP). Também, a ocorrência de escorregamentos em taludes associados às ferrovias é muito comum, principalmente nas regiões serranas.

Sobre as linhas de transmissão de energia, Silva (2002) diz que a “instalação e operação das linhas de transmissão em áreas sensíveis, como as regiões serranas ou pantanosas, sugere alterações no meio físico mais significativas e que se estendem à fase de operação do empreendimento, podendo ser deflagrado ou intensificados diversos tipos de

movimentos de massa: rastejo, escorregamentos (incluindo rupturas de solos “moles”), movimentações de tálus etc, e processos erosivos mais intensos”.

A ocorrência de acidentes com linhas de dutos causados por processos do meio físico não é fato raro, e tem sido divulgado pela grande imprensa. Alguns destes acidentes estão associados a movimentos de massa em regiões serranas e geram o vazamento de produtos perigosos para o solo e recursos hídricos. As organizações empreendedoras estão tomando providências com relação à preservação de ocorrência de acidentes, e nesse contexto, estão realizando estudos para a preservação e gerenciamento (GRAMANI et al, 2005).

Nas rodovias a situação precária de gerenciamento e conservação, dentre outras razões que não são objeto de abordagem desta pesquisa, levou a criação no final da década de 90, ao sistema de concessão da rodovia à iniciativa privada, inspirando-se em experiências e modelos internacionais. O modelo consiste na concessão por tempo determinado, para consórcios de empresas privadas que assumem a responsabilidade de conservação, manutenção e implantação de melhorias nas estradas, em troca da exploração de tarifas de pedágio. Estas concessionárias são controladas por agências estatais reguladoras na federação e nos estados (DERSA, 2006).

A melhoria das condições rodoviárias nos trechos concessionados é perceptível aos usuários, porém a custos elevados de tarifas de pedágio. Dentre vários aspectos, o modelo de concessão exigiu a aplicação, por parte das concessionárias, de sistemas de gestão destas rodovias, que anteriormente eram parcialmente e em casos isolados, adotados pelos órgãos estatais, geralmente motivados por exigências de organizações financiadoras internacionais. Dentre estes modelos de gestão rodoviária insere-se a gestão ambiental e seus instrumentos.

No Estado de São Paulo, as rodovias que irão passar para regime de concessão são alvo de uma análise ambiental para a solicitação do pedido de Licença de Operação - LO. Com base na análise de três documentos para a solicitação de LO disponibilizados pelo Desenvolvimento Rodoviário S.A. – DERSA (DERSA, 2006b; DERSA, 2006c e DERSA, 2006d), verificou-se que estes documentos apresentam como conteúdo apenas o contexto do empreendimento na matriz de transportes da região, um histórico do processo de licenciamento do empreendimento, uma análise dos passivos ambientais da rodovia e um cronograma das ações para a obtenção da LO. Em geral, estes documentos são elaborados por empresas de consultoria contratadas pelos órgãos rodoviários e são submetidos à aprovação dos órgãos ambientais.

Dos documentos analisados pode-se constatar que estes respondem apenas parcialmente aos instrumentos de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), no que se refere principalmente à Auditoria Ambiental Preliminar e ao Cadastro de Passivos Ambientais. Com relação ao instrumento de Monitoramento Ambiental da rodovia nenhum dos documentos analisados abordava o assunto, pois estes não apresentam uma análise sobre a possibilidade de impactos ambientais do empreendimento na faixa lindeira em questão. Também, nenhum dos documentos apresentava um planejamento de ações que pudessem resultar na melhoria das condições ambientais da rodovia, que vão além da faixa de domínio, com algum dispositivo de contenção e disciplinamento das águas superficiais de drenagem.

3.4 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

A pesquisa bibliográfica e o desenvolvimento dos estudos mostraram que a aplicação de cartas geotécnicas como instrumento de gestão ambiental é ainda incipiente no país e poucos trabalhos foram publicados sobre o assunto.

Como o presente trabalho possui objetivo de criar técnicas de controle de impactos ambientais e demonstrar que a utilização e elaboração de cartas geotécnicas podem aperfeiçoar os instrumentos de gestão ambiental, apresenta-se a fundamentação teórica do estudo que foi básico para o desenvolvimento destas técnicas especialmente na manutenção e conservação de rodovias.

3.4.1. História da Cartografia Geotécnica

A observação do meio e a sua caracterização para a construção de obras e a ocupação do terreno são bastante antigas. Legget (1973) APUD Freitas (2000), cita exemplos de ocupações antigas realizadas com base na observação do meio físico. O mesmo autor descreve também a história da observação do terreno para a construção de obras de engenharia, identificando a publicação dos primeiros livros de Geologia de Engenharia do final do século XIX.

Os primeiros trabalhos de elaboração de cartas geotécnicas foram realizados no início do século passado na Alemanha com o objetivo de orientar a construção de cidades (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004). Posteriormente, segundo Freitas (2000), a elaboração das cartas geotécnicas teve um grande avanço nos países do Leste Europeu, tais como

Polônia, Romênia, Tchecoslováquia, Alemanha Oriental, URSS, etc. As cartas elaboradas variavam em escala e método conforme a aplicação a que se destinavam, desde o mapeamento de um país como a Bulgária em 1963 (na escala 1:500.000), até a carta geotécnica da área central de Praga de 1947 (na escala 1:12.000).

No Brasil, os primeiros trabalhos são oriundos da década de 70 no século passado, realizados por Coulon para a região de Morretes e Montenegro (RS) e outro realizado pelo IPT sobre os Morros de Santos e São Vicente (SP) (ZUQUETTE & GANDOLFI 2004).

Segundo a IAEG (1976), “mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, que são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente”.

Varnes (1974), diz que “um mapa geotécnico requer para a sua realização operações físicas de adição, seleção, generalização e transformação das informações especiais relativas a litologia, de estruturas de solos e rochas, hidrologia, geomorfologia e processos geológicos”. Para Matula (1974) “um bom mapa geotécnico é considerado o modelo mais ilustrativo do ambiente geológico servindo às finalidades de engenharia e outras”.

Os conceitos anteriores são todos corretos e válidos. Porém, considera e complementa-se com a definição, de Prandini et al., (1995), de que: “as cartas geotécnicas expressam, na prática, o conhecimento geológico aplicado ao enfrentamento dos problemas causados pelo uso e ocupação da terra, orientando medidas preventivas e corretivas para minimizar os danos ambientais e os riscos aos próprios empreendimentos”.

No entanto, o conceito apresentado por Freitas (2000), que discorda em parte do conceito proposto pela IAEG (1976), é o que mais tem relação com a proposta desta pesquisa, e define que “a carta geotécnica deve ser considerada um produto cartográfico que interpreta e representa características dos terrenos, de acordo com os objetivos previstos para a utilização destas informações, nos diferentes campos de atuação da geologia de engenharia”.

Com base nos conceitos apresentados, foi possível definir uma fundamentação conceitual, a partir da qual foi possível ter um referencial para a elaboração de técnicas de controle com premissas e critérios que incorporam o método, embasado em uma coerência teórica.

O conjunto dos conceitos apresentados indica, no geral, que as cartas geotécnicas devem ser desenvolvidas para que o conhecimento geológico e geotécnico seja

utilizado de forma adequada ao objetivo a que se dedica (empreendimento, obra, gestão ou outro), e também na solução de problemas existentes (processos do meio físico, instabilidades geotécnicas, outros), ou seja, sempre na aplicação prática.

Ainda segundo Freitas (2000), a elaboração de uma carta geotécnica no âmbito desses conceitos, utiliza como parâmetros e atributos fundamentais os dados do meio físico (rocha, solo, relevo, água e ar). No entanto, o autor considera que aspectos do meio biológico, social e econômico podem ser incorporados, se estes forem essenciais para correlação das solicitações do homem em relação ao meio. Para este estudo, o fator de uso e ocupação a ser considerado na rodovia é sua infraestrutura, principalmente a faixa de domínio.

3.4.2 Classificação das Cartas Geotécnicas

Uma proposta simplista, porém muito objetiva sobre os tipos de cartas, com base no uso específico que este produto se propõe, é apresentada em Zuquettee & Nakazawa (1998) por meio da diferenciação entre cartas geotécnicas aplicadas às obras civis e cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento urbano, territorial e ambiental.

Prandini et al., (1991) procuram ordenar os tipos de carta geotécnica, considerando que esse produto cartográfico pode-se apresentar sob diversas conceituações, dependendo do objetivo e alcance do seu conteúdo, da diferença entre a natureza e comportamento dos terrenos em estudo e dos diferentes desafios inerentes de sua ocupação. Desta forma, propuseram a seguinte classificação:

1. Cartas geotécnicas propriamente ditas, quando expõem as limitações e potencialidades dos terrenos e estabelecem as diretrizes de ocupação ante as diferentes formas de uso;

2. Cartas de Risco Geológico tem como base a avaliação de dano à ocupação, ante uma ou mais características ou fenômenos, naturais ou induzidos pelo uso do solo (a própria atividade posta em risco ou atividade assim conflitante);

3. Cartas de Suscetibilidade destacam um ou mais fenômenos ou comportamentos indesejáveis, pressupondo, ainda, uma forma de uso do solo;

4. Cartas de Atributos ou Parâmetros (geológicos, geotécnicos), quando se restringem a apresentar a distribuição geográfica de características de interesses (atributos, parâmetros geotécnicos), a uma ou mais forma de uso e ocupação.

Essa classificação proposta, apesar de uma fundamentação na aplicação, generaliza as definições e estreita a possibilidade de aplicação da cartografia geotécnica em outras áreas do conhecimento que são afins à Geologia de Engenharia, pois restringe o leque de atividades possíveis de serem consideradas.

Para a cartografia geotécnica voltada ao planejamento urbano, Bitar et al., (1992), propõem novas denominações, considerando a classificação semelhante à apresentada anteriormente por Prandini et al. (1991), sendo: Cartas Geotécnicas Dirigidas, Cartas Geotécnicas de Risco Geológico, Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade e Cartas Geotécnicas Convencionais.

Com base nas propostas anteriores, Freitas & Almeida (1997) apresentam uma nova classificação com maior preocupação no objetivo de cada carta, considerando sempre a sua aplicação e considerando em sua elaboração parâmetros de outras áreas do conhecimento, tais como o uso e ocupação do solo, tipos de vegetação, etc. Estes autores denominam todos os tipos de cartas propostas como “cartas geotécnicas”.

Foi proposta a classificação de uma gama de cartas geotécnicas, apenas como uma estrutura de referência, que possibilita a definição melhor do escopo próprio de cada carta, de acordo com as diferentes atividades de ocupação do solo, desenvolvendo metodologias específicas mais adequadas. É, portanto, uma classificação aberta que permite, inclusive, a elaboração de produtos compostos por mais de um tipo de carta, tendo como base os campos de aplicação da Geologia de Engenharia e os métodos mais comuns de elaboração disponíveis, assim propostas:

- Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade – aquelas que destacam a suscetibilidade do terreno a um ou mais fenômenos, a partir do entendimento dos mecanismos de deflagração dos processos responsáveis pela sua ocorrência, para adotar medidas preventivas ou corretivas de seu desenvolvimento. Recebe a denominação do (s) processo (s) considerado (s) (p. ex., Carta de Suscetibilidade a Erosão, ou simplesmente, Carta de Erosão);

- Cartas Geotécnicas de Parâmetros – aquelas que mostram a distribuição geográfica de parâmetros geológico-geotécnicos, selecionados e interpretados para atividades civis bastante específicas (p.ex., Carta de Fundação, voltada para implantação de loteamentos, construção de edifícios e outras obras), fornecendo ao engenheiro informações relativas aos parâmetros do solo e da rocha (valores referentes às suas propriedades físicas);

- Cartas Geotécnicas de Planejamento e Gestão Territorial – aquelas que apresentam elementos do meio físico e dos modos de ocupação do solo, que participem dos dados de percepção e avaliação para o estabelecimento de metas e ações de desenvolvimento do território e para sua implementação e seu monitoramento. Assim, deve oferecer

condições de avaliação que dote o planejador de capacidade para intervenções que constituam cenários de desenvolvimento viável;

- Outras (Cartas Geotécnicas de Capacidade de Uso da Terra, Cartas Geotécnicas Aplicadas aos Recursos Minerais, Cartas Hidrogeotécnicas).

Apesar de considerar uma gama maior de atividades da Geologia de Engenharia, aplicação em gestão ambiental não é explicitamente incorporada em nenhum dos tipos de cartas geotécnicas apresentadas, mas apenas gestão territorial. No entanto, Freitas e Almeida (1997) dizem que pode ser incorporado um novo tipo de carta na classificação, com base no método a ser utilizado e ajustado sempre ao objetivo específico da carta. Portanto, a questão passa a ser do método aplicado a cada tipo de carta, e não da concepção comum a todos eles.

Com uma proposta diferenciada, oriundo de uma linha de pensamento diferente das anteriores e proveniente de um amplo estudo de várias metodologias, Zuquette (1987) descreve que, os mapas e/ou cartas podem ser classificados quanto a diferentes aspectos: conteúdo (mapas fundamentais, cartas derivadas, cartas interpretativas), finalidade (carta de uso geral, carta de uso específico), escala (grandes, intermediárias e pequenas), entre outros. Posteriormente, Zuquette (1993) apresenta um detalhamento da proposta orientada no procedimento global do processo, desde a obtenção dos atributos, até a elaboração de cartas específicas, assim como com relação a regras cartográficas e de conteúdo de qualidade.

Esta proposta prevê que as diferentes classificações variam em função do método empregado, o que coincide com a proposta de Freitas e Almeida (1997), porém considera de forma secundária a aplicação como fundamento de sua classificação e dá ênfase à linha teórico-conceitual utilizada na elaboração da carta o que diferencia completamente da proposta anterior.

A generalização dos conceitos e a base apenas no método empregado na sua elaboração dificultam a tentativa de classificação das cartas geradas por esta pesquisa na conceituação apresentada por Zuquette (1993). Se for feita uma tentativa de classificação do produto aqui produzido poder-se-ia dizer que é uma carta interpretativa, com finalidade de uso em gestão ambiental, elaborada com escalas variadas, o que parece ser bastante vago.

Analisando diferentes métodos de elaboração de cartas geotécnicas, Vadovello (2000), propõe que existem dois tipos principais de cartas geotécnicas, quais sejam: as cartas provenientes de análises integradas de princípios geomórficos e as cartas provenientes da integração de diferentes atributos. A primeira pode ser considerada como produto de um

zoneamento geotécnico e a segunda diz respeito à representação do terreno em função de suas características e propriedades geotécnicas.

Na proposta de Vedovello (2000), a classificação do produto a ser gerado, assim como Zuquette (1987), independe do uso futuro, considerando apenas do método que será empregado na sua elaboração. No entanto, o mesmo autor, assim como Freitas e Almeida (1997), propõe que: “*A Forma de analisar e representar as informações referentes ao mapeamento geotécnico vai depender da finalidade a que se dispõem os mapeamentos*”.

Portanto, neste estudo utiliza-se a seguinte proposta de classificação: as cartas geotécnicas devem ser classificadas com base primeiramente nos processos do meio físico em análise, em segundo no seu objetivo final de utilização e, por último, no método de elaboração da carta. Os produtos deste estudo são as Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade às Erosões Aplicadas à Gestão Ambiental da faixa de domínio de Rodovia. Quando elaborada em outras situações, poderia utilizar diferentes métodos devido às particularidades dos ambientes e aos diferentes processos do meio físico atuantes.

3.4.3 Métodos de Elaboração de Cartas Geotécnicas

Tanto no Brasil como no mundo, em geral, as cartas geotécnicas são produtos elaborados como subsídios para a realização de obras de engenharia e planejamento territorial. Os estudos direcionados a obras de engenharia apresentam, principalmente, as características físicas e geomecânicas dos diferentes materiais. Os estudos voltados ao planejamento territorial envolvem análises do terreno e da paisagem utilizando-se de critérios geomórficos para a definição das unidades, porém podem também detalhar as características físicas dos materiais, dependendo do interesse da carta. As cartas geotécnicas foram criadas para a implantação de obras civis e estruturais e outras atividades antrópicas, principalmente em áreas urbanas (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

A diversidade de objetivos das cartas geotécnicas levou ao desenvolvimento de uma infinidade de métodos de elaboração. Os métodos de coleta de dados para a elaboração das cartas geotécnicas diferem muito dos mapas geológicos são elaborados por meio de interpretação de dados de sensoriamento remoto (imagens aéreas), métodos diretos de coleta de dados (levantamento de campo para caracterização litológica, estrutural, entre outros.) e métodos indiretos (geofísicos), não necessariamente nesta sequência, podendo sempre retornar à ferramenta (de coleta de dados) da etapa anterior.

As cartas geotécnicas podem ser elaboradas utilizando-se de varias formas de coleta e entrada de dados, e também com dados de diferentes naturezas.

No entanto, os dados geológicos e geotécnicos sempre devem ser apresentados para a caracterização do terreno, mesmo que estes não sejam os principais responsáveis pela compartimentação em unidades homogêneas.

Importantes contribuições na tentativa de formalizar uma metodologia padrão podem ser identificadas ao longo da história da cartografia geotécnica, tais como: IAEG (1976), Sanejouand (1972), Grant (1974) com a metodologia PUCE, Chazan (1974) com a metodologia ZERMOS, entre outras.

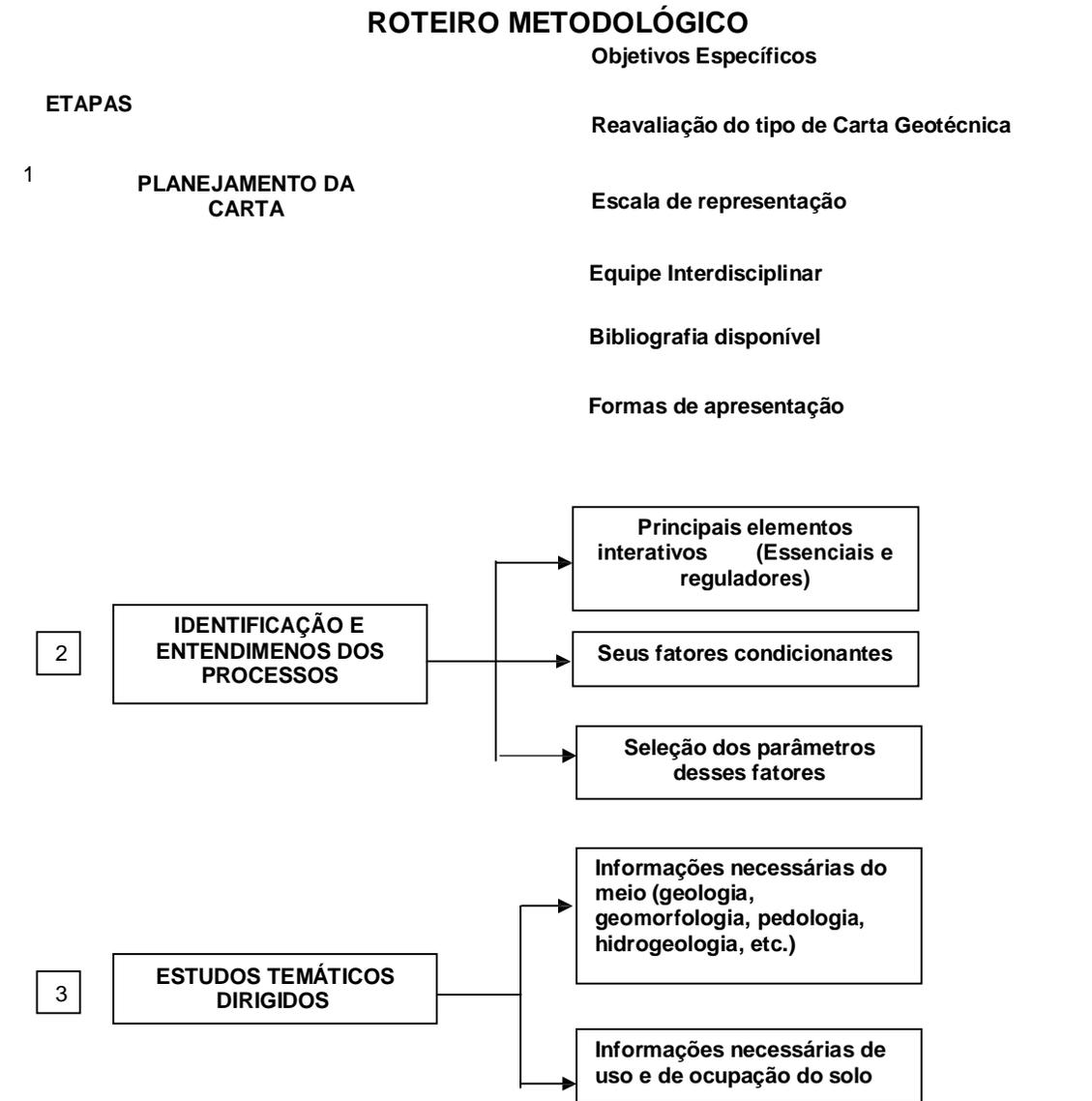
Os métodos propostos pela IAEG (1976), PUCE – PaternUnits componentes Evaluation (GRANT, ZERMOS – Zonas expostas a riscos de movimentos de solo (CHAZAN, 1974), de forma geral, têm como base a utilização de sistemas de classificação dos terrenos utilizando-se de características geográficas (VEDOVELLO, 2008). O comum entre estes métodos é a utilização, em diferentes etapas e de diferentes formas, da caracterização dos componentes do terreno. Estes componentes e a relação entre eles são analisadas de diferentes maneira entre estes métodos, por vezes ainda, utilizam-se de outros atributos, o que faz gerar diferentes produtos.

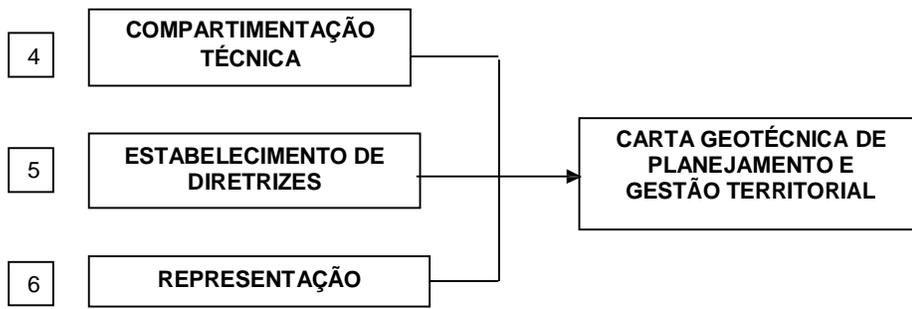
No método proposto por Sanejouand (1972), são realizadas análises isoladas diversos atributos do meio físico. No processo de elaboração das cartas geotécnicas, vários mapas temáticos são elaborados para análise de diferentes atributos. Esta análise é realizada individualmente por cada atributo, definindo-se pessoas para cada um destes visando a integração dos dados obtidos. Dependendo do tipo de produto desejado, é possível a definição de diferentes importâncias aos atributos. Pode-se gerar uma diversidade de cartas de aptidão de uso e ocupação do terreno em detrimento da possibilidade de diferentes usos futuros. O comportamento geotécnico de cada um dos compartimentos definidos é caracterizado por meio físico de análise e ensaios.

No Brasil, os principais métodos de elaboração de cartas geotécnicas foram sendo consolidadas a partir da década de 80, após a realização dos primeiros trabalhos na década anterior. Zaquette (1987) propõe um método com a linha teórico-conceitual baseada na proposta francesa de Sanejouand (1972). Deste método, obtêm-se cartas que representam unidades do terreno em função de suas características e propriedades geotécnicas (VEDOVELLO 2000). No geral, os produtos deste método apresentam escalas muito grande e também uma grande quantidade de unidades do terreno, que apesar da precisão e boa qualidade dos dados dificulta a sua aplicação.

O método desenvolvido pelo IPT (PRANDINI et al, 1995; DINIZ,1998; ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998 e FREITAS, 2000), tem como principal fundamento o processo geológico atuante no terreno. A base teórico-conceitual é proveniente das propostas de metodologia PUCE (GRANT, 1974), ZERMOS (CHAZAN 1974) e IAEG (1976), ou seja, análise geomórfica dos terrenos, que segundo Florenzano (2008) são cartas de unidades do relevo. Porém, em alguns trabalhos do IPT, são utilizados alguns aspectos da cartografia de unidades da paisagem. Nos trabalhos que definem as unidades da paisagem pode-se considerar que é utilizado, em parte, o método proposta por Zuquette (1987), como por exemplo, a integração de mapas temáticos. Na Figura 11 é apresentado o fluxograma da metodologia desenvolvida e aplicada pelo IPT (FREITAS, 2000).

Figura 11. Fluxograma da metodologia desenvolvida e aplicada pelo IPT.





Fonte: FREITAS, 2000.

As cartas geotécnicas desenvolvidas pelo IPT têm como fundamento a análise preliminar dos processos geológicos atuantes. Posteriormente é feito um planejamento da carta com base na sua aplicação (PRANDINI et al. 1995, DINIZ 1998, ZUQUETTE & NAKAZAWA 1998 e FREITAS, 2000). Nas cartas do IPT, são considerados os aspectos de uso e ocupação do solo existente e os problemas relacionados a esta ocupação. Também, são consideradas as expectativas de uso e ocupação de solo futura, realizando-se uma análise das solicitações que esta irá exercer sobre o terreno, apresentando recomendações para minimização de impactos ambientais e de acidentes geológicos, ou seja, é considerado objetivo da carta.

São, portanto produtos voltados ao planejamento e gestão territorial, porém existem trabalhos direcionados a obra e outros usos. A coleta de dados é objetiva e orientada ao problema existente e ao objetivo da ocupação do terreno. As escalas de apresentação são variáveis em detrimento do processo geológico em análise e do uso a que se destina. São produtos dinâmicos que permitem incorporar novos dados do meio físico que permitam o detalhamento da escala e de novas formas de uso do solo.

Também baseado na linha teórico-conceitual de elaboração de cartas geotécnicas fundamentadas na análise geomórfica dos terrenos, foi desenvolvido o método utilizado pelo Instituto Geológico do Estado de São Paulo – IG-SP. Os trabalhos buscam a individualização de unidades de tipos de terrenos com base em dados geomorfológicos, geológicos, pedológicos e de vegetação (PIRES NETO & YOSHINAGA, 1995; VEDOVELLO, 2000 e BROLLO, 2001). Vedovello (2000, p.), descreve que estes *“trabalhos de zoneamento geotécnico possibilitam a elaboração de um produto com representação de uma forma mais simples e objetiva”*. É proposto um método de análise integrada do terreno por meio da interpretação de produtos de sensoriamento remoto e imagens aéreas, com a complementação de informações dos meio físicos existentes e levantados em campo de forma conjunta (ROSS, 1995). Os trabalhos são voltados principalmente ao planejamento e gestão territorial e são apresentados principalmente em grandes escalas, mas o método possibilita o detalhamento dos produtos.

Os métodos de compartimentação geralmente utilizam da avaliação dos terrenos *“terrinevaluation”* (MILES, 1951), também chamada de compartimentação fisiográfica (VERSTAPPEN, 1977). Segundo Florenzano (2008), para o mapeamento geomorfológico este método pode ser definido como levantamento de unidades da paisagem. A técnica é oriunda de Herbeson em 1995, que utilizou das formas do relevo para a descrição regional (GRANT, 1970). Segundo (LOLLO, 1995) a técnica foi desenvolvida e largamente utilizada, em trabalhos de caráter regional, entre os anos 50 e 60 do século XX.

As primeiras aplicações de fotografias aéreas utilizadas para fins de planejamento geotécnico de rodovias por meio da identificação de Feições do terreno são de Belcherr (1948).

Zuquette e Gandolfi (2004) relatam que “o principal objetivo da técnica da avaliação dos terrenos é permitir melhor entendimento do modelo conceitual de terreno, de tal forma que diminuam os trabalhos de campo, as amostragens e os ensaios laboratorial e de campo”, o que coincide com os objetivos da pesquisa. Esta técnica prescinde o cruzamento de vários mapas temáticos (geológico, geomorfológico, pedológico) e, portanto, não é necessária a elaboração de mapeamento em escalas o que proporciona a otimização de tempo e orçamento.

Segundo Vallejo (2002), a relação benefício/custo da utilização de informações preliminares e trabalhos de campo é muito mais alta do que a realização de investigações diretas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 02. Relação benefício/custo da utilização de informações preliminares e trabalhos de campo.

Atividade	Custo	Benefício	Relação benefício/custo
Revisão bibliográfica	baixo	muito alta	2,7
Reconhecimento de campo	baixo a médio	muito alto	2,7 a 1,6
Ensaio de laboratório	baixo a médio	alto a baixo	2,3 a 0,6
Investigação in situ Preliminares-anteprojetos	médio a alto	alto a baixo	1,4 a 0,4
Investigações in situ – projeto	alto	alto	1,0

Fonte: VALEJO, 2002

A caracterização do meio físico deve ser apresentada de forma integrada (geologia, pedologia, geomorfologia e geotecnia), por meio da descrição de perfis e seções compostas desde o solo superficial até a rocha sã, para a cada uma das unidades homogêneas (SOUZA, 1992; LOLLO, 1995).

A aplicação desta técnica possibilita a compartimentação do terreno em unidades cada vez menores (dependendo da escala pretendida) a partir do uso de sensores remotos e/ou de trabalhos de campo (LOLLO, 1995). Para este tipo de compartimentação são propostos hierárquicos quais sejam: sistema de terreno (“land system”), unidade de terreno (“landunit”) e elemento de terreno (“landelement”). A utilização dessa técnica para fins geotécnicos varia segundo a escala e a finalidade, porém,

compondo com o método do detalhamento progressivo, podendo classificá-los em três categorias: (1) regional multi-finalidade; (2) regional finalidade específica; e (3) local, onde a pesquisa se detém mais detalhada.

O primeiro grupo é voltado à identificação dos terrenos com vistas à caracterização e planejamento regional (AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, 1960).

O trabalho com finalidade específica possuem como objetivos mais comuns a implantação de obras lineares, análise de riscos, e também, atividades agrícolas (LOLLO, 1995). Segundo o método proposto pelo autor, na fase semi-detelhe da pesquisa serão realizados os estudos para o levantamento das Unidades de terreno.

Como esse objetivo, foram desenvolvidos trabalhos para a implantação de rodovias em colônias britânicas na África por Schofield (1957a e 1957b), Clare e Beavan (1957), Dowling (1963 e 1964).

Segundo Lollo (1995), os trabalhos locais incluem estudos de avaliação do terreno para fins de prospecção de materiais de construção e para análise de risco de estabilidade dos terrenos.

Cerri et al. (1996) e Zaine (2000) propõe um método de análise do terreno e elaboração de cartas geotécnicas batizadas de detalhamento progressivo, com base na proposta das hipóteses progressivas de Santos (1994). Nesse método, os autores propõem uma descida na escala de observação partindo da análise regional ao detalhamento de investigações pontuais. A cada etapa do trabalho, ou escala de detalhamento, é realizada uma avaliação sobre a resposta que o produto elaborado apresenta, e se atende aos objetivos propostos (Figura 12). Se a resposta for negativa, será necessária uma avaliação e análise em maior detalhe.

Figura 12. Sequência dos trabalhos de método do detalhamento progressivo, mostrando as etapas descritas e os trabalhos realizados em cada etapa.

ETAPAS DETALHAMENTO	ESTUDOS REALIZADOS	MATERIAL CARTOGRÁFICO UTILIZADO	ENSAIOS Quantificação
<p>1ª FASE (GERAL)</p>	<p>Geológico, geotécnico geomorfológico e pedológico</p> <p>Áreas de proteção e problemas ambientais</p> <p>Avaliação da necessidade e seleção de áreas para semi-detalhe</p>	<p>Mapas temáticos regionais Mapa topográfico 1:50.000</p> <hr/> <p>Estudos locais Aerofotos 1: 25:000</p> <hr/> <p>Mapa topográfico 1: 10.000 Imagens aéreas de detalhe</p>	
<p>2ª FASE (SEMI-DETALHE)</p>	<p>Bacias hidrográficas</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Legislação ambiental</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Levantamento das Áreas degradadas</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Compartimentação do terreno em unidades</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Mapa de suscetibilidade natural dos terrenos</p> <p style="text-align: center;">Avaliação da necessidade</p> <p style="text-align: center;">↓</p>		<p>Dados de Superfícies – Perfis Típicos das Unidades. Avaliação da necessidade de realização de ensaios.</p>
<p>3ª FASE (DETALHE)</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Estudos de detalhe Carta de risco e monitoramento local</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Técnicas de controle</p>	<p>Planta de detalhe (1:1.000 a 1:5.000) com o projeto executivo.</p>	<p>Realização de ensaios se necessário.</p>

Fonte: (ZAINÉ 2000).

3.4.4 Aplicação de Cartas Geotécnicas em Gestão Territorial

Os estudos desenvolvidos para a gestão territorial são, principalmente, direcionados para o planejamento e gestão de áreas urbanas. No entanto, existem cartas apresentadas em escala regional e de semi-detalhe, voltadas a gestão do terreno com diferentes finalidades (planejamento estratégico de infraestruturas, planejamento ambiental, gestão de recursos hídricos, etc.).

Com base na descrição de instrumentos e mecanismos de gestão ambiental, Vedovello (2000) apresenta uma proposta de utilização de cartas geotécnicas para a gestão territorial regional. A partir das cartas geotécnicas elaboradas e compartmentadas em Unidades Básicas de Compartimentação – UBC são apresentadas propostas para o plano de manejo de um parque estadual e de um plano diretor municipal.

Em áreas urbanas as cartas geotécnicas podem subsidiar instrumentos legais, tais como: plano diretor municipal, lei de uso e parcelamento do solo urbano, plano de defesa civil, código municipal de obras e também, a gestão ambiental municipal (PRANDINI et al., 1995 e RIDENTE, 2000).

Para o plano diretor municipal, em conjunto com a lei de uso e parcelamento do solo urbano, a carta geotécnica é um instrumento de planejamento que pode estabelecer um conjunto de diretrizes, como a escolha de áreas de especial interesse social, definição de vetores de expansão municipal, delimitação de áreas de preservação, traçado de áreas de proteção, planejamento do traçado viário em áreas de expansão, definição de locais para a instalação de equipamentos públicos, entre outros (SALOMÃO, 1994; CANIL, 2000).

Como instrumento de auxílio a um plano municipal de defesa civil, a carta geotécnica é utilizada para identificação da vulnerabilidade e riscos a processos geológicos e hidrológicos. São identificadas as áreas de encosta mais íngremes com risco de escorregamentos. Os terrenos mais suscetíveis a erosão, os fundos de vale onde ocorrem as enchentes, entre outros processos. A carta geotécnica de planejamento territorial em um município possibilita a identificação de áreas críticas e de risco que deve ser alvo de estudos detalhados, monitoramento e gerenciamento (CERRI et al, 2004 e CANIL et al., 2004).

No código municipal de obras, a carta geotécnica possibilita a definição de tipos de obras padrão, para cada compartimento do meio físico. Estes tipos de obra podem estar

relacionados à fundação, padrões construtivos de moradias, Drenagem, pavimentação, etc. (RIDENTE, 2000). Salsa (2002) apresenta um exemplo do código de obras de um município sendo aplicado na Gestão ambiental do mesmo, tendo como base de estudos levantamentos do meio físico, biótico e social.

A carta geotécnica é um importante instrumento para a gestão ambiental municipal, possibilitando a identificação dos limites de áreas de preservação, áreas degradadas ou com potencial de contaminação, áreas contaminadas ou com potencial de contaminação, de locais para implantação de aterros sanitários, etc. Também é possível a implantação de políticas de monitoramento ambiental de áreas de expansão, gestão das áreas degradadas, licenciamento ambiental de empreendimentos, entre outras (IPT, 2000a e VEDOVELLO, 2000).

Agena (2005) apresenta uma proposição de carta geotécnica direcionada ao planejamento de uso das terras rurais. A elaboração da carta tem como base o mapeamento pedológico. O mapeamento pedológico foi realizado com base na declividade dos terrenos e na interpretação das fotografias aéreas e é apresentado em perfis de solo e seções típicas de cada uma das vertentes. O resultado da pesquisa é a definição da potencialidade de cada uma das unidades mapeadas.

Na gestão territorial de unidades de conservação (parques e áreas de proteção ambiental, etc), as cartas geotécnicas são instrumentos na definição de políticas preservacionista e de uso e ocupação do solo. A identificação de áreas com diferentes potencialidades, atreladas à legislação ambiental em vigor, possibilita a gestão dos procedimentos de fiscalização e controle dos limites das unidades de conservação, por meio da sua consideração no plano de manejo. Também, é uma ferramenta para a aplicação de uma política de desenvolvimento sustentável, por meio da proposição de usos específicos em determinados domínios e restrições de uso em domínios de menor potencialidade produtiva e com maior potencialidade de impactos, ambientais (IPT, 1991; LOPEZ et al, 1995; VEDOVELLO 2000).

Para as bacias hidrográficas, a utilização das cartas geotécnicas é realizada para a aplicação na gestão dos recursos hídricos. As cartas para a gestão dos recursos hídricos podem combinar a análise das águas e terrenos superficiais com análise das águas subterrâneas. As cartas devem identificar os limites de áreas de preservação, degradadas contaminadas ou com potencial de contaminação, de locais para a implantação de aterros sanitários, etc. É interessante que as unidades homogêneas identificadas indiquem

a suscetibilidade natural à erosão, para a adoção de políticas de prevenção ao assoreamento dos corpos d'água. Algumas cartas ainda apresentam os níveis freáticos, a potencialidade hídrica dos recursos subterrâneos e a potencialidade à contaminação desses recursos (IPT 199a, IPT 1999b, IPT 1999c, IPT 2000b, IPT 2000c).

3.4.5. Cartas Geotécnicas à Erosão

Alguns trabalhos de gestão territorial priorizam o tema da erosão para o direcionamento dos seus estudos e elaboração da carta geotécnica.

Segundo Iwasa&Fendrich (1998), no planejamento urbano estas cartas podem auxiliar na determinação do zoneamento de uso do solo, na delimitação do perímetro urbano e no direcionamento do vetor preferencial de expansão urbana. Também, podem ser utilizadas em conjunto colaborando na definição de leis ambientais municipais, indicando áreas de proteção permanente, áreas de preservação, áreas destinadas a parques e praças públicas e áreas de proteção de mananciais.

A carta de suscetibilidade à erosão é a base para a orientação de poder público na escolha e seleção de áreas preferenciais para a instalação de futuros conjuntos habitacionais e loteamentos principalmente populares já que estes são grandes indutores da deflagração de processos erosivos, por se instalarem geralmente em terrenos de menor custo, situados em áreas mais problemáticas sob o ponto de vista geotécnica, além de poder apresentar diretrizes de implantação do sistema viário (SALOMÃO, 1994).

Estas cartas são bases para ações imediatas visando a não deflagração de novos processos erosivos e para a correção onde já houver processos instalados. Pode servir como base ao código de obras dos municípios, através da indicação de soluções normativas de obras de controle de erosões, bem como de soluções normativas para a implantação de novos loteamentos e conjuntos habitacionais (IWASA & FENDRICH, 1998).

Alguns estudos voltados à prevenção de erosão possuem como base metodológica atributos relacionados aos meio físicos e hidrológicos, como o potencial de escoamento superficial, definido pelo cumprimento da vertente, inclinação, formato, etc., e caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados para a definição da suscetibilidade dos terrenos, como são os casos de Gruber e Rodrigues (1995); Aguiar et al. (1995); Nishiyama e Zuquete (1996); Gomes e Rodrigues (1998); Grecchi e Pejon (1998); Rodrigues e Pejon (1998) e Almeida e Rodrigues (1998). Estes autores, por vezes, chamam as cartas geradas de potencial

à formação de erosões, potencial a risco de erosão ou suscetibilidade. Esta definição também é adotada por Pejon e Zuquette (1995), quando apresentam a importância no estabelecimento de cartas de potencial ao escoamento superficial para a definição do potencial a risco de erosão acelerada, ou seja, suscetibilidade natural.

Outros trabalhos utilizam a integração de dados pedológicos, geológicos e geomorfológicos para a definição de suas classes de suscetibilidade, tais como: Salomão (1994), Ridente (2000), Canil (2000), Ridente et al. (1998), além de vários outros trabalhos do IPT. O método de integração destes dados é que se diferencia entre frente aos processos de erosão é, no geral, o principal atributo para a definição das classes de suscetibilidade à erosão.

3.4.6. Cartas Geotécnicas Aplicadas a Empreendimentos

Segundo Legget (1964) APUD Zuquette (1987) as primeiras cartas geotécnicas foram elaboradas no ano de 1.902 por geólogos americanos que foram pioneiros na publicação de um trabalho que interpretava de maneira sistemática, dados geotécnicos sobre a caracterização do subsolo da cidade de Nova Iorque, com base em 1.400 furos de sondagens realizadas, como subsidio aos estudos de fundações.

Os primeiros trabalhos de elaboração de cartas geotécnicas realizadas na Alemanha no início do século passado buscavam retratar informações adequadas à implantação de obras civis e estruturais e outras atividades antropicas, principalmente em áreas urbanas (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

A construção de uma edificação exige, em geral, informações pontuais sobre o meio físico, que são necessárias para a concepção e projetos de suas fundações o tipo de solo, sua capacidade de suporte e a profundidade do nível d'água. Essas informações podem ser apresentadas em boletins de sondagem tipo SPT (perfil), o que facilita muito a visualização e o entendimento, conforme as normas já estabelecidas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1999). No entanto, para outros tipos de obras que exigem uma análise especial do terreno, faz-se necessária a especialização dos dados por meio de seções e mapas.

Para empreendimentos de grande porte (complexo de geração hidrelétrica, complexo de mineração, porto, ferrovia, metrô ou rodovia, etc), com interferência regional e

com grandes volumes de movimentação de solo e rocha, podendo atravessar diferentes tipos de maciços e cujas fundações podem ter de suportar enormes cargas, a quantidade de informações necessárias sobre o meio físico para o desenvolvimento do projeto também são enormes. Estudos e investigações como mapeamentos geológicos regionais e locais, levantamentos topográficos, sondagens a percussão e rotativas, estudo batimétricos, geofísicos, ismológicos, ensaios, análises laboratoriais, etc., são informações que consideramos durante a elaboração dos projetos.

A síntese das informações coletas pelas diferentes formas de investigação pode ser apresentada em planta (mapas e cartas), seções ou em blocos diagrama (três dimensões). Estas formas de síntese, geralmente elaboradas na fase de projeto, procuram apresentar o comportamento homogêneo de maciços de solo ou rocha frente às solicitações que a obra do empreendimento irá exigir. Dependendo do tipo de empreendimento e da necessidade de informações requeridas para a elaboração do projeto, uma ou mais dessas formas de síntese é apresentada. No geral, a apresentação mais comum para os dados geológico-geotécnico sem projetos de grandes empreendimentos se dá forma de seção, sendo nos casos mais complexos elaborados os blocos diagrama. A apresentação em mapas é mais rara, no entanto, existem vários trabalhos realizados.

As escalas de apresentação dependem da fase em que o empreendimento se encontra. Segundo Augusto Filho (1992) e Scarance (2004), nos estudos prévios e de viabilidade quando são mais utilizados os dados cartográficos. Para a elaboração dos projetos, também podem ser utilizados os produtos cartográficos oriundos de mapeamentos em escala de semi-detalle (escalas 1:100.000 a 1:25.000), e pra elaboração dos projetos executivos os dados necessitam ser apresentados em escala de detalhe (1:10.000 a 1:500), quando geralmente são apresentados na forma de seções e blocos diagrama.

A exigência legal de realização de estudos ambientais preliminares para a avaliação de impacto dos empreendimentos e proposição de medidas, leva à análise de produtos cartográficos regionais nos estudos prévios e, por vezes, à elaboração de produtos cartográficos de semi-detalle na fase de viabilidade do projeto. No entanto, em geral, estes estudos não apresentam obrigatoriamente a caracterização dos maciços por meio de ensaio e análise, mas apenas uma análise do terreno que pode ser desenvolvida por diferentes métodos.

3.4.7 Cartas Geotécnicas Aplicadas a Rodovias e Obras lineares

As primeiras cartas geotécnicas elaboradas para fins de planejamento geotécnico de rodovias foram elaboradas por Belcher (1948). Nas décadas de 50 e 60 do século passado, foram desenvolvidos trabalhos por ingleses para a implantação de rodovias em colônias britânicas na África (SCHOFIELD, 1957a e 1957b; CLARE & BEAVAN, 1957 e DOWLING, 1963 e 1964).

No geral, os trabalhos de mapeamento geotécnico são voltados para a implantação de empreendimentos para análise de alternativas de traçado estudo de disponibilidade de material, escavabilidade, estudo de estabilidade de maciços (solo ou rocha), ou seja, na sua fase de viabilidade (CAETANO, 2002; BIEVRE & MERCIER, 2005; DECK, LAUMOUNIER e MERRIEN-SOUKATCHOFF, 2005; OLIVEIRA R.; 2005; ONODA, 2005; REBELO, 2005; SARRA; 2005; SHANG, 2005). Gales (1995) definem quais condicionantes geotécnicos devem ser considerados como parâmetros para a elaboração de projetos rodoviários.

Para as rodovias, alguns trabalhos tomam como base o emprego da cartografia geotécnica visando a adequabilidade de terrenos na implantação e recuperação (NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, 1980). Barbosa e Cerri (2004), com base no mapeamento de superfície, apresentam as unidades geotécnicas e a utilidade a que cada uma destas pode servir ao empreendimento. Indica a potencialidade de realização de cortes, escavações e disponibilidade de material, além da sustentabilidade a processos, o que permitem a interpretação para avaliação de impacto ambiental.

Outros trabalhos utilizam a aplicação da cartografia geotécnica para previsão de acidentes relacionados a movimentos gravitacionais de massa (COSTA NUNES, 1982; ALMEIDA, L.C.R. 1998). Guaribaldi (2004) inova apresentando uma proposta que une a elaboração de carta geotécnica direcionada a movimentos gravitacionais de massa, com o modelo de previsão de acidentes a estes processos por meio de acompanhamento de índices pluviométricos em um Sistema de Gestão Ambiental de empreendimento rodoviário. No âmbito de um SGA, a mesma autora propõe o gerenciamento de passivos ambientais causados por escorregamentos.

Akioosi et al (2005) elaboram uma carta de restrições ambientais para a definição de traçado da rodovia que contorna o município de Sorocaba, SP. Para este estudo foram consideradas como atributos a topografia, as condições geológico- geotécnicas,

hidrologia, desapropriações e interferência no ecossistema, além das questões relacionadas à legislação ambiental.

Também com a finalidade da avaliação de impacto ambiental, no EIA/RIMA apresentado para o Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas (FUNDAÇÃO ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO, 2004), os dados do meio físico são apresentados de forma sintetizada em um produto chamado de “Mapa de Terrenos”.

Estes mapas, elaborado com base no método de Austin & Cocks (1978), apresenta uma análise conjunta entre os dados disponíveis de hidrografia, geologia, geomorfologia e cobertura de materiais inconsolidados. Este estudo apresentado de forma integrada proporciona um melhor entendimento da dinâmica dos terrenos favorecendo a análise de impacto ambiental.

Ainda, no projeto do Rodoanel Mario Covas – Trecho Sul é apresentado independente do estudo ambiental, os dados geológicos geotécnicos do projeto básico e executivo. São mapas geológicos na escala 1:25.000 elaborados com base em dados pretéritos, interpretação de fotografias aéreas e nos boletins de sondagens. Também, são apresentadas seções geológicas geotécnicas na escala 1:2.000 nos locais de maior interesse (escavações, fundações, etc.), com base nos perfis de sondagem.

Augusto Filho et al, (2005) apresentam os estudos realizados na Serra do Mar em São Paulo, para análise da suscetibilidade e escorregamentos e corridas de massa, em seis bacias hidrográficas que são atravessadas pelas rodovias Anchieta e Imigrantes em ambiente de um SIG. Foram utilizados os atributos de declividade, direção da encosta, curvatura da encosta, litologia e ocupação do solo.

3.5 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL RODOVIÁRIA

O Planeta se transforma desde a sua origem. Entretanto, no período marcado pela presença do Homem, a transformação deixou de ser geológica para ser também cultural, tecnológica ou, como proposto por Ter Stepanian (1998) e Oliveira A.M.S. (1994), tecnogênica. Estes autores propõem ainda, que a partir do momento que as transformações do Homem começam a esculpir um novo planeta, este passou a ser considerado um agente geológico, o que define um novo período geológico, o Quinário.

As transformações impostas pelas sociedades modernas deixam suas marcas no Planeta e são praticamente irreversíveis, pois são alterações nos sistemas ambientais (SANCHEZ, 1998). Segundo Wathern (1998), a mudança realizada por uma atividade em um determinado local por um período de tempo, só é comparada se essa atividade não tivesse sido iniciada.

As rodovias são intervenções realizadas pelo Homem que transformam o meio gerando uma nova realidade ambiental. Cabe ao Homem, utilizando da ciência e tecnologia, desenvolverem técnicas e procedimentos que proporcionem uma melhor condição na implantação e operação desses empreendimentos.

Os Sistemas de Gestão Ambiental – SGA foram criados com o objetivo de definir instrumentos que aperfeiçoem os métodos e práticas de controle ambiental de empreendimentos. A implantação de um SGA é resultado de uma Política Ambiental pré-estabelecida. A Política Ambiental de uma organização é definida em um documento que expressa o conjunto de objetivos, metas, normas e leis, procedimentos, atribuições e responsabilidades que serão implementadas pelos instrumentos do SGA (FORNASARI FILHO, 2001).

Também a política Ambiental é parte da política governamental (de um estado ou do país) e, mesmo tendo seus próprios objetivos, estes estão subordinados aos objetivos da política maior, devendo-se compatibilizar e integrar às demais políticas setoriais e institucionais desse governo (SILVA, 2002).

Na sequência são apresentadas as conceituações do Sistema de Gestão Ambiental (SGA):

- Sánchez (1994) define: “gerenciamento ambiental é o conjunto de operações técnicas e atividades gerenciais que visa assegurar que um empreendimento opere dentro dos padrões

legais ambientais exigidos, minimize seus impactos ambientais e atenda a outros objetivos empresariais, como manter um bom relacionamento com a comunidade”.

- Valle (1995) conceitua: “gestão ambiental é um conjunto de medidas e procedimentos bem definidos e adequadamente aplicados que visam reduzir e controlar os impactos produzidos por um empreendimento sobre o meio ambiente”.

- As normas NBR ISSO 14.001: 1996 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1996a) e NBR ISSO 14.004: 1996 (ABNT, 1996b), que tratam das diretrizes e procedimentos gerais, dizem que o Sistema de Gestão Ambiental constitui “*a parte do sistema de gestão global que inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, praticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental*”.

- Reis (1996) adota: “gerenciamento ambiental é o conjunto de rotinas e procedimentos que permite a uma organização administrar adequadamente as relações entre as suas atividades e o meio ambiente que as abriga, atentando para as expectativas das partes interessadas”.

As quatro definições têm similaridades e se complementem, apenas, cabe ressaltar que a definição apresentada por Sánchez (1994) explicita ao fato da adoção da gestão ambiental ocorrer predominante em empreendimentos já em fase de operação, que é o estudo de caso desta pesquisa.

A implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) por uma organização tem como pontos fundamentais, segundo Andrade, Tachizawa e Carvalho (2004), a: Prioridade na organização, partindo a iniciativa de seu dirigente máximo, Gestão integrada (processo de aperfeiçoamento contínuo, formação de pessoal técnico, auditoria preliminar, inovação de produtos seguros, conselho de consumidores, instalações adequadas, investigação e monitoramento, pesquisa, prevenção, exigência de melhoria dos fornecedores, planos de emergência, transferência de tecnologia, desenvolvimento de políticas publicas, comunicação aberta e cumprimento de normas, regulamentos e legislação).

O conjunto de medidas, procedimentos, rotinas, operações técnicas ou atividades gerenciais citados pelos autores, abrigam instrumentos que permitem gerenciar as atividades ambientais planejadas.

Bitar (1996) apresenta como instrumentos mais apropriados ao gerenciamento de empreendimentos: Avaliação de impacto ambiental; Auditoria ambiental; Recuperação de áreas degradadas; Monitoramento ambiental; Investigação de passivo ambiental; Seguro ambiental; Análise de risco e Sistema de gerenciamento ambiental.

Sánchez (1994) divide estes instrumentos em analíticos e organizacionais e discute a inserção de cada um deles, mas diferentes fases do empreendimento, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Fases de utilização dos instrumentos de gestão ambiental.

Tipo de Instrumento Fase de aplicação	ANALÍTICO (ajudam na tomada de decisão)	ORGANIZACIONAL (refletem a organização da empresa)
Projeto	Avaliação de impacto ambiental – AIA Análise de risco ambiental	Política ambiental da Empresa
Implantação	Monitoramento Ambiental Auditoria Ambiental Recuperação de Áreas Degradadas	Sistema de Gestão Ambiental – SGA
Desativação Fonte. (SÁNCHEZ, 1994)	Monitoramento Ambiental Recuperação de Áreas Degradadas Investigação de Passivo Ambiental	Seguro Ambiental

Apesar de estarem todos inseridos na fase de operação, é o fundamento desta pesquisa o estudo da utilização e o desenvolvimento dos instrumentos que estão inseridos no âmbito dos instrumentos analíticos propostos por Sánchez (1994) quais sejam: avaliação de impacto ambiental, auditoria ambiental, recuperação de áreas degradadas e monitoramento ambiental. Esses instrumentos não estão todos inseridos na operação, pois parte de um modelo ideal de funcionamento de um empreendimento; no entanto há várias rodovias estaduais e vicinais que existe desde a década de 50 e não foi alvo de um processo formal de licenciamento ambiental. A análise dos SGA como um todo tem o objetivo de entender o mecanismo de relação entre os instrumentos analíticos e propor melhorias.

A introdução dos conceitos dos instrumentos de gestão ambiental nas organizações das mais diversas áreas da economia foi motivada inicialmente pelas exigências dos órgãos reguladores (agências reguladoras) e das instituições financeiras internacionais. Até o início da década dos anos 90, eram realizadas apenas a avaliação de impacto ambiental e eventuais auditorias, sempre associadas à fase de instalação.

O início da utilização de outros instrumentos de gestão e a extensão do uso destes durante a fase de operação teve início neste século com a utilização da legislação ambiental brasileira, por meio da Resolução CONAMA 237/97, que acenou com agilização dos prazos de análises de pedidos de licença para empresa que adotem programas voluntários de gestão ambiental.

A experiência e os métodos de gestão ambiental de empreendimentos têm início no Brasil no final na década de 80. As primeiras experiências apontam à necessidade de envolvimento do corpo diretivo das organizações para que possa se alcançado o sucesso do SGA, e esta condicionante mantém-se até os dias de hoje. Sánchez (2006) cita outros fatores determinantes do sucesso de um SGA: preparação cuidadosa do plano de gestão, envolvimento de todas as partes interessadas e a adequada implantação.

Os trabalhos mais recentes apontam para a necessidade do conhecimento profundo do meio ambiente, como forma de otimização dos procedimentos de gestão (FORNASARI FILHO, 1996). Vários estudos já foram realizados e artigos publicados sobre SGAs aplicados a rodovias e outras obras lineares, tais como: Almeida, J.R.F. (1998), Silva (2002), Akioosi (2002), Kesselring (2002), Kuller (1998), Kuller (2005), Galves (1998) entre outros.

3.5.1 Avaliação de Impacto Ambiental – AIA

A Avaliação de Impacto Ambiental – AIA (*Environmental Impact Assessment – EIA* em inglês) designa uma série de procedimentos, ferramentas e metodologias, utilizadas por organizações públicas ou privadas, voltadas ao planejamento e gestão ambiental. É um dos instrumentos do SGA proposto para descrever, classificar e propor medidas para minimizar os impactos ambientais de empreendimento. Surgiu com objetivo de antever consequências futuras sobre a qualidade ambiental acerca de decisões tomadas na

atualidade. Suas ações são fundamentadas na prevenção, minimização, correção ou compensação de impactos ambientais (GALLARD, 2004 e SÁNCHEZ, 1991).

É proposto que o AIA seja um instrumento básico para a elaboração dos projetos de instalação dos empreendimentos, subsidiando com informações ambientais as decisões sobre as características do projeto.

Os documentos gerados para atender as exigências do processo de avaliação de impacto ambiental, são Estudo de Impacto Ambiental – EIA e relatório de Impacto Ambiental – RIMA que a evolução da legislação atrelou ao, processo de licenciamento ambiental (licença Previa – LP, Licença de Operação - Lo), (Lei Federal 6.938 de 1981, Resolução CONAMA 001/1986, Decreto Lei 99.274/1990, Resolução CONAMA 237/1997).

O instrumento da AIA é considerado uma ferramenta importante para a elaboração de uma política de desenvolvimento sustentável (GLASSON et al., 1999). Os mesmos autores, assim como Sánchez, Silva e Paula (1993) consideram que o AIA funciona apenas se for atrelado a uma política de decisão (processo de licenciamento), e como os apoios aos projetos de planejamento (viabilidade técnica, alternativas locacionais, etc.). Sanchez et al. (1994). Consideram ainda, que o AIA é um instrumento de gestão (seus fundamentos auxiliam na tomada de decisões do sistema de gestão ambiental) e também, um instrumento de negociação social (participação pública no processo decisório).

A AIA é considerada um processo democrático, que possui duas vertes principais: técnica- científica e política-institucional (MOREIRA, 1989).

O processo de AIA é dividido em etapas por vários autores. No geral, são propostas duas etapas: pré-aprovação e aprovação. Para Sánchez (1995), a etapa inicial se divide em **duas: a concepção do modelo** da análise e análise propriamente dita. Dias (2001) ressalta que se trata de um processo lento e moroso, e que necessariamente existe uma etapa inicial de triagem. Para Glasson et al (1999) o processo é cíclico, podendo ter retornos às etapas iniciais por meio da interação entre os vários estágios. Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, e dá outras providências.

No entanto, a AIA somente é válida se for realizado o acompanhamento da implementação de suas medidas propostas, além do acompanhamento da operação do empreendimento (WLODARCZYK, 2000; DIAS, 2001 E MORRISON SAUDERS, 2001).

No estudo de caso desta pesquisa, por se tratar de empreendimentos antigos e que está em operação, sem ter sido submetido a um processo formal de licenciamento ambiental, não

existe uma AIA como referência. Por tratar de empreendimentos em operação, para os quais não existe estudo ambiental preliminar, entende-se que a auditoria ambiental e a AIA se confundem em seus objetivos em seus objetivos (Braga et al. 1996).

O AIA, na sua essência, foi concebido para prevenir danos – e prevenção requer previsão, ou antecipação da provável situação futura (MILARÉ E BENJAMIN, 1993). Para um empreendimento em operação, não pode existir a previsibilidade do impacto, pois este já ocorreu ou está ocorrendo. No âmbito de um processo de licenciamento, o que pode ser feito para um empreendimento em operação é o reconhecimento do impacto ambiental que o empreendimento realizou durante as suas fases de implantação e operação.

A falta de estudos ambientais prévios é a situação mais comum no Brasil, e este quadro definiram a necessidade da elaboração de uma análise do impacto ambiental existente de um sistema de monitoramento (ROMANINI, 2000b). Desta forma, será apresentada uma caracterização do impacto ambiental existente com o qual a rodovia em operação tem algum tipo de relação.

Existem vários métodos de elaboração de AIAs, muito utilizados e conhecidos: espontâneo (*ad hoc*), listagem de controle (check list), matrizes (destaque para a matriz de Leopold), redes de interação (*networks*), superposição de mapas (overlay mapping), modelos de simulação, análise multicritério, sistemas especialistas e modelo Fuzzy (FOGLIATTI, FILIPPO E GOUDARD, 2004). Cada um desses métodos apresentam virtudes e limitações, dependendo do tipo de empreendimento e do contexto em que este se insere. Esses métodos são desenvolvidos para os estudos preliminares à implantação de um empreendimento, sendo que nenhum dos métodos existentes refere-se especificamente à análise de um empreendimento em operação.

Ross (1995) propõe que as análises ambientais para o meio físico têm de ser realizadas de forma integrada, e não como sínteses descritas de diferentes áreas do conhecimento (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Hidrologia, e outros) apresentados em mapas ou cartas separadas e em diferentes escalas.

Desta forma, a carta geotécnica, independente de seus métodos de elaboração, é uma ferramenta que busca promover a integração de informações temáticas (SANCHEZ, 2006), por meio do levantamento, avaliação e análise dos atributos do meio físico.

3.5.2 Auditoria Ambiental

A auditoria ambiental é um instrumento de gestão que permite uma avaliação sistemática, periódica e objetiva do desempenho ambiental de uma organização e dos sistemas de gestão implantados (VALLE, 1995).

Braga et al. (1996) destacam que o objetivo da auditoria ambiental é verificar o atendimento à legislação, normas, regulamentos e técnicas relativas ao conjunto de exigências ou requisitos ambientais. Fornasari Filho et al (1994) ressaltam o papel da auditoria como parte integrante do sistema de gestão ambiental das normas BS 7750 e ISSO 14001, juntamente com outros autores (RUESCA & DURÁN, 1995 e GILBERT, 1995).

Para a área industrial, Andrade, Tachizawa e Carvalho (2004) definem como objetivos da auditoria ambiental:

- Permitir a investigação sistemática dos programas de controle ambiental de uma empresa;
- Auxiliar na identificação de situações potenciais de problemas ambientais. Verificar se a operação industrial está em conformidade com as normas, padrão legais e também, com padrões mais rigorosos definidos pela empresa.

Valle (1995) define como pontos fundamentais a serem levantados no processo de auditoria:

- Situação do licenciamento, a competência para o controle dos riscos ambientais;
- Verificação da confiabilidade do monitoramento.

Silva (2002) complementa os objetivos da auditoria ambiental como sendo os seguintes:

- Avaliar o empreendimento levando em conta os passivos ambientais identificados e os eventuais custos de sua reabilitação;
- Melhorar as condições de diálogo da empresa com a comunidade e com os órgãos ambientais de licenciamento e controle seguradoras, organizações não governamentais – ONGs;

- Identificar possíveis melhorias na gestão dos gastos destinados à correção de problemas ambientais.

Sánchez (1994) acrescenta os resultados esperados de uma auditoria ambiental, a verificação da estrutura da organização para agir em situação de emergência.

Para empreendimentos em operação, Barros, Menandro e Silva (1993) consideram como mais adequado, o uso das auditorias de estudos de impacto ambiental.

– EIA e de operação, ou seja, a auditoria tem o objetivo de verificar a execução das medidas previstas nos estudos ambientais e a sua eficácia em relação aos efeitos que se pretende mitigar ou potencializar.

Como não existem estudos preliminares para o trecho de rodovia em questão, a auditoria ambiental será reconhecimento dos impactos existentes e no reconhecimento da potencialidade de formação dos novos impactos ambientais.

Para esta pesquisa, adota-se o conceito de auditoria preliminar informal, conforme a proposta de Braga et al. (1996), no entanto será chamado apenas de auditoria ambiental. Segundo os autores, a auditoria ambiental informal tem o objetivo de situar a organização, preparando para a análise de desempenho ambiental e deve ser realizada antes da implantação de um SGA formal.

O levantamento constitui-se na análise da situação ambiental atual do empreendimento em relação à existência de impactos ambientais e a possibilidade de ocorrência de novos impactos relacionados aos processos do meio físico (caracterização de impacto ambiental). Não serão verificados os procedimentos ambientais atuais das organizações, pois não é o objetivo da pesquisa.

A auditoria ambiental tem nesta pesquisa, o objetivo de identificar as áreas degradadas por erosão e assoreamentos e outros processos do meio físico ao longo da faixa de domínio da rodovia no trecho estudado, bem como identificar as condições da infraestrutura de drenagem existente. A razão para o levantamento da infraestrutura é que tem como premissa, que se o sistema de drenagem estivesse implantado com base em critérios técnicos e de maneira coerente com as limitações do meio em que se insere; a ocorrência de processos de erosão se daria apenas em casos acidentais ou por interferência de terceiros. Ou seja, serão identificadas situações potenciais de formação de problemas ambientais. O levantamento da infraestrutura de drenagem será realizado apenas em trecho piloto para análise de sua

eficiência e adequabilidade ao meio em que está inserida, apenas como demonstração do método.

3.5.3 Recuperação de Áreas Degradadas

A degradação ambiental considerada nesta pesquisa refere-se aos processos de erosão e assoreamentos, e outros processos do meio físico serão tratados secundariamente.

A degradação é adotada pela aproximação do conceito de impacto ambiental negativo, geralmente associado a situações estabelecidas por alguma intervenção humana (BITAR e ORTEGA, 1998).

Alguns autores consideram áreas degradadas como passivos ambientais. Sánchez (1998) considera como passivo ambiental “o acúmulo de danos ambientais que devem ser reparados a fim de que seja mantida a qualidade ambiental de um determinado local”. Também, alguns órgãos rodoviários chamam suas áreas degradadas de passivos ambientais (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE – DNT, 2006a; DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER/SP, 2006a; DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE SANTA CATARINA – DEINFRA, 2005; DEINFRA 2004a; DEINFRA 2004b; DEINFRA, 2004c e DEPARTAMENTO DE ESTRADA DE RODAGEM DO PARANÁ – DER/PR, 2004).

O conceito de ativo ou passivo ambiental este necessariamente relacionado a um processo gerencial e/ou comercial. São considerados ativos os estoques (insumos e almoxarifados), o imobilizado (maquinas, equipamentos e instalações) e o diferido (pesquisa, desenvolvimento de tecnologia e obtenção de informação) de uma organização.

Os passivos ambientais referem-se aos benefícios econômicos que serão sacrificados em função da obrigação contraída comercialmente perante terceiros para o meio ambiente. São relacionados aos custos ambientais de preservação e recuperação do meio ambiente (DE JORGE, 2001).

Bergamini (2000) relaciona as seguintes obrigações que podem ser consideradas passivos ambientais: legal (requerida pela legislação ou contrato), construtiva (quando parte da

iniciativa da própria organização em decorrência da sua política, respondendo a uma expectativa criada pela própria empresa), e equitativa (aquela cuja empresa considera correto fazê-lo).

Uma área degradada tornou-se passivo ambiental quando esta passa a ser considerada no balanço patrimonial de uma organização, especialmente quando se trata de empresas abertas de passivos ambientais, pois um de seus objetivos é demonstrar que a regularização ambiental do empreendimento tem de se desdobrar em ações concretas no âmbito de um plano de gestão ambiental e, portanto, considera-se que estas áreas serão recuperadas futuramente e necessitarão de investimentos para a realização das intervenções.

O conceito de recuperação associa a intenção de se obter a estabilidade dos processos do meio físico atuantes na área e, também, a sua recuperação visual (BITAR & ORTEGA, 1998). Consiste na recuperação para a proteção do solo contra a erosão e, em um sentido mais amplo, promover a integração da rodovia com o meio ambiente (FOGLIATTI, FILIPPO e GOUDARD 2006).

A recuperação de áreas degradadas de empreendimentos em operação, devido à possibilidade de existir um grande número de áreas, pode vir a requerer a elaboração de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD. Este instrumento é muito comum nas exigências dos órgãos ambientais durante os processos de licenciamento, ou quando da desativação de um empreendimento.

Augusto Filho (2002) apresenta uma proposta de gerenciamento de recuperação de passivos ambientais utilizando-se de um banco de dados no ambiente de um SIG. Segundo o autor, a proposta é organizar os dados e disponibilizar de forma fácil e rápida a consulta por terceiros.

O cadastramento desses passivos ambientais foi realizado utilizando-se o método adotado pelo DER/SP (DER/SP, 1991 e DER/SP, 2006a e DER/SP, 2006b). O método do DER/SP prevê um inventário uma hierarquização das áreas degradadas onde determinou-se uma priorização de intervenção como parte desse trabalho, através de uma formulação matemática com pesos e avaliações.

3.5.4 Monitoramento Ambiental

Bitar e Ortega (1998) definem Monitoramento Ambiental como sendo o instrumento que consiste essencialmente em realizar medições e observações específicas, em geral dirigidas a alguns indicadores e parâmetros, com o objetivo de verificar se determinados impactos ambientais estão ocorrendo, dimensionar a sua magnitude e, ainda, avaliar se as correspondentes medidas preventivas adotadas estão ou não sendo eficazes.

Complementando, segundo Valle (1995) e Donaire (1994), monitoramento ambiental pode ser definido como um sistema contínuo de observação, medição e avaliação. Estes autores propõem como objetivos:

- Documentar impactos de uma ação proposta;
- Alertar para impactos não previstos, ou mudanças nas tendências previamente observadas;
- Oferecer informações imediatas quando um indicador de impactos se aproxima de valores críticos;
- Oferecer informações que permitam avaliar medidas corretivas contribuindo para a troca ou ajuste das técnicas e ferramentas utilizadas;
- O período de monitoramento deve cobrir desde a concepção do empreendimento (caracterização da situação original gerando dados para comparações futuras) extrapolando, de acordo com o tipo de empreendimento, a vida útil do mesmo.

Para Cerri et al (2002), o monitoramento ambiental tem o objetivo de minimizar impactos ambientais de um empreendimento. Os autores propõem um método de documentação e ações que permitem o acompanhamento dos procedimentos adotados e da implementação das medidas compensatórias exigidas pelos órgãos ambientais.

Outros trabalhos citam exemplos de monitoramento ambientais realizados durante a execução de obras, ou seja, durante a implantação de empreendimentos. Gallardo (2004) apresenta o resultado do acompanhamento ambiental da implantação da pista descendente da rodovia dos Imigrantes – SP. De Jorge et al. (2004a), De Jorge et al. (2004b), De Jorge et al. (2005) e DER/SP (2004), apresentam o método e resultados da supervisão ambiental de obras de recuperação rodoviária no Estado de São Paulo.

Observa-se uma variedade de termos na definição dos trabalhos de monitoramento ambiental. De Jorge et al. (2005) conceituam supervisão ambiental como sendo o acompanhamento ambiental de obras por meio de vistoriais sistemáticas e periódicas, onde se verifica o cumprimento das medidas e procedimentos de prevenção apresentados preliminarmente nos documentos dos licenciamentos ambiental. A supervisão ambiental tem o objetivo de antecipar e identificar possíveis danos ambientais, atuando de forma preventiva e orientativa, com o intuito de evitar ou mitigar os impactos ambientais causados pelas mesmas e permitindo que estas sejam executadas de acordo com os procedimentos de controle preconizados nos projetos, sem a geração de qualquer passivo de ordem ambiental. A supervisão ambiental não apenas fiscaliza como orienta o cumprimento das metas de recuperação e melhoria da qualidade ambiental das obras.

A supervisão ambiental é, portanto, o monitoramento ambiental sendo realizado, durante a fase de implantação da obra tendo ainda a finalidade de fiscalizar.

O monitoramento ambiental é o acompanhamento ambiental de um empreendimento em todas as suas fases, realizado com periodicidade definida, com o objetivo de analisar se as medidas de prevenção ambiental estão sendo aplicadas, e também se existem ocorrências de impactos ambientais. Por meio da definição de um padrão ambiental exigido é possível, por meio do monitoramento periódico, analisar o desempenho ambiental do empreendimento (DERSA, 2006a).

A realização do monitoramento ambiental de um empreendimento deve sempre ter como base a avaliação de impacto elaborada anteriormente. Com base na AIA, são reconhecidos os impactos que podem vir a ocorrer nas diferentes fases dos empreendimentos, e pode-se avaliar se as medidas mitigadoras propostas estão sendo implantadas.

Na maioria das vezes, não estão disponíveis todos esses documentos e a elaboração do plano de monitoramento deve basear-se, principalmente, nos estudos do EIA-RIMA. Quando não existe nenhum desses documentos, é necessário um diagnóstico inicial que pode ser obtido por meio da elaboração de uma AIA ou Auditoria Ambiental (GALVES; AVO, 1998).

Esta análise preliminar das condições ambientais do empreendimento é a referência para implementação de um sistema de avaliação de desempenho ambiental a ser realizado com base no monitoramento do empreendimento.

3.6 OPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

A palavra transporte é identificada como uma mudança de lugar. Significa conduzir, levar pessoas e cargas de um local para outro. Portanto é essencial para o funcionamento de qualquer economia onde se evidencia cada dia mais a tendência para a formação de um mercado único com uma economia onde se evidencia cada dia mais a tendência para a formação de um mercado único com uma economia globalizada (Faria, 2001).

Para tal a operação rodoviária tem forte embasamento em oferecer condições plenas de transportes através das atividades da conservação após a implantação da rodovia pois é relação direta com as características primárias do projeto da rodovia, acrescido das técnicas de mitigação dos impactos em face do uso da rodovia, ou seja sua operação.

Um “sistema de transporte” é definido como um conjunto formado pelos seguintes elementos meio de transporte: (moto terrestre, hidroviário, aeroviário) via de transporte (trajetória) e instalações (terminais de carregamento e descarga).

A opção rodoviária seja para grande média e pequena distância uma modalidade fundamental de transporte e um importante avanço tecnológico é praticamente presente em todos os países.

Segundo o DNER (1997), “ A grande meta a ser alcançada por um gerenciamento cuidadoso de uma rodovia é a segurança de seus usuários, equivale a dizer que este gerenciamento se faz por meio de ações de atendimento, quando da ocorrência de acidentes.

Observa-se, no entanto que não foram considerados na referida conceituação os aspectos relativos à preservação, conservação e recuperação do meio ambiente.

Ressalta-se, assim, que para operar uma rodovia, faz-se necessário o desenvolvimento de atividades paralelo, de modo a garantir a sustentabilidade ambiental da operação rodoviária.

Assim, têm-se as seguintes definições dos serviços e atividades:

- Operação Rodoviária: conjunto de atividades desenvolvidas e executadas para controlar o tráfego, garantir condições de segurança, conservar o corpo estradal, controlar o uso da faixa de domínio e atender a situações de emergência;

- Conservação Rodoviária: atividades executadas para preservar o investimento rodoviário realizado pelo empreendedor em sua rede viária mantendo as rodovias em condições seguras com conforto ao usuário, dentro dos parâmetros econômicos da sua construção e preservando a qualidade ambiental do entorno. Conservação Rodoviária de Rotina: é o conjunto de serviços executados com a rodovia em operação e tráfego, ao longo de um período de tempo e de acordo com os níveis estabelecidos que visam manter todos os elementos tão próximo quanto possível das condições originais de construção, garantindo o Máximo de conforto e o mínimo do impacto ambiental, tais como:

- Limpeza e reparação do sistema de drenagem;
- Conservação do revestimento vegetal dentro e fora da plataforma;
- Limpeza e reparação da sinalização de tráfego;
- Limpeza e varredura da pista;
- Remoção do resíduo sólido da faixa de domínio.

3.7 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS SIGNIFICATIVOS NA OPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE RODOVIAS

3.7.1 Considerações do Passivo Ambientais

Ao longo dos anos, a prática de transportes esteve estritamente estruturada em função de parâmetros técnicos e socioeconômicos. A partir dos anos 80, foram disseminados conhecimentos sobre a qualidade ambiental, iniciando então, a adoção de requisitos de atendimentos a padrões de qualidade e de preservação ambiental. Em função desse novo quadro de referência, passaram a avaliar os efeitos resultantes das práticas anteriores, chegando-se à constatação de que há degradação dos componentes ambientais (solo, cobertura vegetal, água e ar) e de ecossistemas, acumuladas há anos. Justamente este acúmulo de degradação denomina-se passivo ambiental (DNER, 2002) deve ser recuperado para que a operação dos serviços de transportes possa atingir seus objetivos.

Será conceituado e caracterizado, neste tópico, o passivo ambiental associado à operação rodoviária e sua difusão além da faixa de domínio, bem como serão propostas medidas de prevenção e de mitigação desses impactos na rodovia e na área de influência direta da mesma, assim como a indução de eventos externos que partem da faixa de domínio em direção aos lindeiros a área de influência da rodovia.

A implantação e a operação de empreendimentos rodoviários sem planejamento e de forma destrutiva com projetos mal concebidos, ausência de investigação prévia do terreno e de uso das cartas geotécnicas, desconsideração dos condicionantes do meio físico, análise socioeconômicas insuficientes, dentre outros aspectos, tem gerado situações de degradação ambiental, não só causando prejuízos ao próprio empreendimento, mas causando impactos ambientais muitas vezes extrapolando a área de influência direta do projeto.

Tal conduta tem consequência direta no decréscimo da qualidade de vida da população lindeira, bem como elevação significativa e desnecessária dos custos internos e externos do empreendimento.

Os custos internos dos empreendimentos são aqueles tradicionais como custos da matéria – prima, mão de obra, depreciação de equipamentos e outros contabilizados no processo produtivo e que são básicos para a composição do preço final.

Os custos externos de acordo com a Agencia Ambiental Americana (US.EPA,1995), “são os custos gerados pelo impacto da atividade da empresa no meio ambiente e na sociedade, pelos quais a empresa não se responsabiliza financeiramente, exemplo disto são os custos com tratamento de doenças respiratórias ocasionados pelas emissões na poluição do ar”.

Nunca se implantou, e ainda não se implanta à mercadoria produzida, todos os custos necessários à sua elaboração, pois a empresa agrega ao seu custo de produção somente o valor de insumos que representam desembolso financeiro por parte da empresa, ou seja, aqueles pelos quais efetivamente ela paga. Não são computados gastos futuros que a sociedade terá para repor esses bens, menos ainda o quanto a sociedade futura sofrerá para não tê-la a disposição, quando não renováveis. (Martins e Ribeiro, 1995).

Do exposto, pode-se concluir que o passivo ambiental criado pela operação rodoviária consiste em débitos ambientais do empreendimento, isto é, aquela parcela de degradação ambiental não recuperada ou “não paga” de alguma maneira pelo empreendedor e que constitui um débito para a sociedade e para o meio ambiente.

3.7.2 Conceituação de Passivo Ambiental

O termo “passivo Ambiental” começou a ser empregado nos últimos anos, por conta dos prejuízos ambientais gerados por graves acidentes ocorridos, como o vazamento de 1.200 litros de óleo na Bahia da Guanabara (2000), no Rio de Janeiro, Brasil.

Comercialmente, passivo representa tudo aquilo que é contabilizado como débito, como negativo em qualquer empreendimento, isto é, aquele conjunto de obrigações (trabalhista, bancarias, fiscais, patrimoniais, etc) não satisfeitas pela empresa ou empreendimento e que deve ser subtraído de seu patrimônio positivo (ativo), para obter o seu valor real (DER/PR, 2000).

Em termos contábeis, passivos são as obrigações das empresas com terceiros, sendo que tais obrigações, mesmo sem uma cobrança formal ou legal, devem ser reconhecida. Já o passivo ambiental representa os danos causados ao meio ambiente, constituindo, assim, a obrigação, o a responsabilidade social da empresa com aspectos ambientais.

Na opinião do Instituto Brasileiro de Contabilidade (IBRACON, 1996): “O passivo ambiental é toda agressão que se praticou contra o meio ambiente e consiste no valor de investimentos necessários para reabilitá-lo, bem como multas e indenização em potencial”.

Segundo D’Almeida 2002 “passivo ambiental representa a responsabilidade da organização perante terceiros, advinda de uma externalidade ambiental negativa ocasionada pelo dano ambiental gerado pela atividade poluidora desta organização e como as obrigações resultantes de potenciais danos ao meio ambiente, decorrente da atividade econômica da organização, ocorridos em eventos passados ou presentes”.

O departamento de edificações, Rodovias e Transportes do Espírito Santo (DERTES, 2002) quando descreve de rodovias, diz que “passivos ambientais são externalidades nos meios físico, biótico e antrópico, como efeito de impactos e danos ambientais provocados em função da sua implantação e operação (incluindo conservação e manutenção), ou provocados por atividades de terceiros, que inferem negativamente na rodovia”.

Pode-se inferir, então, que passivos ambientais são obrigações contraídas voluntária ou involuntariamente, em decorrência de ações passadas ou presentes, as quais envolveram ou envolvem a organização e o meio ambiente em que está inserida e que, por conseguinte, exigirão a entrega de ativos ou a realização de serviços de controle, preservação e recuperação do meio ambiente, originando, como contrapartida, um ativo ou custo ambiental em um momento futuro (LISBOA, 2000).

Na implantação de uma rodovia, há um acordo implícito de se arcar com as perdas e os riscos do empreendimento, uma vez que, supostamente, suas vantagens sociais e econômicas compensarão a degradação de ambiente. Logo, é fundamental, para a manutenção desse “acordo”, que a rodovia seja operada e mantida de modo a maximizar os benefícios sociais e econômicos gerados com sua implantação.

A origem do passivo ambiental pode ser interna ou externa à organização. Os passivos de origem interna ou endógenos são gerados durante o processo de implantação e subsequência operação da rodovia. Consistem das alterações naturais e/ ou artificiais ocorridas em função da inserção da rodovia no meio ambiente. Sua recuperação está diretamente relacionada ao órgão responsável pela rodovia. Exemplos de passivos ambientais desta classe são:

- Rios poluídos pela descarga de efluentes de uma usina de asfalto ou por processos erosivos, e carreamento de resíduos sólidos;

- Floresta comprometida por chuva ácida produzida por gases e particulados emitidos pelos utilizados;

- Processos erosivos desencadeado a partir da construção, pavimentação e operação, de uma rodovia que não foram estancados e controlados pelo empreendedor, junto a faixa de domínio;

- Solos e águas poluídos pelo derramamento proposital de combustíveis, óleos, graxas, asfaltos ou outros produtos perigosos utilizados durante a implantação ou operação da rodovia;

- Paisagem florestal danificada no interior da faixa de domínio;

- Pessoas acidentadas na rodovia devido à falta, à deterioração ou mesmo ao encobrimento da sinalização pela vegetação, ou pelas condições das rodovias.

Os passivos de origem externa ou exógenos, por sua vez, são os induzidos pela implantação da rodovia. Em geral, são ocasionadas por um terceiro, ao qual pode-se imputar a responsabilidade quando comprovada o nexo causal. No caso de não se identificar o autor do dano, entretanto, a responsabilidade recai sobre os evitados esses tipos de degradação. Na maioria das vezes é necessária uma ação coordenada entre o órgão gestor e outros órgãos da administração pública (por exemplo: a justiça, os órgãos estaduais e municipais de meio ambiente, vigilância sanitária, a polícia rodoviária, as prefeituras, etc.) para a recuperação do passivo deste tipo.

São exemplos de passivos ambientais exógenos:

- Depósitos de lixo no interior de domínio efetuados por terceiros.

- Acessos e caminhos as rodovias abertos por proprietários rurais os usuários e deteriorando o pavimento, e carreando sedimentos aos corpos hídricos junto das APPS; resultando no assoreamento do corpo hídrico e conseqüentemente diminuição da capacidade hídrica da bacia hidrográfica local.

- Solos mananciais hídricos contaminados pelo derramamento de cargas perigosas transportadas pela rodovia;

- Processos erosivos induzidos por moradores de áreas lindeiras à rodovia.

O manual de Informações Ambientais básicas para Obras Rodoviárias do departamento de Edificações, Rodovias e Transportes do Espírito Santo (DER/PR, 2002) redigido a partir de duas outras publicações, o manual de conservação, Monitoramento e Controle Ambiental do DNT e o Manual de Instruções Ambientais para Obras Rodoviárias do DER/PR, teve por objeto agregar os conhecimentos multidisciplinares e interinstitucionais sobre a questão ambiental em obras rodoviárias.

Segundo o referido Manual, os passivos ambientais são ordenados em duas grandes categorias, agregadas em dois grupos para cada uma, conforme sua origem e localização.

A primeira categoria corresponde as ocorrências decorrentes da construção e da operação da rodovia, refletindo deficiências de projeto ou da conservação do corpo estradal, conforme os grupos a seguir:

Grupo I – ocorrências internas à faixa de domínio, que interferem ou tenham potencial para interferir com o corpo estradal, ou estejam em evolução para áreas adjacentes;

Grupo II – ocorrência externa a faixa de domínio, em antigas faixas de apoio (acampamentos, usinas, jazidas, caixas de empréstimos, bota-foras) utilizadas na implantação da rodovia, que interfiram ou tenham potencial para interferir com a rodovia ou comunidades lindeiras e sejam passíveis da retomada da utilização e ou exploração.

A segunda categoria corresponde às ocorrências derivadas das ações antrópica, em áreas de uso rural e áreas urbanas, conforme grupos a seguir:

Grupo III – ocorrências geradas por terceiros, em áreas adjacentes à faixa de domínio, que interferem ou tenham potencial para interferência no corpo estradal;

Grupo IV – ocorrências geradas pela ocupação urbana consolidada ou por modificações do uso e ocupação do solo urbano, com potencial de interferência sobre as condições de segurança de tráfego aos usuários e comunidades residentes, originando pressão ambiental das rodovias conturbadas.

3.7.3 Caracterização do Passivo Ambiental Associado à Operação Rodoviária

Para que se configure um passivo ambiental deve-se verificar a presença de uma e dois aspectos: o primeiro, refere-se a existência de fonte de poluição decorrente de alguma forma de energia ou da emissão de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos e, o segundo, caracteriza-se pela afetação de um recurso natural (ar, água, solo, clima e paisagem) numa área considerada sensível (FERREIRA, 2003).

São áreas sensíveis de uma rodovia as áreas de proteção e preservação como reservas biológicas, florestais e indígenas, sítios históricos, arqueológicos e paleontológicos, reservas de recursos naturais para uso futuro ou uso alternativo como mananciais hídricos e reservas mineiras, áreas em processo de degradação natural como áreas urbanizadas e áreas abandonadas, áreas de interesse social como parques, praças, escolas e hospitais e, por último, áreas com a presença de conflito sociais como posses de terra, comunidades carentes e garimpos. (BELLA; BIDONE,1993).

Como o passivo ambiental associado à operação de uma rodovia deve ser recuperado, faz-se necessário conhecer o mesmo. Levantar o passivo ambiental de um empreendimento significa identificar e/ ou prever e caracterizar os efeitos ambientais adversos, de natureza física, biológica e antrópica, provocados pela construção, operação, manutenção, ampliação ou desmobilização de um empreendimento ou organização produtiva.

Para a realização de um levantamento de passivo ambiental devem ser desempenhadas algumas atividades básicas. Estas atividades são:

1. Definição da área de influencia a ser estudada,
2. Caracterização ambiental detalhada da área de influencia do empreendimento que permita a obtenção de segmentos homogêneos, em termos de fragilidade ambiental da região de suas condições em termos de ocupação humana, sendo importante, o estabelecimento de uma equipe interdisciplinar que inclua, além de engenheiros civis, geólogos, hidrólogos, geotécnicos e outros profissionais usualmente necessários aos projetos, profissionais das áreas de ciências biológicas, sociais e econômicas;
3. Identificação dos processos de transformação ambiental que deram ou darão origem ao passivo e com potencial para interferir no corpo estradal, na segurança dos usuários ou em propriedades contíguas de terceiros;

4. Estabelecimento de um quadro que permita identificar claramente os resultados da interação entre o meio natural e a ocupação humana (conflitos) existentes, com base no levantamento efetuado;

5. Proposição de soluções-tipo para as diversas situações existentes, dentro de seu contexto ambiental/ social/ ocupacional característico, a partir do estabelecimento desse quadro;

6. Estabelecimentos de ações corretivas e preventivas para cada item do passivo identificado;

7. Composição a partir dos elementos anteriores, de um “(ante)projeto ambiental” da rodovia que permite, numa primeira fase, uma intervenção corretiva e, no futuro, o seu gerenciamento ambiental;

8. Orçamento das ações proposta, considerando recursos humanos, técnicos e logísticos necessários, assim como eventuais serviços de terceiros para recuperação;

9. Repetição periódica e sistemática dos levantamentos, visto que o processo é dinâmico e cada levantamento representa o retrato de um momento, não permitindo maiores avaliações sobre a evolução do mesmo, bem como sobre a eficácia das medidas (soluções) proposta;

10. Caso verifique-se o orçamento disponível para a recuperação do passivo ambiental é insuficiente, os itens que compõem o mesmo devem ser hierarquizados, em termo de sua representatividade na atividade fim;

Quando reconhecido um dano ambiental devem ser verificados a sua sensibilidade natural pelo meio ambiente, a sua temporalidade ou período que afetará as condições iniciais do ambiente, a sua influência no meio e seus relacionamentos com outros aspectos do meio ambiente.

3.7.4 Componentes do Passivo Ambiental Associado à Operação Rodoviária

Conforme salientado anteriormente, poucos são tão essenciais quanto os transportes. É inimaginável uma sociedade moderna sem os meios e modos de transportes existentes. No entanto, a presença dos mesmos no cotidiano das pessoas nem sempre acontece de forma pacífica, sendo, na maioria das vezes, agressiva ao meio ambiente (MELLO,1996).

O incremento do número de veículos fomenta a utilização das redes viárias, que com o passar do tempo, transforma-se em fonte de poluição e de deterioração do ambiente, representando um exemplo típico de ruptura do sistema natural provocado pelo homem.

Os principais impactos negativos provocados pelo tráfego rodoviário sobre o meio ambiente e que constituem componentes do passivo ambiental quando não controlados são: erosão, assoreamento, carreamento de resíduos sólidos a poluição atmosférica, a poluição sonora, a vibração, a intrusão visual, os acidentes, a segregação urbana e a perda de espaços verdes. (BRANDÃO, 1996).

Surge, então, a necessidade de se gerenciar a operação dos sistemas de transportes rodoviários de forma a garantir a população um ambiente sadio, respeitando o conceito de desenvolvimento sustentável, qual seja: “atender às necessidades presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de atenderem a suas próprias necessidades”.

Cabe ao operador rodoviário além do gerenciamento da via como garantia da segurança e do conforto dos usuários que nela trafegam, a responsabilidade pela proteção ambiental, evitando ou mitigando os impactos negativos causados pelas atividades associada às operações rodoviárias.

A seguir serão apresentados mais significativos componentes do passivo ambiental de rodovia. Cabe ressaltar que não se trata de uma lista completa e que nem todos os itens mencionados se aplicam de forma generalizada.

VAI ENCAMINHAR O TEXTO DAQUI PARA FRENTE

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nas obras rodoviárias há muitas publicações e discussões de vários autores, inclusive criando capítulos de pesquisa na Geologia de Engenharia, porém todos abrangem mais a fase de planejamento e implantação das obras. No Brasil estes estudos tiveram seu início nas primeiras décadas do século passado e se desenvolveram a partir dos anos 50.

Porém a fase de Operação e Conservação rodoviária não evolui da mesma forma, onde as atividades que compõem estas fases passaram a gerar uma matriz de impactos ambientais significativos que observados resultaram em objetivos do presente estudo.

Santos (1994) afirma que um método bem adequado ao estudo de observação e monitoramento de fases interligadas, é justamente o da apropriação in-loco dos impactos mais significativos e envolventes com a sustentabilidade do projeto, uma vez que as fases do planejamento e da implantação já obtiveram um acompanhamento e uma obediência a Legislação Ambiental, sendo que é ao longo do tempo que os impactos da operação rodoviária poderão adquirir características significativas ou até mesmo irreversíveis.

Prever este comportamento ao longo do tempo da Operação Rodoviária, para uma proposição de medidas e técnicas adequadas de prevenção e correção desses processos impactantes e geradores de desequilíbrio comprometendo a sustentabilidade do empreendimento é a principal meta deste estudo.

Primeiramente a metodologia aplicada escolheu vários trechos de rodovias com diferentes caracterizações de local, relevo, clima, bacia hidrográfica, intensidade de tráfego e os ciclos de apropriações relacionados com os períodos de chuva e seca.

Relacionamos os Grupos de Empreendimentos rodoviários e suas exigências ambientais legais onde constatamos as restrições do regulamento ambiental, provando que os impactos significativos no efeito de bordo da faixa de domínio não estavam contemplados, e que nas áreas de Proteção Permanente envolvendo a microbacia local do trecho obtinha grande significância de impacto. ANEXO I.

Aplicamos um questionário baseado nos conceitos de consequência/magnitude (abrangência/severidade) da ISO-14000/2004, onde a pontuação indicou um potencial de grande magnitude, com consequências irreversíveis de controle e mitigação para a erosão, assoreamento, junto as APP e possível acidente de produtos perigosos. ANEXO II.

Com este aplicativo, no objetivo de mitigar os impactos nas APP foi implantada no trecho rodoviário da SP-99, uma construção de estrutura em alvenaria de bloco de cimento que teve a função de direcionar e reduzir a velocidade e armazenar parte do volume proveniente da drenagem superficial, os resíduos sólidos descartados na faixa de domínio, e possível armazenamento de produtos perigosos para a não contaminação do corpo hídrico da microbacia.

Esta caixa recebe o nome de caixa de retenção difusa no corpo hídrico receptor.

Através dos dados do volume de tráfego e da característica do trecho rodoviário conurbado, que tem influencia no volume de material percolado pelos pneus, e na deposição de resíduos sólidos na faixa de domínio, foi elaborada uma aplicação para a mitigação de CO₂ emitido com a queima do combustível fóssil no trecho, através da patrulha básica de equipamentos para a conservação rodoviária, onde obtivemos um plano de neutralização básica de CO₂. Neste caso foram monitorados os seguintes trechos: SP-66; SP-77; SP-326; SP-322.

Como o monitoramento e levantamento fotográfico dos vários trechos rodoviários constataram-se em face do impacto da falta de drenagem e da cobertura vegetal o aparecimento de passivos ambientais de erosão junto dos taludes rodoviários, onde através de classificação tipo básico implementamos um procedimento de identificação e classificação do passivo ambiental, com características mínimas para cadastro, valendo das cartas de sustentabilidade do solo à erosão e da Geologia de Engenharia.

Assim são apresentadas as etapas desenvolvidas no presente estudo adotadas neste procedimento metodológico:

- Pesquisa bibliográfica;
- Monitoramento e coleta de material por apropriação e varredura;
- Análise de mapas, cartas geotécnicas e dados tabulados;
- Levantamento fotográfico do monitoramento e atividades;
- Implantação de protótipo da caixa difusa;
- Análise dos resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Neste tópico foi realizada conceituação através da matriz de identificação dos impactos, focando a caracterização do passivo ambiental, os impactos de erosão e do assoreamento, o volume de resíduos sólidos na faixa de domínio e junto a drenagem superficial na operação e conservação do trecho rodoviário.

QUADRO DE IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS – MATRIZ



Para os resíduos sólidos carreados na faixa de domínio pelo sistema de drenagem superficial, analisaram-se os seguintes trechos:

SP-77 – Rodovia Nilo Máximo – Ligação Jacareí- Santa Branca – km 90 ao 106.

SP-66 –Rodovia Osvaldo Scavone - Ligação Jacareí – S. José dos Campos – km 100 ao 106.

SP-326 – Rodovia Brigadeiro Faria Lima – Ligação Bebedouro – Colômbia.

SP-322 – Rodovia Armando de Sales Oliveira – Ligação Sertãozinho – Bebedouro.

Nestes trechos as quantidades de resíduos sólidos foram quantificadas através de varrição manual e mecânica, sendo sua frequência realizada da seguinte forma:

- período de chuva durante o ano de 2012 – varrição diária;
- período de seca durante o ano de 2012 – varrição quinzenal.

Durante o período de 2012/2013 foram apropriados todos os veículos utilizados na execução dos serviços de conservação e operação destes trechos resultando no quadro abaixo e o valor de combustível gasto (TABELA 6).

Na SP-99 foi construída uma caixa de alvenaria em bloco de concreto revestida, que tem a função de armazenar, direcionar e controlar o volume de águas pluviais e reter o resíduo sólido carregado pelas drenagens superficiais. Assim esta estrutura será denominada de Caixa de Retenção Difusa. Os volumes de resíduos coletados na caixa foram quantificados durante o período chuvoso do ano de 2012 e 2013.

Preliminarmente sua funcionabilidade para mitigar os impactos dos acidentes dos produtos perigosos com a retenção através do fechamento de desvio das comportas de madeira dá condições para que um caminhão socorro com conjunto moto bomba faça o recolhimento do efluente armazenado na caixa.

5.2 IMPACTO DO PROCESSO EROSIVO

Os componentes ou alterações de origem natural e que compõe o passivo ambiental de uma rodovia são provocados pelos processos químicos próprios da natureza, como a chuva, o vento e o fogo que modificam e conformam o meio ambiente e que são responsáveis pela oxidação, pela erosão, pelo assoreamento, pela sanilização dos solos e pelos movimentos de massa. Destacam-se os seguintes componentes desta natureza:

- Processos Erosivos - a erosão do solo caracteriza-se por uma relação de estabilidade entre o grau de coesão de suas partículas constituintes e as exógenas que sobre ele incidem. Este processo provoca o transporte ou carregamento de partículas, o assoreamento e colmatação de vales, baixos e corpos d'água conforme se observa na Figura 04.

Figura 04. Erosão e impacto no lindeiro a rodovia.



Fonte: o autor

Os processos erosivos em rodovias decorrem de diversos fatores. O primeiro, sem dúvida, refere-se à natureza dos solos da região de inserção de uma rodovia, onde se têm classe de solo mais ou menos sustentáveis à erosão, ou seja, há um grau de pré- disponibilidade dos solos à ação dos processos erosivos.

A indução de processos erosivos ocorre em todas as etapas da vida útil de uma rodovia, embora a sua manifestação seja mais evidenciada durante a construção, onde as superfícies expostas temporariamente ficaram sujeitas às ações das intempéries.

Na etapa de operação e conservação, as superfícies dos taludes, embora protegidas, sofrem processos erosivos contínuos, requerendo a necessidade permanente de manutenção e conservação.

- Assoreamento

Os processos de assoreamento são uma sequência dos processos erosivos e, assim como estes últimos, constituem processos físicos permanentes e espontâneos do ambiente que podem ou não ser acelerados por intermédio de meios e agentes externos.

Ao se induzir a erosão criam-se, automaticamente, as condições para aceleração dos processos ou acúmulo de sedimento em uma dada área, por força da perda de energia de transporte destes.

O assoreamento normalmente ocorre em baixos topográficos, talvegues, calhas dos córregos, rios, lagos, lagoas e baías pelo acúmulo de material sólido provenientes de uma ou mais áreas sendo o caso mais crítico junto a APP.

No caso das rodovias com grande número de intersecções em APP (Áreas de Prevenção Permanentes), exemplo SP 326/322, foi possível verificar que através do monitoramento ambiental e da varredura do material que fica depositado na interface da faixa de domínio e o lindeiro indicando aí a parte da prova do impacto e da degradação induzida pela operação e conservação rodoviária de quanto a APP e o corpo hídrico recebe de impacto. Tal impacto é apresentado na Figura 05.

Figura 05. Material que fica depositado na interface da faixa de domínio e o lindeiro indicando a parte da prova do impacto.



Fonte: AROUCA, Aldo.

Face a este episódio é que nos motivam o desenvolvimento de instrumento técnico para a mitigação e redução do assoreamento e carreamento de resíduos sólidos de qualquer natureza, fazendo assim um instrumento onde a conservação rodoviária possa sistematicamente ocorrer na retirada deste material, mitigando a sedimentação no corpo hídrico.

Parte deste material, será estocado em blindagem de sacarias que serão utilizados na recuperação de outros passivos ambientais, tais como enchimento das erosões em vossorocas a movimentos de massa junto aos tabules.

Implementação de Instrumento Técnico para mitigação dos impactos da erosão e do carreamento dos Resíduos Sólidos – Caixa de Retenção Difusa.

Este instrumento é composto de materiais normalmente utilizado na área de edificações, tais como bloco de cimento, canaletas de amarração, vergalhão de aço caso revestimento e impermeabilização com produtos hidro fugantes, e com capacidade de armazenamento de 20.000m³ a 30.000m³ capacidade esta em função da rota de produtos perigosos na rodovia, pois além da retenção dos resíduos sólidos e do assoreamento, este instrumento também tem função de evitar a chegada de produtos perigosos oriundas de acidentes, junto ao corpo hídrico, principalmente se o corpo hídrico fazer parte do sistema de abastecimento de água de uma localidade.

As dimensões podem ser variáveis, podendo ser aproveitadas as conformações e os movimentos do solo e do relevo quando da construção dos aterros e uma logística no recebimento das canaletas de drenagem unindo antes da entrada no circuito da caixa as canaletas ou outros mecanismos de condução de águas pluviais na pista.

Vale ressaltar que o sistema da caixa é composto de 3 compartimentos (Figura 06) assim distribuídos e com as seguintes funções:

COMPARTIMENTO A – Caixa principal de recolhimento e pré-decantação dos efluentes onde todo o volume proveniente da drenagem de pista na micro bacia da Área de Proteção Permanente.

Na parte frontal e divisória com o compartimento B está instalado uma linha de tubos separados a cada 0,50 cm do eixo da parede onde há uma pequena rampa indutora de decantação, e uma passagem de 1,0m x 0.50m que funciona como extravasor para o compartimento B.

COMPARTIMENTO B – Caixa secundária onde se processa o recolhimento do resíduo sólido, onde também recolhe parte do material de assoreamento que migrão do compartimento A e em caso de produtos perigosos funciona como uma ante - câmara de preparação para o recalque junto ao compartimento C.

COMPARTIMENTO C – Compartimento base para instalações de conjunto moto bomba para recalque do fluido contaminante, através de conexão de engate rápido com mangueiras, para o transbordo ao caminhão pipa de socorro.

A operação normal se dá em 2 etapas; a primeira quando a operação da rodovia ainda apresenta em baixo revestimento vegetal da faixa de domínio elevando assim o carreamento de resíduos sólidos, fazendo necessário que as águas tenham que percorrer a gincana das caixas A e B para só depois desaguar no corpo hídrico, assim a comporta ainda permanece fechada manualmente.

É necessário o empenho da conservação e o monitoramento do passivo ambiental que será o indicador ambiental e que fará o recolhimento e ensacamento do material sedimentado nos compartimentos.

Quando da Operação de Emergência no caso específico de acidentes com produtos perigosos e o volume conduzido pelas canaletas chegar no sistema será feito o transbordo ao caminhão de socorro evitando assim ao chegada do líquido no corpo hídrico.

A medida que a Relevância do Passivo Ambiental e a Coleta Seletiva Rodoviária e os Pontos de Recolhimento Voluntário de Resíduos for sendo implementados e a qualidade ambiental da faixa de domínio faz restabelecer, inclusive com a consolidação dos módulos florestais junto da mata ciliar do corpo receptor haverá a possibilidade da comporta funcionar com baixa vazão, ou seja dando passagem somente ao efluente para as caixas de retenção. Somente em casos especiais de acidentes que deverá ser fechada a comporta.

A caixa de Retenção (apresentada nas Figuras 06 a 10) será um indicador da eficiência do recobrimento vegetal na faixa de domínio e do nível de limpeza e varredura na pista onde já tem-se um indicador ambiental que terá que estar abaixo de $0,4 \text{ m}^3$ de sedimento recolhido para cada Km de canaleta de pista.

Se faz necessário de esclarecer que este instrumento de mitigação dos impactos ambientais das rodovias em operação ainda está em fase de monitoramento e aperfeiçoamento como por exemplo a formatação da conserva das caixas, bem como os tipos e dimensões, baseadas na plataformas de espraçamento e retenção primária.

Figura 05. Vista da caixa de retenção difusa na operação normal de drenagem, ou seja, sem passar pelo compartimento de decantação.



Figura 06. Vista da caixa de retenção difusa na operação normal de drenagem, ou seja, sem passar pelo compartimento de decantação.



Fonte: AROUCA, Aldo.

Figura 07. Vista geral da caixa de retenção difusa.



Fonte: AROUCA, Aldo.

Figura 08. Vista da caixa de retenção difusa em operação, onde o escoamento está direcionado para o compartimento de decantação (fluxo fechado para o corpo hídrico).



Fonte: AROUCA, Aldo.

Figura 09. Caixa de retenção difusa proposta no presente trabalho.



Fonte: AROUCA, Aldo.

Figura 10. Posicionamento da caixa de retenção difusa na faixa de domínio.

Nas Figuras 11 e 12 são apresentados os resíduos carreados monitorados na SP 326 onde é possível constatar a necessidade de implantar o sistema denominado “caixa de retenção difusa”. Destaca-se que caso este resíduo não seja contido, causará o impacto ambiental significativo junto ao solo lindeiro a rodovia bem como ao corpo hídrico.

Figura 11. Saída do Material Assoreado entre a canaleta e a barragem de contenção junto a faixa de domínio na SP 326, mostrando a necessidade de implantar a caixa de decantação maior para acumular os resíduos carreados.



Fonte: AROUCA, Aldo.

Figura 12. Material assoreado carregado pela faixa de domínio da estrada, mostrando a necessidade de implantar o sistema de contenção denominado “caixa de retenção difusa”.



Fonte: AROUCA, Aldo.

5.3 PRIORIZAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DO PASSIVO AMBIENTAL RPA

Os componentes do passivo ambiental são processos e alteração dos compartimentos ambientais, e portanto faz necessário utilizar instrumentos que representem de forma clara e objetiva de modo a permitir a caracterização e uma fórmula adequada de priorização.

Com base no levantamento das feições de erosões e assoreamentos por meio de interpretações fotográficas, foi elaborado um cadastro dos passivos ambientais.

O formulário de cadastro é uma forma de uma lista de checagem, onde estão descritos a localização, o tempo de degradação, suas condicionantes e é feita uma análise da criticidade da situação, chamado de Relevância do Passivo Ambiental, por meio de uma equação definida sobre valores a serem adotados, por meio da interpretação de experiências reais na área de conservação rodoviárias.

Primeiro é analisada a interferência como o corpo da rodovia, com o usuário ou com o lindeiro. O técnico rodoviário ambiental classifica então o risco como: oferece risco, poderá oferecer risco, ou não oferece risco. Alguns agravantes são considerados no processo como se encontra em solo arenoso, índice pluviométrico elevado (> 2.000mm / ano) e encontra-se em Unidade de Conservação ou APP (Área de Preservação Permanente). Também considera-se os atenuantes tais como; presença cobertura vegetal e não concentração de água.

O índice de Relevância do Passivo Ambiental (RPA) define-se pela expressão:

$$RPA = I \cdot GR \cdot Ag \cdot At \quad (01)$$

em que:

I = interferência (impacto decorrente da passivo) GR = Grau de Risco

Ag = Agravante

At = Atenuante

Para o cálculo do RPA são atribuídos valores a cada parcela que compõem o índice, os quais são acumulativos no caso do passivo apresentar mais de uma característica conforme indicado na sequência.

Para o parâmetro “Interferência (I)”, os valores são obtidos conforme apresentado na Tabela 02.

Tabela 02. Valores do parâmetro “Interferência (I)” da fórmula da Relevância do Passivo Ambiental (RPA).

Impacto (IMP)	Valor	Peso (E)
1 – Rodovia	5	0,3
2 – Usuário	3	
3 – Lindeiro	2	

Assim, para o cálculo do parâmetro “Interferência (I)” usa-se a seguinte equação:

$$I = \sum_{j=1}^n \text{IMP}_j \cdot E_j \quad (0)$$

Para o parâmetro “Grau de Risco (GR)”, os valores são obtidos conforme apresentado na Tabela 03.

Tabela 03. Valores do parâmetro “Grau de Risco (GR)” da fórmula da Relevância do Passivo Ambiental (RPA).

Grau de Risco (GR)	Valor	Peso (E)
1 – Oferece risco	6	0,4
2 – Pode oferecer risco com a evolução	4	
3 – Não oferece risco	0	

Assim, para o cálculo do parâmetro “Grau de Risco (GR)” usa-se a seguinte equação:

n

$$GR = \sum_{j=1}^n GR_j \cdot E$$

j 1

(03)

Para o parâmetro “Agravante (Ag)”, os valores são obtidos conforme apresentado na Tabela 04.

Tabela 04. Valores do parâmetro “Agravante (Ag)” da fórmula da Relevância do Passivo Ambiental (RPA).

Aspectos Ambientais (AA)	Valor	Peso (E)
1 – Processo encontra-se a montante do ponto de captação de abastecimento público	4	0,2
2 – Processo encontra-se em solo arenoso	3	
3 – Índice Pluviométrico > 2000mm/ano	2	
4 – Encontra-se em Unidade de Conservação - UC		

Assim, para o cálculo do parâmetro “Grau de Risco (GR)” usa-se a seguinte equação:

n

$$Ag = \sum_{j=1}^n AA_j \cdot E$$

AA_j E

j 1

(04)

Para o parâmetro “Atenuante (At)”, os valores são obtidos conforme apresentado na Tabela 05.

Tabela 05. Valores do parâmetro “Atenuante (At)” da fórmula da Relevância do Passivo Ambiental (RPA).

Características Ambientais (CA)	Valor	Peso (E)
1 – Presença de Conserva Vegetal	5	0,1
2 – Não há concentração Água	5	
3 – Sem Atenuantes	0	

Assim, para o cálculo do parâmetro “Atenuante (At)” usa-se a seguinte equação:

n

$$At = \sum_{j=1}^n CA_j \quad E$$

j 1

(05)

O resultado do RPA é um critério para a priorização de intervenções e recuperações dessas áreas no KmAmbiental.

5.4 VARIAÇÃO NA QUALIDADE DO AR E A NEUTRALIZAÇÃO PARCIAL DAS EMISSÕES DE CO₂

A variação na qualidade do ar decorre da presença de elementos; substâncias e partículas não ocorrentes, em quantidade e qualidade, na sua conformação original. No caso específico de rodovias, a qualidade do ar sofre, sobretudo, os efeitos da geração de particulados de emissões de CO₂ e odores.

Na operação e conservação de rodovias os processos incidentes sobre a qualidade do ar estão associados à geração de particulados na operação de máquinas e equipamentos de terraplanagem, equipamentos de pavimentação, operação de usina de asfalto, movimentação de veículos de apoio.

Toma-se como básico uma frota de equipamentos e seu consumo para a recuperação de rodovias e operações básicas como descrito na Tabela 06, na qual apresenta a quantidade de CO₂ média por frota de veículo.

Esta frota foi monitorada durante um período de contrato de 24 meses, onde apropria-se o quantitativo de combustível gasto para a realização de suas atividades de conservação e melhorias rodoviárias, aplicando sobre estes valores do consumo de combustíveis os índices de geração de CO₂ fornecidos pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change ou Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) obtendo-se as emissões efetuadas na conservação dos trechos rodoviários.

Com estes valores das emissões, relacionamos com a absorção de CO₂ por espécie nativa, que neutraliza parcialmente os emissões.

Os módulos florestais implantados na faixa de domínio teriam a função de estar neutralizando as emissões realizadas nos serviços de conservação rodoviária. Estes módulos também darão suporte no abrigo da diversidade da fauna e conexões com os corredores ecológicos ao longo do sistema, abrigando e combatendo a extinção da flora e da fauna.

Para os cálculos apresentados na Tabela 06 foram utilizados parâmetros convencionais que determinam a emissão de CO₂ a partir da quantidade de combustível, tais como:

- álcool – 0,25 kgCO₂/Litro de combustível;

- gasolina – 1,80 kg CO₂/ Litro de combustível;

- diesel – 2,60 kgCO₂/Litro de combustível.

Por exemplo, a queima de 10 litros de gasolina é responsável pela emissão de 18kgCO₂.

Outros dados utilizados para o cálculo apresentado na Tabela 05 são:

- são necessários 25 equipamentos (veículos e maquinários) para execução da obra rodoviária em análise.

Assim, a estimativa foi de 137.500 litros o que representa uma emissão de 350tonCO₂ por obra. Como para cada 160kgCO₂ há necessidade de 1 árvore, logo tem-se que para uma obra há necessidade de plantar 2.180 árvores.

Tabela 06. Relação da frota de veículos com a emissão de CO₂.

Equipamentos	Consumo em litros por hora	Meses de trabalho durante a obra	Horas de trabalho por dia durante a obra	Consumo em litros por dia	Consumo em litros por Mês	Consumo em litros durante a obra	Emissão de CO ₂ (Kg)
Caminhão basculante - 8m ²	21,8	8	4	87,2	1.744,0	13.952	36.275
Caminhão irrigadeira – 6000 L	17	8	4	68	1.360,0	10.880	28.288
Caminhão guincho – 3,5t	20,8	8	4	83,2	1.664,0	13.312	34.611
Motoniveladora c/ ripper – CAT 120	18,2	8	4	72,8	1.456,0	11.648	30.285
Retroescavadeira – 0,77 m ²	97,5	8	4	39	780,0	6.240	16.224
Veículo pré-demarcação p/ Sinaliz. Gasolina	7	8	4	28	560,0	4.480	8.064
Caminhão espargidor – 6000L	17	4	1	17	340,0	1.360	3.536
Caminhão abastecedor	25,6	4	1	25,6	512,0	2.048	5.325
Compressor de ar – XA175	17,55	4	1	17,55	351,0	1.404	3.650
Escavadeira s/ esteiras – 2,2m ²	24,44	4	4	97,76	1.955,2	7.821	20.334
Fresadora a frio s/ pneus – W1000	25,87	4	1	25,87	517,4	2.070	5.381
Martelete – 35 Kg (ar)	0			0	0,0	0	0
Pá carregadeira s/ pneus – 2.2m ²	17,16	4	4	68,64	1.372,8	5.491	14.277
Pá carregadeira s/ pneus – 3.6 m ²	20,8	4	1	20,8	416,0	1.664	4.326
Rolo compatador vibrat. Cilindro – 7t	10,27	4	4	41,08	821,6	3.286	8.545

Equipamentos	Consumo em litros por hora	Meses de trabalho durante a obra	Horas de trabalho por dia durante a obra	Consumo em litros por dia	Consumo em litros por Mês	Consumo em litros durante a obra	Emissão de CO2 (Kg)
Rolo compactador vibrat cilindro – 11,3t	19,5	4	1	19,5	390,0	1.560	4.0556
Rolo Compactador pé de carneiro – 15,5t	22,75	4	4	91	1.820,0	7.280	18.928
Rolo compactador s/ pneus – 27t	12,87	4	1	12,87	257,4	1.030	2.677
Trator agrícola – 5t	11,18	4	4	44,72	894,4	3.578	9.302
Trator s/ esteiras – 2,28m ²	18,2	4	4	72,8	1.456,0	5.824	15.142
Usina de solos – 400t/h	75	4	1	75	1.500	6.000	15.600
Usina de asfalto frio – 150t/h	225	4	1	225	4.500	18.000	46.800
Unidade aplicadora Hoffman (sinalização)	14,7	4	1	14,7	294,0	1.176	3.058
Acabadora – 400t/h	12,74	4	1	12,74	254,8	1.019	2.650
TOTAL	675,2			1.300,8	26.016,6	137.522	348.854

5.5 OCORRÊNCIA DE VETORES E MONITORAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS RODOVIÁRIOS

A indução à ocorrência de doenças infectocontagiosas está vinculada ao processo de migração espontânea da contingente populacional atraído por novas oportunidades de trabalho, oriundos de outras regiões do país. Isto resulta em uma elevação no volume de resíduos gerados de toda a natureza onde está a pressão ambiental se vê concretizada na disposição de resíduos ao longo da faixa de domínio, principalmente em área de rodovia conservadas como é o estudo de caso pesquisado na SP66 e SP77 - Rodovia Geraldo Scavone e Rodovia Nilo Maximo, onde é apresentado na sequência os índices de resíduos.

Neste tópico ressalta-se a importância do saneamento básico e do sistema de coleta dos resíduos sólidos rodoviários, pois esta coleta de resíduos não consta nos serviços de manutenção de rodovias e também nos trechos mudeados, por motivo da faixa de domínio muitas vezes estar conflitante com as atividades ligadas ao movimento socioambiental da cidade onde a rodovia se localiza.

Em muitos dos casos pesquisados (Estudo de caso da SP 66 e SP 77 região do vale do Paraíba), observa-se que os impactos ambientais produzidos estão sobre forte pressão do aumento do consumo e da forte indicação do custos imobiliário junto as rodovias, gerando assim uma correlação, ou seja fatores do regime urbano sobre as características rurais da faixa de domínio, o que leva inclusive um atrito sob base legal da responsabilidade pelo passivo ambiental gerado pelos usuários.

Ainda na legislação não se fundamenta a inclusão da caracterização do Resíduo Sólido rodoviário em áreas conhecidas e com setores específicos rodoviários deixando assim uma amplitude maior do passivo ambiental e uma forte carência na recomposição desta área com características de degradação.

Foi constatado que é na mata ciliar e em áreas de preservação e nos fragmentos florestal que a mitigação dos resíduos se faz mais impactante, hora pela contaminação da água, hora pela degradação do solo.

Através do regime de apropriação dos serviços de Limpeza Publica estas áreas conectadas que foi elaborado uma relação mínima de indicadores entre resíduos sólidos (lixo),

erosão e assoreamento, que vem justificar um aumento no aplicativo do gerenciamento das caixas de retenção de resíduos sólidos e de produtos perigosos junto das APPs nas faixas de domínio.

Na Tabela 07 é apresentado o levantamento apropriativo dos aspectos e impactos ambientais em decorrência dos resíduos sólidos lançados nas estradas.

Tabela 07. Levantamento Apropriativo dos Aspectos e Impactos Ambientais dos resíduos sólidos lançados nas estradas.

ASPECTOS	IMPACTOS
Resíduos Sólidos Urbanos RCC, móveis, orgânicos, pet, população	Água: Poluição e Desperdício das águas Ar: Oriundas, emissão CO ₂ Solo: Rompimento e degradação biodiversidade
Resíduos Sólidos Rodoviários Madeira, Pneus, ferro, alumínio massa verde, papel, papelão	Água: Poluição dos afloramento (minas) Ar: Oriundas, emissão CO ₂ Solo: Degradação biodiversidade flora e fauna. Desambrimento da legislação e geração de Passivo Ambiental

Os pontos onde foram realizados os estudos de caso foram:

- SP- 77 Rodovia Nilo Máximo
- Ligação Jacareí – Santa Branca
- Km 90 ao km 106
- Característica: Pista Simples, alternativa de rota via São Paulo
- SP-66 Rodovia Osvaldo Scalone
- Ligação Jacareí – São José dos Campos
- Km 00 ao km 12
- Característica: Pista Simples, trecho do Rio Comprido e Córrego Seco, alternativa da Rodovia Dutra.
- Grande influência de Plantas Industriais e Residenciais.

Na Tabela 08 são apresentados os resultados da coleta de resíduos sólidos recolhidos na SP66 Km 90 ao Km 106, apropriação efetivada em 16 Km de pista simples, sendo 32 Km de coleta (lado esquerdo e direito / Sul e Norte).

Na Tabela 09 é apresentado o volume mensal de resíduos sólidos coletados pelas concessionárias responsáveis para seis rodovias do estado de São Paulo. Estes dados são representativos para 400 Km de vias concessionadas, revelando 300 toneladas de resíduos sólidos (papeis, papelão, alumínio, ferro, madeira, garrafas pet, plásticos, colchões, latas de tintas, resíduo da construção civil, tanques, lavadoras em uma media diária de 1800 à 2000 Kg / dia), valores que vem aumentando de acordo com o aquecimento dos parâmetros da economia. Assim, foi possível constatar que gera-se 21,5 m³ de resíduo por km de pista dupla por dia, o que representa 353 kg por km por dia.

Tabela 08. Resíduos sólidos recolhido na rodovia SP – 66 Km 90 ao Km 106.

1 – Total Recolhido Semanal Resíduo	Média Diária
Período Normal11.300 Kg	1.883 Kg / dia
Período Feriado.....12.900 Kg	2.150 Kg / dia
2 – Volume de Material Abrasivo Areia	Média Quinzenal
Coletado no Acostamento	0,09 m ³
Coletado na Canaleta ou Sarjeta	0,16 m ³
3 – Volume Coletado em 120 dias material abrasivo – área	
Coletado no Acostamento + Canaleta	0,96 m ³ a 1,0m ³

Tabela 09 volume (m³) mensal de resíduos sólidos coletados pela concessionária, por rodovia, fevereiro/2004 a Fevereiro/2005.

Meses	SP.147	SP.191	SP.330	SP.215	SP.352	SP.157	TOTAL GERAL
fev/04	212,00	203,00	813,00	195,10	66,00	8,00	1.497,10
mar/04	257,00	274,00	713,00	192,30	72,00	20,00	1.528,30
abr/04	234,00	243,00	914,00	193,15	63,00	12,00	1.659,15
mai/04	192,64	313,00	713,00	194,12	65,00	6,00	1.483,76
jun/04	280,30	314,00	468,00	191,20	165,00	12,00	1.430,50
jul/04	196,00	1214,20	813,00	199,12	53,00	33,00	2.508,32
ago/04	160,00	732,50	750,00	196,10	33,00	19,00	1.890,60
set/04	146,00	182,00	780,00	193,20	75,00	5,00	1.381,20
out/04	160,00	712,00	750,00	193,00	36,00	19,00	1.870,00
nov/04	287,00	603,00	850,00	194,60	52,00	8,00	1.994,60
dez/04	322,00	280,00	830,00	196,35	75,00	10,00	1.713,35
jan/05	243,00	730,00	800,00	197,56	44,00	3,00	2.990,56
fev/05	347,00	774,00	780,00	192,32	70,50	12,50	3.297,32
Total	3.036,94	6.574,70	9.974,00	2.528,12	869,50	167,50	25.244,76

Nas Figuras 13 e 14 são apresentados resíduos sólidos evidenciados junto a faixa de domínio e canaletas de drenagem nas rodovias do presente estudo de caso.

Figura 13. Volume de Resíduos Sólidos junto a faixa de domínio e canaletas de drenagem em rodovias conurbadas.



Fonte: AROUCA, Aldo.

Figura 14. Resíduos Sólidos junto a faixa de domínio e canaletas de drenagem em rodovias.



5.6 PROPOSTAS TÉCNICAS DO KMAMBIENTAL PARA A OPERAÇÃO DE RODOVIAS

Sendo assim, considerando-se a necessidade de implantar técnicas e procedimentos, neste capítulo apresentamos as etapas básicas formadora do KmAmbienttal para obtenção de rodovias.

“A qualidade Ambiental consiste no Atendimento aos requisitos de natureza física, química, biologia, social, econômica e tecnologia que assegurem a estabilidade das relações ambientais no ecossistema do sistema rodoviário” (VALLE, 2002, p.37).

Etapa 1 – Dividir a rodovia em trechos se possível com características ambientais homogêneas de aproximadamente 20 km.

Etapa 2 – Definir responsabilidade e cronograma de vistoria dos referidos trechos, buscando o envolvimento de todos os segmentos da organização na busca de soluções e estratégias adequadas para assegurar a qualidade ambiental e o aproveitamento eficiente dos recursos disponíveis na implementação das atividades de prevenção, remediação, recuperação e educação ambiental.

Etapa 3 - Vistoriar os trechos caracterizando-se suas áreas sensíveis de acordo com a carta geotécnica com as áreas sensíveis à erosão e a aplicação dos indicadores ambientais, compilação da legislação ambiental da área de influência direta e indireta, diagnóstico ambiental do meio físico, biótico e antrópico; identificação e avaliação dos impactos ambientais decorrentes da operação e hierarquizar com a Relevância do Passivo Ambiental.

Etapa 4 - Analisar as condições ambientais da região e o histórico da rodovia e de rodovias semelhantes, de modo a estabelecer padrões ambientais devem estas consoantes com a Política Ambiental da Empresa.

Etapa 5 – Comparar os dados obtidos na etapa 2 com os padrões definidos na Etapa 3. Tem-se aí na ultrapassagem dos limites considerados um passivo ambiental que deverá ser recuperado.

Etapa 6 – Na recuperação do passivo e na preservação principalmente onde o trecho rodoviário intercepta uma APP (Área de Proteção Permanente) efetivar o acoplamento da Drenagem Superficial do corpo estradal com a Caixa de Retenção Difusa e preparar a saída para o corpo hídrico.

Etapa 7 – Orçar a implementação da Caixa de Retenção Difusa, com os recursos locais já planejando a adequação para outras APP.

Definir a área de trabalho e conservação da Caixa, prevendo a limpeza, retirada e blindagem do material decantado (solo ensacado).

Etapa 8 – Iniciar junto a mata ciliar da APP com a rodovia a implementação da área para o plantio do Modulo Florestal que fará parte do condomínio Florestal do trecho.

Etapa 9 – Implementação do Condomínio Florestal na Área de Preservação Permanente com 2 extensões de 1 km devidamente protegida para o apoio a fauna e flora.

Etapa 10 – Estabelecimento do Veiculo de Coleta Seletiva de Resíduos Rodoviários e das áreas do Ponto de Entrega Voluntária de Resíduos PEV – Rodoviário.

Nesta etapa há o incremento da Educação Ambiental através do Programa Recicla Rodovia – RR, onde todo material será parte de um processo de reciclagem e aplicável em Educação Ambiental Rodoviária.

Etapa 11 – Execução programada das Grades de Retenção de Resíduos Sólidos a montante dos Bueiros – GRRS.

Execução de Diks Preliminares de Velocidade das águas na drenagens superficiais das canaletas.

Cabe ressaltar que para garantir o plenitude dos serviços propostos pelo KmAmbiental deverá ser considerado como básico e fundamental a Educação Ambiental Rodoviária, sendo necessário um período contínuo de observações e monitoramento da qualidade ambiental e a melhoria contínua no processo de conservação ambiental rodoviária.

5.7 INDICADORES AMBIENTAIS PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO

“Um dos principais desafios da construção de desenvolvimento sustentável é o de criar instrumentos de mensuração, tais como indicadores ambientais, que são instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado rumo ao desenvolvimento sustentável.” (IBGE, 2012, p.11).

Neste Capítulo introduzem-se conceitos de indicadores ambientais, suas características, tipos existentes, orientações para sua geração, seleção e análise. No final, apresenta-se uma proposta de indicadores ambientais relacionados à operação rodoviária, úteis para avaliar quantitativa ou qualitativamente o passivo ambiental provocado pela operação deste serviço.

5.7.1 Introdução a Indicadores Ambientais

Na década de 70, os indicadores ambientais foram utilizados pela primeira vez para o acompanhamento de relatórios sobre o Estado do Ambiente de governo e organização internacionais.

Em 1989, uma reunião de cúpula do G-7 solicitou à Organization for Economic Cooperation and Development – OECD que desenvolvesse um conjunto básico de indicadores ambientais. Em seguida, a Conferencia Rio-92 e a Agenda 21 ressaltaram a necessidade de desenvolvimento de indicadores ambientais em um novo patamar de integração às demais dimensões do desenvolvimento sustentável.

O governo holandês desenvolveu iniciativa pioneira do desenvolvimento de indicadores capazes de fornecer meios para avaliar os resultados da implantação do então novo Plano de Política Ambiental Nacional Holandesa (NEPP), publicado em 1989.

O World Resources Institute – WRI envolveu-se com a pesquisa para o desenvolvimento de indicadores ambientais no início dos 90. Com a colaboração do governo holandês, publicou o relatório denominado. Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Contexto of Sustainable Development, o qual apresentou um modelo conceitua das interações humanas com o ambiente, a partir dos conceitos clássicos das funções que o meio ambiente desempenha em relação à economia.

O relatório do WRI apresenta, dentre outros, o framework pressão-Estado Reposta (PSR), originalmente proposto pelo governo canadense e adotado internacionalmente a partir do emprego e divulgação pela OECD. Este framework objetiva apresentar informações acerca do que está acontecendo com o meio ambiente e com a base de recursos naturais (indicadores de estado) sobre as razões que justificam tais ocorrências (indicadores de

pressão) e sobre a descrição do que está sendo feito a respeito (indicadores de resposta).

O conselho da OECD aprovou em 1991 uma Recomendação sobre indicadores e informação Ambiental, Instruindo ao comitê de Política Ambiental para desenvolver conjuntos de indicadores ambientais de fácil entendimento e mensuração e relevantes para a avaliação de políticas.

Em 1993 o Grupo em estado do Ambiente realizou uma serie de seminários apresentando o framework e o conjunto final de indicadores. Este conjunto e o documento conceitual publicado pelo Grupo (OECD, 1993) tornaram-se clássicos e passaram a orientar varias organizações no desenvolvimento de indicadores. Um exemplo é a sua utilização pela Organização da Nações Unidas na publicação regular de Relatórios de Avaliação da performance das políticas ambientais dos países membros.

Em sua terceira sessão, em 1995, a comissão em Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (UNCSD), atendendo ao chamado da agenda 21, capitulo 40, aprovou o programa de trabalho para a elaboração de Indicadores do Desenvolvimento sustentável. Revisão final do trabalho foi publicado em 1996 (UNCSD, 1996) sob o titulo “Indicadores of Sustainable Desenvolvimento: framework and Methodologies”.

Segundo FIDALGO (p.3, 2003), “por serem abrangentes, os indicadores ambientais são utilizados como indicadores desenvolvimento sustentável.” Porém, ainda de acordo com FIDALGO, o uso de indicadores ambientais com indicadores de desenvolvimento sustentável requer uma adaptação ou reavaliação pois pode apresentar lacunas em relação a aspecto econômicos e sociais necessários à análise do desenvolvimento sustentável, ou ainda, pode realçar aspectos de menor importância.

No Brasil, o IBGE inicio projeto para a produção dos indicadores de sustentabilidade no país, segundo a metodologia da UNCSD.

Ao todo são compatibilizados 59 indicadores (20 sociais, 19 ambientais, 14 econômicos e 6 institucionais) de acordo com a divisão em temas e sub-temas do conjunto núcleo proposto pela UNCSD.

Em linha com as iniciativas das demais organizações internacionais, o Banco Mundial também desenvolveu intensa atividade no campo dos indicadores de sustentabilidade, focada na elaboração e uso de indicadores que possibilitam a avaliação da performance

ambiental dos projetos de desenvolvimento por parte dos países tomadores de empréstimo.

Atualmente, os esforços concentram-se em aprimorar as estruturas e métodos de análise da grande quantidade de informações proporcionadas por conjuntos de indicadores cada vez mais numerosos e específicos.

Embora o framework PSR continue sendo utilizado para a avaliação de políticos setoriais com reflexos sobre o Meio Ambiente, torna-se necessário agregar outros indicadores através da inclusão de mais duas categorias. Assim, teve origem a estrutura denominada Força-Motriz/ Pressão/ Estado/ Impacto/ Resposta (Driving Force/ Pressure/ State/ Response – DPSIR). Esta estrutura foi utilizada e vem sendo objeto de aprimoramento por parte da European Environmental Agency (EEA) na elaboração dos dois relatórios de avaliação do ambiente europeu.

Em 1997, a EEA estabeleceu um grupo de trabalho com incumbência de preparar diretrizes e abordagens uniformes a empregar na elaboração desses relatórios (Expert Group on guidelines and the State of the Environment Reporting).

Coerente com a evolução do processo de elaboração de relatórios SOE, observou-se recentemente a operacionalização de ferramentas de preparação e divulgação destes relatórios através da internet. O United Nation Environmental Program (UNEP) desenvolveu o relatório Cities Environment Reports on the Internet (CERO) que fornece uma biblioteca de indicadores e recursos de software para a edição de textos, gráficos, mapas e fotos, além de hospedar o relatório no próprio site. A biblioteca de indicadores reunida do CEROI engloba um total de indicadores desenvolvimento por outras organizações internacionais.

Assim, observa-se que o tema indicadores ambientais passou por uma forte evolução nos últimos 12 anos, tendo sido inserido nos processos de decisão participativos e integrados, levando à ampliação e diversificação da gama de usuários e dos objetivos.

Além do estudo dos antecedentes históricos que precederam a utilização dos indicadores ambientais e que fizeram com que fossem adotados não só na esfera governamental mas também na esfera organizacional, faz-se necessário ainda analisar as fases que caracterizaram o desenvolvimento dos indicadores ambientais que serão apresentadas no próximo tópico.

5.7.2 Evolução dos Indicadores Ambientais

O desenvolvimento dos indicadores ambientais se deu em três fases: a da departamentalização do conhecimento de variáveis e a da análise dos resultados. (MAIA e BARELLA, p.18, 2001).

Na primeira fase, os indicadores ambientais basearam-se em variáveis de natureza físicas, químicas ou biológicas consideradas importantes para descrever objeto (indicadores primários).

Na fase de estrutura de agregação de variáveis (somatórios, produtórios, medias aritmética, geométricas, harmônicas, etc.) os indicadores foram utilizados não apenas para aglutinar informação de uma mesma natureza, mas também para estabelecer algumas metodologias para congregar variáveis de diferentes espécies (indicadores pela comparação com valores estabelecidos como padrões).

Na terceira fase, ao contrario das fases anteriores em que se tem a produção de indicadores numéricos que permitem uma interpretação unidimensional (considerado apenas um aspecto da realidade), análise dos resultados permitem uma apreciação multidimensional, abordando o problema sob diversos ângulos, permitindo uma melhor compreensão de fenômenos complexos e, conseqüentemente, o controle de seus efeitos sobre a natureza.

Assim a possibilidade de agregação da informação permitiu a estruturação de indicadores em níveis hierárquicos diferenciados criados para descrever os elementos sistêmicos característicos e suas inter-relações. Com isso, dependendo do nível de hierarquia adotado na abordagem sistêmica, indicadores terciários, quaternários ou até de maior ordem puderam ser estabelecidos (indicadores multinível).

Ressalta, ainda, Bolmann (*in* MAIA, MARTOS e BARELLA, 2001, p.16), que ganham força as teorias que buscam um melhor das relações causais entre as atividades humanas e seus efeitos na matriz dos recursos naturais. A natureza apresenta elementos que não podem ser explicados somente pela soma de suas partes ou seja, baseados a interdependência dos fenômenos (estudos reducionais). É necessário a implantação de novos paradigmas do conhecimento para que se possa dar um novo salto no conhecimento.

No tópico a seguir serão apresentadas algumas características de indicadores, ambientais a serem utilizadas para a avaliação do desempenho ambiental de um projeto qualquer.

5.7.3 Características de Indicadores Ambientais

Indicadores ambientais são parâmetros cujos valores proporcionam informações e/ou tendências das condições dos fenômenos ambientais. (INE, 1997).

Um indicador é algo que ajuda a entender onde se está, em que direção se vai e qual a distancia que se separa de onde se quer chegar. (US EPA, 1998).

Diante das definições anteriormente apresentadas, pode-se concluir que um indicador é uma característica do ambiente cujo valor (qualitativo ou quantitativo) obtido (direta ou indiretamente) por meio de medidas, observações, estatísticas, etc., permite entender como esse processo é modificado (no tempo ou no espaço) pela ação do homem, que passará a julgá-lo após análise, segundo padrões estabelecidos.

Desse modo o uso de indicadores ambientais permite simplificar, quantificar, analisar interessadas. Possibilita o planejamento e o controle da qualidade de serviços e processos, pelo estabelecimento de padrões, pela comparação com estes e pela apuração de desvios ocorridos, viabilizando a análise da qualidade verificada nos diversos segmento da organização. (OECD, 1998).

Para CUNHA (p.26, 2001), os indicadores ambientais podem ser classificados em: indicadores absolutos, que informam os dados básicos sem análise ou interpretação, indicadores relativos, que comparam os dados com outros parâmetros, indicadores indexados ao uso de fatores equivalentes, utilizando-se de bases científicas; indicadores agregados, que coletam dados ou informações d mesmo tipo, mas de fontes diferentes e descritos como um valor combinado e indicadores ponderados, que mostram a importância relativa de um indicador em relação a outro.

Existem diversos procedimentos para seleção de indicadores. Os mesmos apoiam-se em abordagens: causais, orientados pela noção de causa e efeito; baseados em domínio, estruturados a partir das dimensões chave de sustentabilidade, ou seja, ambiente, economia e sociedade; baseados em metas, que partem da identificação das metas, por

exemplo, capacidade suporte, necessidades humanas básicas, bem-estar social, prosperidade econômica, participação no governo, etc.; setoriais, que definem indicadores para cada setor sob a responsabilidade de governo, como moradia, saúde, recreação,

transporte, ambiente, desenvolvimento econômico e baseados em assuntos de interesse geral como manejo do lixo, poluição do ar, educação, emprego, etc. (FIDALGO, 2003,p.51).

Todo indicador está relacionado a sua forma de calculo (quantitativo ou qualitativo) traduzido para uma expressão matemática ou linguística. Na tabela 10 são apresentadas algumas formas de indicadores ambientais.

Tabela 10. Tipos de indicadores ambientais.

FORMA	TÍTULO	DEFINIÇÃO
TAXA (N/M)	Consumos de Combustível	Consumo de Combustível/ N° de km rodados
PARAMETRO (P)	Acidentes	Números de acidentes
PERCENTAGEM (n/N)	Cumprimentos de metas	Numero de metas cumpridas no prazo/ Numero total de metas
VARIÁVEL LINGUÍSTICA	Intrusão visual	Muito agradável, Agradável, pouco Agradável, Desagradável

Segundo KUHRE (1998), os indicadores ambientais precisam apontar os aspectos ambientais mais importantes da atividade que, no solo do serviço de transporte rodoviário são: mobilidade, acessibilidades, conforto e segurança.

Para REIS (1996), as organizações devem utilizar números reduzidos de indicadores ambientais que sejam relevantes, úteis e de fácil compreensão para avaliar o desempenho ambiental do empreendimento. Considera, ainda, que os indicadores ambientais, práticos e econômicos, tecnologicamente viáveis, objetivos, neutros, verificáveis, reproduzíveis e comparáveis. Devem ainda refletir a natureza das operações da organização na avaliação de desempenho ambiental.

Assim, por exemplo, para uma organização que realiza predominantemente obras rodoviárias, é fator crítico para sua capacitação a eficiência de seus equipamentos, sendo este um fator preponderante na definição de indicadores a serem elaborados.

Como todo indicador deve ser comparado a um valor denominado padrão para se avaliar o desempenho sobre o aspecto representado, no item a seguir será apresentada uma forma de estabelecimento de padrões.

5.7.4 Elaboração de Padrões ou Limites Ambientais

De acordo com o apresentado no item 2.3.1 desta dissertação, para que se possa elaborar um sistema de gestão ambiental, faz-se necessário, dentre outros aspectos, percorrer duas etapas denominadas pesquisa e juízo. A pesquisa permite gerar características para a descrição da realidade e o juízo, por sua vez, permite, pela comparação dos dados obtidos na pesquisa com um dado padrão, prever, o desempenho da organização.

Considerando-se que a implantação de um SGA pressupõe o comprometimento com a melhoria contínua, torna-se imprescindível o estabelecimento de critérios e procedimentos de análise, bem como a definição de padrões a serem alcançados para que se possa medir e avaliar a eficácia dos resultados obtidos com a implantação do SGA.

Os padrões podem ser estabelecidos por legislação federal, estadual, municipal (água, ar, solo e ruído), pela política ambiental da empresa ou podem ser extraídos a partir da realização de métodos estáticos primários (cartas de controle e gráficos sequências), da comparação com referenciais (benchmarking), bem como da análise de dados históricos.

Em último caso, os padrões podem ainda ser substituídos por uma meta que se caracteriza por ser um valor pretendido para o indicador, a ser atingida em determinadas condições estabelecidas no planejamento.

Assim, uma vez tendo sido observado que não há como avaliar um processo ou serviço sem que haja critérios estabelecidos e padrões definidos, serão apresentados a seguir os indicadores associados ao serviço rodoviário, a partir dos quais poder-se a constituir o passivo ambiental provocado pela operação das vias.

5.7.5 Proposta de Indicadores Ambientais para Rodovias

Os indicadores ambientais para a operação de rodovias estão intimamente ligados com as atividades nelas desenvolvidas e com as alterações por estas provocadas. Estas alterações foram caracterizadas na área de operações rodoviárias.

Além disso os indicadores ambientais são usados para se ter uma radiografia da qualidade ambiental e dos recursos naturais, além de avaliar as condições e as tendências ambientais rumo ao desenvolvimento sustentável.

Desse modo, encontram-se relacionados a seguir indicadores a serem utilizados para a avaliação dos meio físicos (solo, água, ar e clima), biótico (flora e fauna) e antrópico (homem e seus inter-relacionamentos) considerando-se o serviço rodoviário. Não se pretende fazer uma lista exaustiva nem particular de indicadores a implantar, de modo que cada organização interessada em desenvolver um SGA deverá usar este trabalho como guia para tal, incluindo novos indicadores pertinentes e excluindo aqueles que não se aplicam para seu caso.

- **Qualidade da Água** a ser medida pelo numero de coliformes por volume de água ou pela massa de contaminante por metro cúbico de água ou pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO) dentre outros. Este indicador mede a poluição da água e está regulamentado pela Resolução CONAMA nº 20/86 que estabelece uma classificação para as águas doces, salobras e salinas, segundo seus usos preponderantes e padrões de potabilidade e balneabilidade, segundo os fatores físicos (μ g/ m³, mg/m³), químicos (pH, DBO, DQO, OD, °C) e biológicos da água (coliformes fecais / ml, coliformes totais / ml). Por meio da utilização deste indicador, caso os limites estabelecidos para potabilidade e balneabilidade sejam excedidos, constata-se a existência de riscos para a fauna e a flora, já que demonstram a ocorrência de eventos tais como: assoreamento, desejo de óleos, graxas, combustíveis e lixo, contaminação por metais pesados, etc.

- **Vazão de rios** a ser medido pelo volume de água por intervalo de tempo segundo a estação do ano. Este indicador permite identificar modificações na drenagem superficial e subsuperficial, alterações nas capacidades de armazenamento e transferência das bacias de drenagem, extrações irregulares de água subterrânea, rebaixamento do lençol freático, bem como redução na recarga de aquíferos, dos depósitos lacustres e da vazão para o oceano. O padrão pode ser estabelecido pela análise de valores amostrais.

- **Qualidade do ar** a ser medido pela massa de contaminante por volume de ar em μ g/m³, mg/m³. Este indicador mede a poluição do ar e está regulamentado pelo Resolução CONAMA nº 3/90 que estabelece diversos padrões para concentração de poluentes, tais como: dióxido de enxofre (SO²), partículas totais em suspensão, fumaça e monóxido de carbono (CO). Na hipótese de serem ultrapassados os limites estabelecidos, verifica-se o comprometimento da qualidade do ar decorrente do tráfego excessivo de veículos e / ou da poeira gerada pela movimentação de tais veículos, devendo-se propor as medidas mitigadoras a serem adotadas.

- **Qualidade do solo** a ser medido pela massa de contaminante por volume de solo em μ g/m³, mg/m³. Este indicador mede a poluição do solo, pela comparação com um padrão pré-estabelecido para os contaminantes, principalmente hidrocarbonetos, metais pesados, fertilizantes, acidez, dentre outros. Caso os limites estabelecidos pela organização sejam excedidos, constata-se a existência de riscos para a fauna e a flora, já que demonstram a ocorrência de eventos como derramamento de cargas perigosas e de óleos e graxas, devendo-se propor medidas mitigadoras a serem adotadas.

- **degradação do solo** a ser medido pela área degradada por unidade de tempo por trecho da rodovia. Este indicador mede a área degradada em razão de desmatamentos, depósitos de lixo, bota-foras, escavações, dentre outros. Caso de verifique que o limite estabelecido a partir de análises estatísticas foi excedido, devem ser propostas medidas mitigadoras a serem adotadas.

- **ruído** a ser medido em decibel. Este indicador mede o nível de pressão sonora percebido pelo ouvido humano só existiam até o momento leis Estaduais e Municipais que disponham sobre a definição de padrões para este indicador, encontra-se em tramitação no Congresso Nacional o projeto de Lei nº 4.260, de 2001 de autoria do Deputado De Velasco que se aprovado, converte-se à em Lei Federal que estipulará padrões para todas as atividades que envolvam ruídos, segundo o uso do solo residencial, comercial e industrial. Quando os limites são excedidos, há riscos para a saúde humana, provocados por falhas no gerenciamento das obras ou na manutenção da via, devendo-se propor medidas mitigadoras a serem adotadas.

- **Numero de ocorrências** a ser medido pelo numero de ocorrências por unidade de tempo por trecho da rodovia. Este indicador, do tipo agregado, reúne todo tipo de incidente e / ou acidentes como: abalroamentos, colisões e atropelamentos e aponta falhas de sinalização, de manutenção da via, a invasão da faixa de domínio por animais e pessoas, necessidade de uso e

construção de passarelas e passagens secas, etc. Não há regulamentação que estabeleça padrões para este indicador, portanto, cada organização deverá definir um limite de aceitabilidade coerente à densidade do tráfego do trecho e propor medidas para melhoria contínua.

- **Endenismos** a ser medido pela faixa de domínio da rodovia afetada por queimadas por unidade de tempo por trecho da rodovia. Este indicador mede a área queimada em decorrência de incêndios, afim de que se possa avaliar, por meio de análises estatísticas ou da comparação com dados históricos, se houve falha na fiscalização ou na manutenção da rodovia. Em algumas situações, os incêndios podem decorrer de causas naturais. Todavia, caso se verifique que o limite aceitável de incêndios foi excedido, constatar-se à existência de incêndios criminosos ou de falhas na manutenção dos aceiros, devendo-se propor as medidas de controle a serem adotadas.

- **Faixa lindeira** invadida a ser medido pela área da faixa de domínio invadida por pessoas ou animais por unidade de tempo por trecho da rodovia. Este indicador mede o numero de invasões ocorridas na faixa lindeira e demonstra falhas na fiscalização da mesma.

- **Movimentos de massa** a ser medido pelo volume de solo movimentado por causas geotécnicas por unidade de tempo por trecho da rodovia. Este indicador, do tipo agregado, mede o volume de solo ou rocha movimentado em decorrência de quedas de blocos, rastejo, solapamentos, ravinamentos, voçoroca, dentre outras causas geotécnicas. Caso se verifique que o limite padrão estabelecido pela organização como viável, considerando análises históricas ou estatísticas, o estudo das características geológicas / geomorfológicas, das condições climáticas e do uso do solo na região, seja excedido, constata-se falhas na fiscalização e na manutenção da rodovia, devendo-se proceder a recuperação dessas massas imediatamente.

- **Predação da fauna** a ser medido pelo numero de espécies apreendidas em caçadas ilegais por unidade de tempo por trecho da rodovia. Este indicador mede o numero de espécies apreendidas ou encontradas mortas em decorrência de predação ilegal. Caso se verifique que foi excedido um limite padrão estabelecido, por exemplo, a partir de análises históricas ou estatísticas, constata-se falhas na fiscalização, devendo-se propor medidas mitigadoras a serem implementadas, objetivando a redução do indicador.

Cabe ainda ressaltar que, para a implementação do sistema proposto, faz-se ainda necessário determinar a quantidade e a localização dos pontos de controle onde será realizado

o monitoramento dos indicadores ambientais propostos. Esses pontos devem ser determinados por especialistas, com base em critérios técnicos e científicos, após a caracterização física e ambiental das áreas sensíveis ao longo da rodovia, de modo a garantir que as medidas mitigadoras adotadas sejam eficientes para garantir que a área em questão deixe de integrar o passivo ambiental da rodovia ou não venha a constituir-lo, para o caso de uma área onde não se observa a presença de danos significativos ao meio ambiente.

Encontra-se na seqüência, para melhor compreensão, a Tabela 11 que apresenta os indicadores ambientais propostos, a forma de obtenção dos padrões a serem respeitados e suas respectivas unidades de medida.

Tabela 11. Propostas de Indicadores Ambientais.

TÍTULO	PADRÃO	UNIDADE DE MEDIDA
Qualidade de Água	Lei Federal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou mg/m^3
Vazão de Rios	Obtido a partir de análises estatísticas	Vazão em m^3/s
Qualidade do Ar	Lei Federal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou mg/m^3
Qualidade do Solo	Referencias Internacionais	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou mg/m^3
Degradação do Solo	Obtido a partir de análises estatísticas	Área medida em m^2 ou ha
Ruído	Lei Municipal ou Estadual	Decibel (dB)
Número de Ocorrência	Obtido a partir de análises estatísticas	Parâmetro
TÍTULO	PADRÃO	UNIDADE DE MEDIDA
Qualidade da Flora	Obtido a partir de análises estatísticas	Área média em m^2 ou ha
Faixa Lindeira Invasida	Obtido a partir de análises estatísticas	Área medida em m^2 ou ha
Movimentos de Massa	Obtido a partir de análises estatísticas	Volume de solo medido em m^3
Predação da Fauna	Obtido a partir de análises estatísticas	Parâmetro

Diante do exposto, observa-se que o processo de geração, seleção de indicadores ambientais merece muita atenção pelas organizações que desejam ou devam realizar a avaliação ambiental ou controlar uma determinada condição no ambiente. Sem tal

preocupação, qualquer conclusão a respeito do seu desempenho ambiental ocorre um grande risco de ser inconsistente, não estando apoiada sobre bases científicas.

A utilização de indicadores consagrados na literatura técnica não é garantia de sucesso, uma vez que estes dependem das peculiaridades ambientais da região e das características dos empreendimentos. Desse modo, é imprescindível que a equipe técnica do empreendimento esteja engajada para apreciação e identificação dos indicadores ambientais a serem considerados no processo de avaliação de desempenho ambiental.

CONCLUSÃO

Construiu-se uma base sólida de dados apropriados e de subsídios no desenvolvimento de uma conceituação ambiental voltada para a área rodoviária caracterizada como faixa de domínio, onde se apresenta vários impactos significativos através do efeito de bordo induzindo em degradação ambiental os lindeiros, e principalmente os corpos hídricos da microbacia interceptados por trechos rodoviários.

As técnicas mitigadoras empregadas foram alinhadas para atingir os setores água, ar e solo observando um equilíbrio necessário para as atividades de operação e conservação rodoviária.

O índice de Relevância do Passivo Ambiental – RPA – nos caracteriza a necessidade de um cadastro por ordem de relevância onde ordenará as ações corretivas combatendo a perda de solo e conseqüentemente o assoreamento das APP – Áreas de Preservação Permanente.

A caixa de retenção difusa, mitiga o impacto do assoreamento e estabelece um fluxo de reaproveitamento do solo ali decantado no combate as erosões. Dá uma alternativa de transbordo nos acidentes com produtos perigosos não levando a contaminação até o corpo hídrico.

Na redução das emissões de CO₂ com a implementação da mata ciliar e da faixa de domínio com o plantio de espécies nativas conectadas reequilibrando a biodiversidade do solo rodoviário e preservando o bem maior que é a água do planeta certamente evitará a propagação do efeito de bordo aos lindeiros.

A verificação da existência de áreas sensíveis aliadas as cartas geotécnicas e as apropriações de indicadores ambientais rodoviários torna-se valioso no processo de adequação dos sistemas de gerenciamento ambiental rodoviário e da qualidade dos serviços ambientais na operação e conservação rodoviária e nos aplicativos dos conceitos de sustentabilidade.

Evidencia-se que o conhecimento da necessidade de se ter um sistema integrado de técnicas e do acoplamento e retenção com o corpo hídrico nos indica a grande importância na

elevação do restauro da biodiversidade desta faixa de solo remanescente que é a faixa de domínio.

A denominação destas técnicas com kmAmbiental é justamente para o estabelecimento de características sempre de base ambiental no trato da faixa de domínio, para ser então um elo de ligação com a educação ambiental, tão necessária a nossa sociedade.

Por meio desta implementação do KmAmbiental nos moldes propostos, tem-se a garantia de êxito no desempenho das atividades que compõem a operação rodoviária, não só no ponto de vista de eficiência do serviço prestado mas especialmente do ponto de vista da preservação da qualidade ambiental, o que trará reflexos positivos em todo ciclo de vida da rodovia.

Recomendações

a) Estruturação de um banco de dados contendo indicadores ambientais relacionados aos trechos rodoviários de forma a congregarem de forma global todos os empreendedores rodoviários, a tratar a recuperação do passivo ambiental e da faixa de domínio de forma ambiental recuperando as espécies nativas pioneiras quando da implantação da rodovia;

b) Elaboração de um procedimento para definição da localização e da quantidade de pontos de avaliação da qualidade de água, do solo e do ar;

c) Identificação através de sinalização específica de placas de sinalização ambiental justamente para indicar as Áreas de Preservação Permanente e ícones ambientais;

d) Normalização e caracterização do resíduo sólido rodoviário e do sistema de recolhimento e das competências jurisdicionais.

REFERÊNCIAS

- AGENA, S. S. **Carta Geotécnica para o Planejamento do Uso das Terras Rurais**. São Paulo, 2005, 132 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Gestão Ambiental.
- AGUIAR, R. L., PARAGUASSÚ, A. B., GANDOLFI, N., 1995. Reflexão sobre a utilização do mapeamento geotécnico na determinação do potencial à erosão em regiões brasileiras. **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, 5, 1995, Bauru. Anais. São Paulo: ABGE. p. 265-266.
- AKIOSSI. A. Gestão em concessionária de rodovias. X Congresso Brasileiro de Geologia e Ambiental. Ouro Preto - MG , 2002.
- AKIOSSI. A.; KERTZMAN, F. F. AUGUSTO FILHO; O., OLIVEIRA; F. M. e MOREIRA; J. Ajuste do traçado rodoviário a partir da utilização da carta de restrições ambientais: o caso do contorno de Sorocaba-SP. **XI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**. Florianópolis, 2005.
- ALMEIDA, F.F. M. **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista**. São Paulo: IGG, 1964. p. 167-263 (Boletim 41).
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; MELO, M. S.; BISTRICHI, C. A. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981.
- ALMEIDA. J. R. F. Implantação de projetos de dutos na Petrobrás: perspectiva ambiental. **III Encontro Ibero-americano de Unidades Ambientais do Setor de Transportes**. Florianópolis, 1998.
- ALMEIDA, L. C. R., 1998. Mapeamento para cadastro de pontos de alto risco geológico-geotécnico em vias públicas: o exemplo da avenida Menezes cortes – RJ. **III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**. ABGE. Florianópolis , 1998.
- ALMEIDA, L. E. G. & RODRIGUES, J. E. A avaliação dos terrenos aplicada na definição de sustentabilidades à erosão. **III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**. Florianópolis, 1998.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. The Application of Aerial Photographs in soil Survey. AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of Photogrammetric Interpretation**. I.ed. New York : Am. Soc. Photogr., 1960. Appedix A, p. 633-666.
- ANDRADE, R. O. B.; TACHIZAWA, T.; CARVALHO, A. B. **Gestão Ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável**. 2ª ed. São Paulo: Markron Books , 2004.
- ANDREW, C. O. & HILDEBRAND, P.E. **Planning and Conducting Agricultural Research**. Westview: Boulder, 1982 .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA AMBIENTAL – ABGE. – **Manual de Sondagens**. 4ª ed. – São Paulo. 1.999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de Gestão Ambiental**: especificações e diretrizes para uso – NBR ISSO 14001. 1996^a, Rio de Janeiro, 1996^a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de Gestão Ambiental**: diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio – NBR ISSO 14004. Rio de Janeiro, 1996b.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológica-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. **I Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas**. Rio de Janeiro, 1992.

AUGUSTO FILHO, O. Utilização de SIG no gerenciamento de passivo ambiental: um exemplo para empreendimento rodoviário. **X Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia e Ambiental**. Ouro Preto, 2002.

AUGUSTO FILHO, O.; MAGALHÃES F. S.; GRAMANI M. F. Mas s movements susceptibility map of a highway sistem using gis technology: a case study in Brazil. **GEOLINE**. Geology and linear structures. Lyon France, 2005.

AUSTIN M. P. & COCKS K. D. **Land use on the South Coast of New South Wales**: a study of methods of acquiring and using information to analyse regional land use options. Australia. Commonwealth Scientific and industrial Research organization, 1978, 2v General report.

ABHO. Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais. **NR-9 Comentada**. São Paulo: ABHO, 1999.

ANDRADE, Rui Otávio Bernardes de; TACHIZAWA, Takeshy e CARVALHO , Ana Barreiros de. **Gestão Ambiental Estratégico Aplicado ao Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Makron Books, 2002.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Dano Ambiental**: uma abordagem conceitual. Rio de Janeiro: Lumens Júris, 2002.

BARBOSA, T. T. A. & CERRI, L. E. S.. Carta Geológico-geotécnica para empreendimentos rodoviários a partir de métodos de investigação de superfície, na escala 1:25.000. São Carlos, 2004. Cartografia Geotécnica e Geoambiental – Conhecimento do Meio Físico: Base Para a Sustentabilidade. Anais: **V Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental**. São Carlos, 2004.

BARROS, C.; MENANDRO, L.; SILVA, L.A. A auditoria ambiental no setor elétrico brasileiro. **V I Congresso Brasileiro de Energia** - Seminário latino- americano de energia. Rio de Janeiro, 1993.

BELCHER, D. J. **Determinations of Soil Conditions from Aerial Photographs**. **Photogrammetric Engineering**. [s.l.], v. 14, p. 482, 1948.

BARAT, Josef. **A Evolução dos Transportes no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE: IPEA, 1978.

BELLIA, Vitor; BIDONE, Edison D. **Rodovias, Recursos naturais e meio Ambiente**. Rio de Janeiro: EDUFF, 1993.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRAILLE, Pedro Márcio. **Dicionário de Inglês/ Português de termos técnicos de Ciências Ambientais**. Rio de Janeiro: CNI/ SESI, 1992.

BRANCO, Samuel Murgel. **O Meio Ambiente em Debate**. 26ª ed. São Paulo: Moderna, 1997.

BRANDÃO, Gláucia Brito. **Transportes e Meio Ambiente no Brasil**. 1996. .
Dissertação - Mestrado em Sistemas e computação – Instituto Militar de Engenharia, 1996.

BRASIL. **Constituição Federal (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado federal, 1988.

BRASIL. **Corpo Normativo Ambiental para Empreendimentos Rodoviários**. Rio de Janeiro: DNER, 1996.

BRASIL. **Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Controles Ambientais**. Rio de Janeiro: DNER, 1996.

BRASIL. **Diretrizes Ambientais para o Setor de Transportes**. Brasília: DNER/GEIPOT, 1992.

BRASIL. **Político Ambiental do Ministérios dos Transportes**. Brasília: DNIT, 2002.

BRASIL. **Meio Ambiente** – aspectos técnicos e econômicos. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento. Brasília: 1990.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Lei 9.503 de 23 de setembro de 1997. **Código de Trânsito Brasileiro**. Brasília: Imp. Nac., 1997.

BRASIL. **Meio Ambiente**: Legislação. Subsecretaria de Edições Técnicas. Brasília: Senado federal, 1991.

BRIGANTE, Adriana Alves. **Sistema de Gestão Ambiental**: Estudo de caso em uma Cervejaria. 1999. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1999.

BURSZTYN, Maria Augusta Almeida. **Gestão Ambiental** – Instrumentos e Práticas. Brasília: IBAMA, 1993.

CALLENBACH, Ernest; Capra, Frijof; GOLDMAN, Leonore; LUTZ, Rudiger e MARBURG, Sandra. **Gerenciamento Ecológico** – Eco Management. São Paulo: Editora Cultrix, 1993.

CAMPOS, Lucila Maria de Souza. **SGADA – Sistema de Gestão e Avaliação de Desempenho Ambiental**: uma proposta de implantação. 2001. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, PPGEP, 2001.

- CMMAD. **Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Nosso futuro Comum. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1991.
- CONCEIÇÃO, Ivan. **Concessão Rodoviária** – Proposta Metodológica para as condições Brasileiras. 1997. Teste de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 1997.
- CONWAY QUALITY Inc. **Caçadores de Desperdícios: um companheiro de bolso para a busca da qualidade e da produtividade**. Trad. Luiz Liske. Rio de Janeiro: Qualimark Ed. 1998.
- CUNHA, Rudemar Silveira da. **Avaliação de Desempenho Ambiental de uma indústria de Processamento de Alumínio**. 2001. Dissertação - Mestrado Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- CUNHA, Sandra Baptista da e GUERRA, Antonio José Teixeira. **Avaliação e Perícia Ambiental**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2002.
- COSTA, S. F. **Método Científico** – os caminhos da investigação. São Paulo: Harba, 2001.
- D'AGOSTO, Marcio de Almeida. **O Transporte Rodoviário e o Meio ambiente**. Relatório Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 1997.
- D'AKMEIDA, Cristina M. Rodrigues. **O Passivo Ambientail Segundo Diferentes Abordagens**. 2002. Dissertação - Mestrado em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPRE, 2002.
- DA COSTA, Pedro Segundo; FIGUEIREDO, Wellington Correia de. **Estradas** – Estudos e Projetos. Salvador: EDUFBA, 1995.
- D'AVIGNON, Alexandre. **Normas Ambientais ISSO 14000: como podem influenciar sua empresa**. Rio de Janeiro: CNI, 1995.
- DE SINAY, Maria Cristina Fogliatti. **Notas de Aula da Disciplina de Impactos Ambientais dos Transportes**. Rio de Janeiro: Instituto militar de Engenharia, IME, 1997.
- DER- PR. **Manual de Instruções Ambientais para Obras rodoviárias**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná e Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1999-2000.
- DERISIO, José Carlos. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB, 1992.
- DER-SC. **Manual de Procedimentos Ambientais Gestão Ambiental no setor Rodoviário**. Florianópolis, 1998.
- DERTES. **Manual de Informações Ambientais Básicos para Obras Rodoviárias**. Vitória: Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes do estado do Espírito Santo, DERTES, 2002.
- DIAZ-MORENO, A. B. Possibilidades Metodológicas de Aplicación de Indicadores Ambientales a nível Municipal. **Revista de Estudos Ambientais**, vol. 1, n. 1. Blumenau. 1999.

DNER. **Perfil Histórico do DNER**: Breve Histórico do Rodoviarismo Federal no Brasil. [online]. 2000. Disponível: <<http://DNER.gov.br>>. Acesso em: 16 out. 2003.

DNER. **Corpo Normativo Ambiental para Empreendimentos Rodoviários**. Diretoria de Engenharia. Divisão de Estudos e Projetos. Serviço de Estudos Rodoviários e Ambientais. Rio de Janeiro: DNER, 1996.

DNER. ENECON. **Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo**. Rio de Janeiro: DNER, 1998.

DNER. **Instruções de Proteção Ambiental das Faixas de Domínio e Lindeiras das Rodovias Federais**. Rio de Janeiro: DNER, 1996.

DNER. **Instruções para a Fiscalização do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos**. Rio de Janeiro: DNER, 2000.

DNER. **Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Controle Ambientais**. Rio de Janeiro: DNER, 1996.

DNER. **Procedimentos Básicos para a Operação de Rodovias**. Rio de Janeiro: DNER, 1997.

DNER/IME. **Proposição de Normas Ambientais para Rodovias. Curso de Gestão Ambiental para Empreendimentos Rodoviários**. Rio de Janeiro: DNER/IME, 1998.

DUARTE, Ana Claudia Calheiros. **Análise de Desempenho Ambiental de Rodovias Concessionadas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2002.

FARIA, Sergio Fraga Santos. **Fragmentos da História dos Transportes**. São Paulo: Aduaneiras, 2000.

FEEMA. –RJ. **Vocabulário Básico de Meio Ambiente**. Serviço de Comunicação Social da PETROBRÁS. Rio de Janeiro: Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEEMA, 1990.

DE JORGE, F. N. **Avaliação do Desempenho Ambiental** – proposta metodológica e diretriz para aplicação em empreendimentos civis e de mineração. tese de doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2001.

DE JORGE, F. N.; COSTA R. M.; RIDENTE, J. L. Jr.; NOVELLO NETO, A. V.; AZAMBUJA, C. H. B.; PACHIEGA, A. Jr.. Método, procedimentos e resultados da supervisão ambiental das obras do programa de recuperação de rodovias do Estado de São Paulo. **XI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**. Florianópolis - 2005. ABGE - São Paulo.

DE JORGE, F. N.; NOVELLO NETO, A. V.; PACHIEGA, A. Jr.; AZAMBUJA, C.H.B.; RIDENTE, J. L. Jr.; COSTA R. M. Análise de ocorrências ambientais em obras de recuperação de rodovias no Estado de São Paulo. **Jornada Técnica Meio Ambiente Viário Urbano e Rural**. São Paulo, 2004a.

DECK.O.; LAUMONIER, B.; MERRIEN-SOUKATCHOFF, V. **An Original pedagogical experiment about projects.** GEOLINE and linear structures. Lyon France, 2005.

DER-SP - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo ; IPT - instituto de Pesquisas Tecnológicas . **Taludes de Rodovias:** Orientação para Diagnóstico e Soluções de seus problemas. São Paulo DER/SP-IPT 1991. (Publicação IPT no. 1843).

DER-SP - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo . **Instruções Ambientais para Empreendimentos Rodoviários do DER/SP.** São Paulo: DER/SP 200621. Disponível em: <www.der.sp.gov.br>. Acesso em: 15 nov. 2006.

_____. **Relatório Interno:** Cadastro dos Passivos Ambientais Associados as Rodovias, São Paulo 2006b. Consultado no órgão em 21/09/2006.

_____. **Relatório de Avaliação Ambiental do Programa** - RAAP, Programa de recuperação de rodovias do Estado de São Paulo. 2004. Disponível em: <www.der.sp.gov.br>. Acesso em: 22 jan. 2014.

_____. **Instrução de Projeto** - Estudos Geológicos, São Paulo. 2005. DER/SP. IP DE G000/002. www.der.sp.gov.br. Consultado em 15/11/2006 as 24:40h. 27p.

DER-PR - Departamento de Estradas de Rodagem do Governo do Estado do Paraná. **Manual de Instruções Ambientais para Obras Rodoviárias.** Curitiba. 2000.

DEINFRA - Departamento de Infraestrutura do Governo do Estado de Santa Catarina -. **Relatório Final do Subprograma Levantamento e Avaliação do Passivo Ambiental da Malha Rodoviária Pavimentada** (Volumes I a IV). Florianópolis, julho 2005.

_____. **Minuta do Manual de Procedimentos Ambientais** - Gestão Ambiental no Setor Rodoviário. Florianópolis. 2004a.

_____. **Minuta da Instrução de Serviço 05** - Estudo e Projeto de Meio Ambiente. Florianópolis. 2004b.

_____. **Termo de Referência para o Subprograma de Levantamento e Avaliação do Passivo Ambiental da Malha Rodoviária.** 2004c.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem . **Norma Rodoviária** - Mapeamento geológico geotécnico para obra rodoviária. Brasília. 1995. DNER-PRO 014/95.

DNIT- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. **Instruções de Proteção Ambiental das Faixas de Domínio e Lindeiras das Rodovias Federais.** Rio de Janeiro. 2006a.

DERSA - Desenvolvimento Rodoviário S. A. - DERSA. **Manual de Supervisão Ambiental** - Rodoanel Mario Covas - Trecho Sul. São Paulo. 2006a.

_____. **Solicitação de Licença de Operação** - Anel viário de Campinas (SP-083) - Rodovia José Roberto Magalhães Teixeira. Processo SMA/ DAIA nº 477/89. São Paulo. 2006b.

_____. **Solicitação de Licença de Operação** - Interligação Rodoviária (SP-070 / SP-065) e Intersecção SP-070 / SP-066. Processo SMA/ DAIA nº 7.034/92. São Paulo.2006c.

_____. **Solicitação de Licença de Operação** - Rodovia Carvalho Pinto (SP-070). Processo SMA/ DAIA nº 336/89. São Paulo, 2006d.

DIAS, E. G. C. S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo**: a etapa de acompanhamento. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo 2001.

DINIZ, N. C. **Automação da Cartografia Geotécnica um Ferramenta de Estudos e Projetos para Avaliação Ambiental**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo ,1998, Volumes: I e II.

DONAIRE, D. Considerações sobre a influência da variável ambiental na empresa. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, p.68-77, mar.-abr. 1994.

FERREIRA, Aracéli Cristina de Sousa. **Contabilidade Ambiental**: uma informação para o desenvolvimento sustentável. São Paulo: Atlas, 2003.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. 2ª. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

FIDALGO, Elaine Cristina Cardoso. **Critérios para a Análise de Métodos e Indicadores Ambientais usados na etapa de Diagnostico de Planejamentos Ambientais**. 2003. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, 2003.

FILIPPO, Sandro. **Subsídios para a Gestão Ambiental do Transporte Hidroviário Interior no Brasil**. 1999. 300 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes - Instituto Militar de Engenharia, 1999.

FRAENKEL, Benjamin B. **Engenharia Rodoviária**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S. A, 1980.

FREITAS, Carlos Geraldo Luz de. (COORD.) et al. **Habitação e Meio Ambiente - Abordagem Integrada em Empreendimentos de Interesse Social**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 2001.

GANDIM, Danilo. **Planejamento como Prática Educacional**. 3ª ed.. São Paulo: Loyola, 1990.

GEIPOT. **Caminhos do Brasil: 500 Anos**. Brasília: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, 2001.

GEIPOT. **Diretrizes Ambientais para o Setor Transportes**. Brasília: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, 1992.

GEIPOT. **Programa Estrada Viva BR-262** - Resumo Executivo. Brasília: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, 1999.

GOUDARD, Beatriz. **Avaliação Ambiental de Alternativas de Projetos de Transporte Rodoviário com o uso da Lógica Fuzzy**. Dissertação de Mestrado – Instituto Militar de Engenharia - IME, 2001.

GUERRA, Antonio Jose de Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. **Erosão e Conservação dos Solos** - Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **A Questão Ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

_____. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

GALLARDO, A. L. C. F. **Análise das Práticas de Gestão Ambiental na Construção da Pista Descendente da Rodovia dos Imigrantes**. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da USP. USP. São Paulo 2004.

GALVES. M. L. **Condicionantes Geotécnicas no Traçado de Rodovias**. Tese Doutorado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1995.

_____. Sistema de gerenciamento ambiental de empreendimentos rodoviários de acordo com a ISO 14000. **Encontro Ibero-americano de Unidades Ambientais do Setor de Transportes**. Anais eletrônicos. Florianópolis: DNER, 1998. Disponível em: <<http://200.I80.3.8/iiiencontro/principal/htm>>. Acesso em: 10 jan. 2006.

GALVES, M. L.; AVO, A. M. Investigação do passivo ambiental de rodovias por meio de indicadores de impacto. **Seminário Nacional a Variável Ambiental em Obras Rodoviárias**. Foz do Iguaçu, 1998. p. 329-333.

GARCIA, J. M. P. Interpretação geotécnica de unidades geomorfológicas como contribuição ao zoneamento geotécnico. **X Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**. Ouro Preto, 2002. ABGE, São Paulo.

GARIBALDI. C. M. **Gestão de Passivos Ambientais Associados a Escorregamentos em Rodovias**: contribuições ao cenário metodológico. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2004.

GEIPOT- Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes - **Anuário Estatístico dos Transportes do Ano de 2001**. Brasília 2006. Anuário 2001. Disponível em: <<http://gipot.gov.br/NovaWeb/IndexAnuario.htm>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

GIL, A. **Projetos de Pesquisa**. São Paulo. Editora Atlas, 1996.

GILBERT, M.J. **BS 7750 (futura ISO 14000)**: sistema de gerenciamento ambiental. São Paulo 1995. IMAM,

GLASSON, G.; THERIVEL, R.; CHADWICK. **A Introduction to Environmental Impact Assessment**. London 1999. UCL Press, 2ª ed.

GOMES, R. L. & RODRIGUES, J. E. Carta de suscetibilidade à erosão da região sudeste do município de Campinas - SP. 1998. **VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, 1998.

GRAMANI M. F.; OLIVITO, J. P. R.; AUGUSTO FILHO, O.; MAGALHÃES. F. S. Análise da potencialidade de geração de corridas de massa nos trechos serranos do duto OSBAT. **XI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**. Florianópolis, ABGE S50 Paulo, 2005.

GRANT, K. A., A systemalic approach to mapping engineering geology. São Paulo, **II International Congress of Engineering Geology**, Proceedings, 1974.

HARRINGTON, H. James; KNIGT, Alan. **A Implementação da ISO 14000** – Como Atualizar o Sistema de Gestão Ambiental com Eficácia. São Paulo: Atlas, 2001.

HARRISON, Roy M. **Pollution: Causes, Effects and Control**. 4ª ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001.

IBAMA. **Avaliação de Impacto Ambiental: Agentes Sociais, Procedimentos e Ferramentas**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995.

IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável** : Brasil 2002/ IBGE. Diretoria de Geociências. . Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil 2002**. Rio de Janeiro, 2002. (Serie Estudos e Pesquisa. Informação Geográfica, 2).

INE. **Programa de Médio Ambiente - 2000**. México D.F.; Dirección General de Gestión e Información Ambiental. [online]. 1995. Disponível: www.ine.gob.mx [capturado em 25 set. 2003]

ISO/FDIS 14031. **Environmental Management- Environmental Performance Evaluation - Guidelines**. Strikethrough Version. 1998.

JURAS, Ilidia da A. G. Martins. **Rio + 10 - O Plano de Ação de Joanesburgo**. Consultoria Legislativa. Relatório Especial. Brasília: Câmara dos Deputados. 2002.

KUHRE, W. Lee. **ISO 14031 Environmental Performance Evaluation - EPE**. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1998.

LA ROVERE, Emilio Lebre (COORD.); D'AVIGNON, Alexandre et al. **Manual de Auditoria Ambiental**. Qualimark Ed. 2000.

LERIPIO, Alexandre De Avila. **GAIA - Um Método de Gerenciamento de Aspectos e Impactos Ambientais**. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2001.

LISBOA, Plácido. Passivo Ambiental. **XVI Congresso Brasileiro de Contabilidade Goiânia - GO.2000**. Disponível em: <<http://www.eac.fea.usp.br/eac/arquivos/artigos/mais/passivoambientalpdf>>. Acesso em: 17 ago. 2003.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito Ambiental Brasileiro**. 11ª ed. rev. amp e atl. São Paulo: Malheiros Editores, 2003.

MAGRINI, Alessandra. **Metodologia de Avaliação de Impacto Ambiental**. O Caso das Usinas Hidrelétricas. 1992. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro: COPPEAD, 1992.

MAIA, Nilson Borlina; MARTOS, Henry Lesjak ; BARELLA, Walter (ORG.). **Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC - Editora da PUC- SP, 2001.

MALHEIROS, Telma Maria Marques. **Análise da Efetividade da Avaliação de Impactos Ambientais como Instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente: Sua Aplicação em Nível Federal**. Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1995.

MARGULIS, Sergio. **Meio Ambiente: aspectos técnicos e econômicos**. IPEA: Brasília: IPEA/ PNUD, 1990.

MELLO, José Carlos. Meio Ambiente, Educação e Desenvolvimento. **Coleção INTRAMER da OEA**. Washington: OEA, 1996.

MORAES, Luis Carlos Silva de. **Curso de Direito Ambiental**. São Paulo: Atlas, 2001

MOREIRA, Maria Suely. **Estratégia e Implementação do Sistema de Gestão Ambiental: Modelo ISO 14000**. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 2001.

MOURA, Luiz Antonio Abdalla de. **Qualidade e Gestão Ambiental: Sugestões para Implantação das Normas ISO 14.000 nas Empresas**. 33 ed. rev. amp. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2002.

NBR ISO 14001. **Sistema de Gestão Ambiental: diretrizes gerais sobre princípios, Sistemas e técnicas de apoio**. ABNT. 1996.

NBR ISO 14004. **Sistema de Gestão Ambiental: especificação e diretrizes para uso**. ABNT, 1996.

NUNES, Renata Motinha. **Subsídio para o Gerenciamento Ambiental na Implantação e Operação de Aeroportos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes - Instituto Militar de Engenharia, 2002.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. Trad. de Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

OECD, (1993). **OECD Core Set os indicators for Environmental Performance Reviews - OECD Publications**. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômicos, Paris.

OECD, (1998). **Towards Sustainable Development - Environmental Indicators**. OECD. Publications, Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômicos, Paris.

OLIVEIRA, Antonio Gledson de; NETO, Francisco Anuatti; AIMOLA, Luiz António (Coord.). **A Experiência Brasileira de Concessões de Rodovia**. São Paulo: USP/ FIPE/ UFRS/ ABCR, 2003.

PEREIRA, Alessandra Pimentel de Oliveira. **Subsídios para o Gerenciamento Ambiental na Implantação e Operação de Ferrovias**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes - Instituto Militar de Engenharia, 2000.

PEJON. O. & ZUQUETTE, L. V. Importância do estabelecimento de cartas de potencial ao escoamento superficial para definição do potencial de risco a erosão acelerada. São Paulo 1995. **XXXVII - Congressos Brasileiro de Geologia**. SBG. Anais. p. 105-106.

PERROTA, M. M.; SALVADOR, E. D.; LOPES, R. C.; D'AGOSTINO, L. Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S. D.; SACHS, L. L. B.; MEIRA, V. T.; LACERDA FILHO, J. V. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000**. São Paulo, CPRM 2005. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, CPRM, São Paulo.

PIRES NETO, A. G.; YOSHINAGA. S. O Planejamento territorial no Instituto Geológico revisão e avaliação da experiência. **Revista do Instituto Geológico**. Volume especial, p.37-44, São Paulo 1995.

PONÇANO. V. L., CARNEIRO, C. D. R; ALMEIDA. M. A. A.; BISTRICHI, C. A. **Mapa Geomorfológico do Estado do São Paulo Escala 1:1.000.000 São Paulo**, 1981. IPT.

PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A.; FREITAS. C. G.; DINIZ. N. C. Camas geotécnicas nos planos diretores regionais e municipais. *In*: Bitar. O. Y. **Curso de Geologia de Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente**, São Paulo: ABGE, 1995, p. 187-202.

PRANDINI. F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G,L. O meio físico e o uso territorial: O papel da geologia de engenharia. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**. Curso de planejamento ambiental em regiões litorâneas. São Paulo: CETESB - Serie Didática Especial, 1991.

RAIVIPAZZO, Lino. **Metodologia Científica** - para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação. São Paulo: Edições Loyola, 2002.

REBELO, V. Engineering geological studies for the highway A23, Beira Interior Concession (Portugal). **GEOLINE - Geology and Linear Structures**, Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.

REIS, M. J. L. **ISO 14000**: gerenciamento ambiental: um novo desafio para a Sua competitividade. Rio de Janeiro Ed. Qualymark. 1996.

RIDENVTE JUNIOR, J. L. **Prevenção e Controle da Erosão Urbana**: bacia do córrego do Limoeiro e bacia do córrego do Cedro, municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE – UNESP- Rio Claro 2000.

RIDENTE JUNIOR, J. L. ; STEIN, D. P.; IWASA, O. Y.; OLIVEIRA, A.M.S.; ALTAFINI, M. Carta de risco de erosão da área urbana de Botucatu, SP, Bauru, 1995. V **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. ABGE, Resumos expandidos: ABGE.

RIDENTE JUNIOR. J. L.,CANIL. K.; IWASA, O.Y.; CERRI, L. E. S.; AUGUSTO FILHO, O. A. Risco potencial de erosão da área urbana e periurbana de São José do Rio Preto, SP. Presidente Prudente. 1998. **VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão**.

RAP. **Revista da Administração Pública**. V. 34. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2000.

REIS, Mauricio J. L. **ISO 14000: Gerenciamento ambiental - um novo desafio para a sua competitividade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.

ROCCO, Rogério. **Legislação Brasileira do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: DP&A, 2002.

RODRIGUES, B.B & PEJON, O. Susceptibilidade à erosão: inventário e análise para a região de Águas de Lindóia - SP. Presidente Prudente. 1998. **VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão**.

ROMANINI, P. U. **Rodovias e Meio Ambiente: principais impactos ambientais, incorporação da variável ambiental em projetos rodoviários e sistema de gestão ambiental**. São Paulo. 2000a, 2v. Tese Doutorado - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

ROMANINI, P. U. **Rodovias e Meio Ambiente: principais impactos ambientais, incorporação da variável ambiental em projetos rodoviários e Sistema de Gestão**. Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo. São Paulo, 2000b.

ROMANINI, P. U. Avaliação de desempenho ambiental. *No prelo*. Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo, São Paulo, 2006.

ROSS, J. L. S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo:FFLCH – USP 1995. ISSN 0102-4582.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: FFLCH-USP/ IPT/ FAPESP. 1997.

RUESGA, S.M.; DURAN, G. (Org). **Empresa Media Ambiente**. Madrid: Pirâmide, 1995.

RUIZ, J. A. **Metodologia Científica: guia para eficiência nos estudos**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 1996.

SALOMÃO, F, X. T. **Processos Erosivos Lineares em Bauru (SP): Regionalização Cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. Tese de Doutorado – FFLCH – USP, São Paulo 1994.

SALSA, C. M. P. Código de obras, um instrumento de gestão ambiental. **X Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**. Ouro Preto, 2002. ABGE, São Paulo.

SANCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo. 2006. Oficina de textos.

_____As etapas iniciais do processo de avaliação de impacto ambiental. São Paulo. **Secretaria do Meio Ambiente**. Avaliação de impacto ambiental. V. 1, São Paulo: SMA, 1998.

_____. Gerenciamento ambiental e a indústria de mineração. São Paulo. **Revista de Administração**, v. 29, n.1, p. 67-75, 1994.

_____. O processo de avaliação de impacto ambiental, seus papéis e funções. São Paulo 1995. In LIMA, A.L.B.R.; TEIXEIRA H.R.; SÁNCHEZ, L.E. (Org.). **A Efetividade da Avaliação de Impacto Ambiental no Estado de São Paulo**. São Paulo: SMA. 1995.

_____. Os papéis da avaliação de impacto ambiental. SANCHES, L.E. (Org.) **Avaliação de Impacto Ambiental: situação atual e perspectivas**. São Paulo: EPUSP, nov. 1991.

SANCHEZ, L. E.; SILVA, S. S.; PAULA, R. G. Gerenciamento ambiental e medição de conflitos um estudo de caso. São Paulo 1993. **II Congresso Ítalo-brasileiro de Engenharia de Minas**. São Paulo, EPUSP, p. 475-496.

SANEJOUAND, R. **La Cartographie Geotechnique em France**. Paris, Ministère de l'Equipement et du Logement, 1972.

SANTOS, A. R. **Fundamentos Filosóficos e Metodológicos da Geologia de Engenharia**. São Paulo, 1994. Comunicação técnica. IPT, publicação 2088.

SANTOS, A. R. **Geologia de Engenharia: conceitos, método e pratica**. São Paulo, ABGE, 2002. ISBN 85-09-00121-9. ABGE -IPT. p.127-129.

SARRA, P. R.; FREITAS, R.; BENTO, J. New road access to Funchal Port (Madeira Island - Portugal). Engineering geological studies and design options in a volcanic environment. **GEOLINE - Geology and Linear Structures**, Lyon France, 2005.

SCARANCA, M. R. A. P. **Diretrizes para a Realização de Investigações Geológicas e Geotécnicas Voltadas à Análise de Estabilidade de Encostas e Taludes**. Rio Claro, 2004. Monografia. IGCE - Unesp.

SCHOFIELD, The Use of Aerial Photographs in Road Construction in Road construction. **Nyasaland. Overseas Bulletin** (Road Research Laboratory), Harmondsvvorth, 1957a.

SCHOFIELD. A.N. **Nyasaland Laterites and their Indications on Aerial Photographs**. Overseas Bulletin (Road Research Laboratory), Harmondsworth, n. 5, 1957b.

SHANG, Y. J. Geological hazards classification and engineering geological zonation for the Linzhi-Basu Section Of Sichuan-Tibet Highway. **GEOLINE e Geology and Linear Structures**. Lyon France, 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.

SILVA, E. **Avaliação Qualitativa de Impactos Ambientais do Reflorestamento no Brasil**. 1994. Tese de Doutorado - UFV, Viçosa, 1994.

SILVA, V. C, R. **Planejamento do Sistema de Gestão Ambiental de Linhas de Transmissão Aérea Localizada em Área Serrana com Unidade Conservação**. São Paulo, 2002. Tese de Doutorado - Poli / USP.

SIJING, W. Geolines: New Challenge to the Engineering Development of China. **GEOLINE - Geology and Linear Structures**. Lyon France 2005, IAEG Abstracts. cd-rom.

SOUZA, N.C.D.C. **Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Aguai:** com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração. São Carlos: EESC/USP; 1992. 2.v. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1992.

SÁ, Margarida Maria de. **Contribuição à Implementação de um Sistema de Gestão Ambiental na Construção de Rodovias:** Uma Lista de Verificação para um Programa de Auditoria ambiental. Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1996.

SANCHEZ, Luiz Enrique. **Desengenharia:** o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2001.

SANTOS, Adalto de Oliveira; SILVA, Fernando Benedito da; SOUZA, Synval de. **Contabilidade Ambiental: Um Estudo sobre sua Aplicabilidade em Empresas Brasileiras. I Seminário USP de Contabilidade, 200?**

SILVA, José Afonso da. **Direito Ambiental Constitucional.** 2ª ed. São Paulo: Malheiros, 1988.

SINAY, Maria Cristina Fogliatti de. **Meio Ambiente e Projetos de Transportes no Brasil.** Relatório, 1996. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro.

SIRVINSKAS, Luis Paulo. **Manual de Direito Ambiental.** São Paulo: Saraiva, 2002.

SOARES, Guildo Fernando Silva. **Direito Internacional do Meio Ambiente:** emergência, obrigações e responsabilidades. São Paulo: Atlas, 2001.

TAKASHINA, Newton Tadachi; FLORES, Mario César Xavier. **Indicadores da Qualidade e do Alto Desempenho:** como estabelecer metas e medir resultados. Rio de Janeiro: Qualimark, 1996.

TEIXEIRA, Débora de Mello Martins. **Contribuição para Avaliação de Impactos Ambientais de Projetos de Rodovias.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes - Instituto Militar de Engenharia, 1998.

TIBOR, Tom; FELDMAN, Ira. **ISO 14000 - Um guia para as novas normas de gestão ambiental.** São Paulo: Futura, 1996.

TRIGUEIRO, André (Coord.). **Meio Ambiente no Século 21:** 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento. Rio de Janeiro: Sextante, 2003.

TWB - **The World Bank. Roads and the Environment:** a handbook, 1994.

U.S.EPA. (EPA). **Conceptual Framework to Support Development and use of Environmental Information in Decision-making.** Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 1995.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade Ambiental: ISO 14000.** 4ª ed. Rev. e amp. São Paulo: Editora SENAC, 2002.

VERDUM, Roberto; MEDEIROS, Rosa Maria Vieira. **RIMA - Relatório de Impacto Ambiental** - Legislação Elaboração e Resultados. Rio Grande do Sul: Universidade, 1995.

VITERBO JUNIOR, Enio. **Sistema Integrado de Gestão Ambiental** - como Implementar um Sistema de Gestão que Atenda a Norma ISO 14000, a partir de um sistema baseado na norma ISO 9000, dentro de um ambiente de GOT. São Paulo: Aquariana, 1998.

XVI AMPET. SETTI, José Reinaldo A.; SANTOS, Enilson M. (Org.). **Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes 2002**. 2ª ed. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes - AMPET. 2002.