

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FRANCISCO FELIPE DE FREITAS ALVES

ASPECTOS DA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO
DE AREIA EM LEITO DE RIO

CURITIBA

2022

FRANCISCO FELIPE DE FREITAS ALVES

ASPECTOS DA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO
DE AREIA EM LEITO DE RIO

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso Pós Graduação MBA em Gestão Ambiental, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro C. Ângelo

Co-orientadora: Prof. Dra. Karen Koch F. Souza

CURITIBA

2022

RESUMO

A crescente demanda por areia como insumo na indústria da construção civil faz crescer a quantidade de empreendimentos minerários. Essa atividade causa impactos adversos a longo prazo nos sistemas fluviais de ordem ambiental, social e econômica. O presente estudo propõe abordar as principais questões relativas à recuperação de áreas degradadas pela mineração em leito de rio. Optou-se por dar ênfase na discussão acerca dos dispositivos legais que regem a temática, tais como caracterização dos sistemas fluviais, descrição dos métodos de extração de areia em leito de rio e das medidas de recuperação. A metodologia utilizada consistiu em levantamento bibliográfico sobre a recuperação de áreas degradadas por essa atividade. Verifica-se que as normas NBR 13.030/1999 e a ICMBIO 11/2014 são os principais dispositivos que norteiam, apresentando conceitos-chave como recuperação, restauração e reabilitação. O principal ambiente geológico onde comumente ocorre lavra de areia são os leitos dos rios. A superexploração dos sedimentos do ambiente fluvial afeta a estabilidade de suas estruturas, degradando o ecossistema local. Dessa forma, constata-se que a principal medida de recuperação implementada nos casos analisados e sugeridos pelos autores de referência é a regeneração natural do leito dos rios. Tal fato traduz-se através de ações como a não intervenção, intervenção limitada à taxa de reposição sedimentar e/ou obras como alargamento de canal. Sugere-se a futuros trabalhos, a formulação de medidas robustas que vão além da promoção da regeneração natural, levando-se em consideração a particularidade dos sistemas fluviais e atuação localizada em cada impacto adverso identificado.

Palavras-chave: lavra; sedimento; canal; regeneração.

ABSTRACT

The growing demand for sand as an input in the civil construction industry increases the number of mining enterprises dedicated to sand mining. This activity causes long-term adverse impacts on river systems, especially environmental, social and economic impacts. The present study proposes to address the main issues related to the recovery of degraded areas by riverbed mining. It was decided to emphasize the discussion about the legal provisions that govern the recovery of degraded areas, characterization of river systems, description of methods for extracting sand from the riverbed and recovery measures. The methodology adopted consisted of a bibliographic survey on the theme of recovery of degraded areas. It appears that the NBR 13.030/1999 and ICMBIO 11/2014 standards are the main devices that guide this theme, presenting key concepts such as recovery, restoration and rehabilitation. The main geological environment where sand mining commonly occurs are the river beds. The overexploitation of sediments in the fluvial environment affects the stability of its structures, degrading the local ecosystem. Thus, it appears that the main recovery measure implemented in the cases analyzed and suggested by the reference authors is the natural regeneration of the river system. This fact translates into actions such as non-intervention, intervention limited to the sediment replacement rate and/or channel widening. Therefore, it is suggested that further studies be carried out to formulate robust measures that go beyond the promotion of natural regeneration, taking into account the particularity of river systems and localized action in each identified adverse impact.

Key words: mining; sediment; channel; regeneration.

1 INTRODUÇÃO

A manutenção do sistema produtivo contemporâneo é baseada na ampla utilização de recursos minerais como matéria-prima, tais como ferro, cobre, alumínio, areia, entre outros são utilizados em diversas indústrias como a civil, cerâmica, siderúrgica, farmacêutica, alimentar, tecnológica, entre muitas outras, a depender de sua especificidade (ATAÍDE, 2019).

Os bens minerais compõem boa parte dos objetos utilizados no cotidiano e a atividade mineral é um setor estratégico da economia. Desempenha grande importância, tanto para a economia local/regional, gerando empregos diretos e indiretos, como para a economia global.

A produção mineral brasileira cresceu 7% em 2021, evidenciando que, mesmo em cenário de crise mundial, há tendência de crescimento da produção mineral. Embora a essa produção seja crescente, muitas vezes não é proporcional à demanda. A expansão demográfica e o desenvolvimento econômico são fatores que exigem cada vez mais do setor da construção civil (GANDRA, 2022).

Tendo isso em vista, é crescente a demanda por agregados, tais como a areia e cascalho, que são extraídos de sistemas fluviais por empreendimentos dedicados a esse fim. Esses minérios são os principais insumos para fabricação de cimento e concreto, utilizados na construção de casas, prédios, entre outros tipos de edificações (KONDOLF, 2000).

A areia pode ser obtida facilmente de ambientes de contexto fluvial e, normalmente, a depender do grau de seleção, essa areia requer pouco ou nenhum tipo de processo de beneficiamento (PADMALAL; MAYA, 2016) podendo ser aplicada diretamente nos usos da construção civil.

Por outro lado, sabe-se que a exploração mineral causa, além dos impactos positivos à economia, impactos negativos ao ambiente em que a mesma ocorre. Logo, à medida que as reservas minerais são exploradas ao nível exaustão da mina, é necessária a intervenção por parte do empreendedor para minimizar/mitigar os danos ambientais causados.

Neste contexto, há uma controvérsia acerca da dualidade: crescimento econômico *versus* impacto ambiental, ou seja: como conciliar a exploração mineral com a preservação do meio ambiente? Mesmo que esses empreendimentos impactem a economia positivamente, a exploração minerária indiscriminada pode causar danos irreparáveis e irreversíveis num contexto ecológico e social (WALKER, 1994).

Os principais impactos ambientais decorrentes da super exploração da lavra de areia e outras intervenções antropogênicas em contextos fluviais incluem: alteração da carga sedimentar do rio, alterações na biodiversidade e seu *habitat*, danos a construções civis, redução do nível do lençol freático e danos sociais (PADMALAL; MAYA, 2016). Diante desses impactos, o desafio que surge envolve ações que remedeiem tais impactos adversos.

Nessa esteira, o objetivo deste trabalho é abordar e discutir os principais parâmetros adotados para elaboração de medidas mitigatórias e na recuperação de áreas degradadas pela mineração de areia em leito de rio. Para isso, serão abordados aspectos como diretrizes legais sobre recuperação de áreas degradadas, caracterização de sistemas fluviais, abordagem das principais técnicas de lavra e de recuperação utilizadas no mundo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 ASPECTOS LEGAIS

2.1.1 NBR 13.030

Trata das diretrizes e direcionamentos que os estudos ambientais relativos à elaboração e apresentação de projetos de reabilitação de áreas degradadas pela mineração devem seguir. Traz conceitos relevantes como adequação paisagística e topográfica, áreas degradadas, compensação, manejo autossustentável, medidas mitigadoras, minimização, reabilitação, recuperação e restauração (ABNT, 1999).

Os conceitos reabilitação, recuperação e restauração devem ser muito bem delineados quando na elaboração dos estudos de recuperação e aplicação dos mesmos. A reabilitação trata do possível retorno de uma área degradada a sua função produtiva ou dos processos naturais. A recuperação está relacionada com a adoção de procedimentos que propiciem o retorno da área degradada a um estado de reestabelecimento da função original do ecossistema. Já o conceito de restauração requer a reposição exata das condições ecológicas originais, de acordo com o planejamento estabelecido (ABNT, 1999).

Dentre os três conceitos acima definidos, a reabilitação é o que melhor se adequa à realidade dos empreendimentos de mineração. Isso se justifica, pois, seria demasiado oneroso e quase impossível restaurar a área às condições originais. A recuperação também não se aplica, pois, uma vez que o equilíbrio ecossistêmico é quebrado, as relações ecológicas podem não voltar à sua configuração original.

À luz da NBR 10.030/1999, a reabilitação da área degradada pela mineração é a alternativa mais viável. Mesmo que o reestabelecimento das condições ecológicas originais seja impossível, uma vez os esforços de reabilitação sejam implementados de fato, são criadas condições que propiciam a retomada os processos naturais que anteriormente existiam, fazendo que comunidades consigam reestabelecer-se.

2.1.2 Instrução Normativa ICMBIO Nº 11/2014

Rege a elaboração, análise, aprovação e acompanhamento de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Perturbada (PRAD), estabelecendo exigências mínimas que os estudos devem atender. Aborda alguns conceitos norteadores para elaboração de PRAD. Dos oito conceitos elencados, aqui serão explicitados três que o autor julga serem mais convenientes junto ao escopo deste trabalho.

Para esse dispositivo, recuperação é a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre a uma condição não degradada, que pode ser diferente da condição original. Já restauração é a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre a um estado mais próximo possível a sua condição original (BRASIL, 2014).

Há de se observar que tanto a NBR 13.030/1999 como a Instrução Normativa ICMBIO 11/2014 trazem o conceito de recuperação. No entanto, ambos os conceitos são diferentes e a principal divergência reside que, para a NBR 13.030/1999, a recuperação envolve o reestabelecimento da função original do ecossistema. Já para a Instrução Normativa ICMBIO 11/2014, recuperação envolve a restituição a uma condição não degradada, que pode ser diferente da condição original.

Em termos mais realísticos, tendo em vista a complexidade, as limitações tecnológicas e orçamentárias, a recuperação no contexto de lavra em sistemas fluviais aproxima-se mais ao conceito abordado na Instrução Normativa do ICMBIO. Isso se deve, pois, mesmo que seja impossível o reestabelecimento da função original, através de práticas de recuperação ou de extração planejada, pode-se chegar a um ponto em que não haja degradação, embora não seja o estado original.

O sucesso das atividades relacionadas à restauração/recuperação será medido por parâmetros e variáveis quantitativas como presença e diversidade de regeneração espontânea, aumento da cobertura do solo por espécies nativas e redução ou eliminação da cobertura de espécies exótica invasoras. Os parâmetros e as metas a serem atingidas devem estar explicitadas no PRAD (BRASIL, 2014).

Tendo em vista a ampla gama de ambientes que pode ser explorada com fins econômicos, a métrica de sucesso utilizada nesta Instrução contempla apenas

impactos adversos causados à vegetação. Aspectos específicos como geomecânica de taludes, estruturas de solo, determinação de carga hidráulica são frentes não abordadas com o nível de especificidade necessária, a fim de que os PRAD's contemplem outros tipos de degradação.

2.1.3 Resolução Nº 68 da Agência Nacional De Mineração (ANM)

Trata dos aspectos relacionados ao Plano de Fechamento de Mina (PFM), que envolvem os trabalhos de descomissionamento feitos após o encerramento da lavra, incluindo a desmobilização de estruturas de suporte à lavra e ao beneficiamento, estabilização física e química das estruturas permanentes, monitoramento e uso futuro da área.

Lavra é definida pelo Código de Mineração, Decreto-lei nº 227 de 1967, como conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração das substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas (BRASIL, 1967).

O aspecto da estabilização física é um elemento de suma importância, pois, após o encerramento das atividades e exaustão da mina de areia, a configuração morfológica/topográfica do leito do rio altera-se fortemente. As cavas deixadas no fundo do leito do rio devem ser objeto de estabilização.

A aptidão e uso futuro da área explorada também são elementos que devem ser trabalhados na recuperação da área degradada. Mesmo que a lavra de areia não volte a ocorrer novamente, é preciso tentar reestabelecer o equilíbrio físico do leito do rio, para tentar emular uma condição de não perturbação para que, assim, a comunidade ecológica local tenha condições de desenvolver-se novamente.

A estabilização física e química é outra ótica que deve ser empregada na análise de recuperação. A estabilidade física está relacionada com os aspectos morfológico e geomecânico da área pós minerada. A estabilidade química, por seu turno, relaciona-se com o aspecto termodinâmico e equilíbrio químico (BRASIL, 2021).

Tendo em vista que a lavra de areia nos ambientes fluviais causa profundas alterações de caráter físico e, por conseguinte, ecológico, a sua estabilidade física e

química é o objetivo primeiro a ser perseguido. Nesse sentido, as recuperações física e químicas são indissociáveis, pois as tratativas de recuperação proporcionam benefícios para o sistema fluvial como um todo.

2.2 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DE AMBIENTES FLUVIAIS

2.2.1 Erosão e Intemperismo

As areias presentes nos mais variados ambientes de acumulação sedimentar são provenientes de dois processos que operam em conjunto: intemperismo e erosão. O intemperismo compreende o conjunto dos processos mecânicos, químicos e biológicos que decompõem e desintegram as rochas. Já a erosão é um fenômeno natural de desgaste da superfície terrestre por processos físicos, químicos e biológicos, resultando em um contínuo modelamento da paisagem (GUERRA, 1993; SUGUIO, 2002).

O clima desempenha um papel crucial na dinâmica do intemperismo e erosão, pois influencia fatores como a pluviosidade e temperaturas médias anuais. Desse modo, a intensidade desses fenômenos está diretamente relacionada com fatores climáticos (TEIXEIRA *et al.*, 2009).

Para este presente trabalho, dar-se-á destaque aos processos erosivos que estão relacionados à sedimentação fluvial. Nesse tipo de erosão, ocorre um remodelamento do relevo através da dinâmica fluvial, que é fortemente controlada por aspectos climáticos e geológicos, como a litologia da rocha fonte dos sedimentos e sua estrutura.

2.2.2 Sistemas Fluviais

Christofolletti (1988) conceitua rio, em um âmbito geológico e geomorfológico, como qualquer fluxo canalizado, e, por vezes, é atribuído a canais destituídos de água. É um dos agentes mais importantes para o transporte de materiais intemperizados e sofre influência direta de sua bacia de drenagem.

Os rios podem ser classificados como intermitentes ou perenes. Os intermitentes dependem diretamente da água da chuva para fluírem, secando no período de estiagem (GUERRA, 1993). Nos perenes as águas fluem o ano todo, pois recebem o suprimento hidrológico da sua zona de saturação, que está situada abaixo do nível do lençol freático (SUGUIO, 2003; PADMALAL, 2016; MAYA, 2016).

Vale anotar que, durante os ciclos hidrológicos de um rio, há alternância de períodos de deposição, não deposição e até mesmo de erosão. A taxa com que os sedimentos são depositados também depende do ambiente, da competência do mesmo, assim como da área fonte (SUGUIO, 2003).

É importante evidenciar que os sistemas fluviais transportam sedimentos que são erodidos das porções mais à montante para à jusante, fazendo com que o canal tenha um equilíbrio dinâmico de erosão e deposição de sedimentos (KONDOLF, 1997).

Os rios podem ser divididos em três zonas: zona de produção, zona de transferência de sedimentos e a zona de deposição. A zona de produção é a porção íngreme e com alta taxa de erosão. A zona de transferência é caracterizada pelo transporte de sedimento, sem perdas ou ganhos, por fim, a zona de deposição é onde os sedimentos serão depositados sob condições favoráveis, formando uma zona de agradação Schumm (1977).

Quanto aos aspectos relativos ao tamanho dos sedimentos transportados, Blatt, Middleton e Murray (1972) ensinam que os sedimentos cujos diâmetros são maiores concentram-se mais à montante, onde o gradiente topográfico é maior. Os sedimentos menores, por seu turno, são gradativamente encontrados à jusante, devido à classificação feita pelo transporte e à gravidade.

A mineração de areia em leito de rio ocorre principalmente nas porções onde há sedimentos com características como tamanho adequado para o uso na construção civil. Outro aspecto igualmente significativo é o volume de sedimento a ser minerado, pois a viabilidade econômica também está associada à espessura da capa de areia lavrável no canal fluvial (PADMALAL, 2016; MAYA, 2016).

Adicionalmente, Padmalal e Maya (2016) apontam que, muito embora a vazão de um rio e a sua carga sedimentar variarem temporalmente e espacialmente,

o balanço sedimentar e estabilidade do canal ocorre em termos de longo prazo. A mineração de areia e cascalho, desmatamento e eventos naturais como precipitações extremas e incêndios naturais contribuem para a instabilidade do sistema fluvial (PADMALAL, 2016; MAYA, 2016).

O ecossistema fluvial é controlado por fatores como os padrões de variação de fluxo, estabilidade do substrato e a qualidade da água. A vegetação ribeirinha representa um papel de muita importância para manutenção da integridade do ecossistema fluvial, na medida em que é fonte de matéria orgânica, que, por sua vez, é a fonte de energia que mantém esse ecossistema. Esse ambiente abriga espécies de plantas que oferecem condições ecológicas importantes, como o provimento de sombra e abrigo a uma grande variedade de organismos vivos. (PADMALAL; MAYA, 2016).

A mata ciliar também exerce forte influência na estabilização das porções marginais do rio, pois fixa as margens e atua contra os processos erosivos. Durante épocas de cheia, essa mata também atua como um atenuante à energia do fluxo de água. Nesses episódios de cheia, a conexão lateral entre a planície de inundação e o rio fornece nutrientes ao ecossistema local (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989).

2.3 LAVRA DE AREIA

A extração de agregados para construção civil pode ocorrer em vários tipos de depósitos sedimentares. Os principais ambientes geológicos onde ocorre lavra desse material são: leitos de rios, planícies costeiras, terraços aluviais de fundo de vale, cobertura de morro com cobertura sedimentar antiga e cobertura de morro com manto de alteração de rochas quartzosas (LUZ; ALMEIDA, 2012).

Não obstante serem relativamente diversos os ambientes em que é possível a lavra de areia, cerca de 70% da extração ocorre em leito de rio. O percentual restante é restrito à mineração em cava seca e cavas imersas em planícies costeiras e fundos de vales aluviais (BUENO, 2010; QUARESMA 2009).

Conforme Smith e Collis (2001) lecionam, deve-se observar a natureza da operação de lavra, se será realizada a seco ou a úmido, a depender das condições

do sistema fluvial. Existem técnicas de extração que se aplicam apenas a jazidas de areias submersas, apenas à extração a seco ou a ambas.

2.3.1 Métodos de Extração

Em consulta à bibliografia especializada, foram selecionados os métodos mais usuais de extração de areia em leito de rio:

- **Dragagem:** é realizada em leitos de rio onde a areia encontra-se abaixo do nível freático. Nesse método, a extração é feita através da sucção do sedimento e bombeia-o na forma de polpa para fora do leito do rio. Quando necessário, inicia-se o beneficiamento através da classificação em peneira (CHAVES; WHITAKER, 2012);

FIGURA 1 - Dragagem em leito de rio.



Fonte: Revista Mineração e Sustentabilidade (2018).

- **Mineração em cava seca:** extração da areia que acontece em rios efêmeros, onde há uma escavação do leito em períodos onde não há fluxo de água. Utiliza maquinários como tratores e carregadeiras ou por meios manuais. Está associada a danos causados a estruturas construídas à jusante. (KONDOLF; SMELTZER; KIMBALL, 2002);
- **Escavação:** método rudimentar que promove o desmonte manual de jazidas em rios ou córregos. Utiliza-se pás ou escavadeiras em

colunas d'água pouco profundas. A extração normalmente se inicia à montante do pátio de areia, desenvolvendo-se à jusante, nas porções onde há assoreamento ao longo do recurso hídrico (BAUERMEISTER, 2006).

2.3.2 Impactos Adversos

Os impactos adversos que a lavra de areia em ambientes fluviais traz são diversos e variam de acordo com a magnitude da intervenção, sendo os mais recorrentes, a saber:

- a) quando a mineração de areia excede a taxa sedimentação, superando o reestabelecimento natural, acarreta em alterações na carga sedimentar e no padrão hidráulico do rio (BULL; SCOTT, 1974);
- b) rebaixamento do nível do lençol freático em regiões adjacentes a rios em que há incisão de canal devido à extração indiscriminada de areia, acarretando em impactos ambientais e sociais, principalmente em países em desenvolvimento (EVOR; HOLLAND, 1989).
- c) o aumento da turbidez ocasionada pela lavra cria condições adversas para a sobrevivência de peixes que necessitam de águas mais claras e dificulta o processo de fotossíntese da flora aquática (PADMALAL; MAYA, 2016).
- d) problemas de ordem ecológica, como a perda do habitat natural de alguns organismos, com a conseqüente alteração na biodiversidade (FAO, 1998);
- e) danos causados em estruturas de construção civil, como pontes, e problemas socioeconômicos a longo prazo (WALKER, 1994);
- f) risco de poluição das águas devido a possível vazamento de combustível e óleo das máquinas e veículos.

Faz-se necessário ressaltar, também, que a mineração pode ocorrer durante muitos anos sem apresentar impactos aparentes. No entanto, ainda que intervenção cesse, os impactos adversos ainda podem persistir por décadas em outras porções diferentes do local onde a lavra ocorreu.

2.4 ASPECTOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO EM LEITO DE RIO

2.4.1 Necessidade da Recuperação

Frente aos impactos adversos causados pela lavra de areia, é imperativo que o empreendedor repare os danos causados pela sua atividade. Contudo, os rios são ambientes de extrema complexidade e o seu gerenciamento e conservação não é tarefa fácil. As estratégias utilizadas devem variar de acordo com a particularidade do ambiente e do grau da degradação. É necessário que instrumentos normativos adequados disciplinem regras gerais voltadas ao gerenciamento dos impactos adversos da mineração em leito de rio.

Estudos como Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) geralmente são feitos para planejar e implementar medidas de recuperação. As metodologias empregadas para recuperação do leito de rio ainda são poucas se comparados a outros tipos de degradação. Porém, tentativas são feitas valendo-se de ferramentas para diagnosticar a área degradada e propor a formulação de medidas de recuperação, levando-se em consideração a particularidade de cada ambiente.

A avaliação de impacto ambiental é uma das principais ferramentas para averiguar os impactos positivos e negativos da mineração de areia. Nesse sentido, para a elaboração dos estudos, é preciso que haja uma visão holística e harmonia entre esses componentes supracitados.

Padmalal e Maya (2016) sugerem que, para a formulação de estratégias de gerenciamento de recursos fluviais, devem ser feitas visitas *in loco* periódicas, auditoria ambiental, estimar o suprimento anual de carga de fundo de porções à montante do rio e limitar sua extração a esse valor calculado, dentre outras medidas.

2.4.2 Considerações para Estratégias de Recuperação

A formulação de medidas de recuperação deve seguir diretrizes para nortear as ações que serão tomadas futuramente. Conquanto os impactos causados sejam muito danosos, a depender da magnitude e do tempo, esses efeitos adversos são reversíveis ou passíveis de recuperação.

Para proteger e restaurar a saúde e a estabilidade dos rios, é necessária a manutenção dos processos naturais que o criaram e o mantém. A combinação de métodos que minimizem a intervenção e limitem a extração a níveis menores que a taxa de reposição sedimentar são exemplos de alternativas de mitigação dos impactos adversos (PADMALAL; MAYA, 2016).

Diversos são os parâmetros que podem ser utilizados tanto para balizar o método de lavra mais sustentável (do ponto de vista ambiental), quanto para medir o sucesso das medidas de recuperação implementadas no pós-lavra. Cabe ao empreendedor estudar os aspectos ambientais para se chegar nas medidas de recuperação mais condizentes com o estado da mina.

2.4.3 Parâmetros Sedimentológicos e Geomorfológicos

O parâmetro da descarga sedimentar dos rios tem sido usado para determinar o estado de equilíbrio do canal, quantificar a vazão que propicia a manutenção do sistema, etc. O estado de equilíbrio está relacionado com a capacidade de transporte do suprimento de sedimentos vindos à montante do canal.

Quando o suprimento sedimentar do rio não está adequado, como nos casos provocados pela mineração, o transporte de material causa erosão, desfazendo o equilíbrio inicial (WOLMAN; MILLER, 1960; EMMETT, 1999). Quanto à geomorfologia, a contínua documentação da evolução do canal, pré e pós-intervenção, pode fornecer ferramentas de maior entendimento do rio (SEAR, 1994).

Outra frente que poderá ser analisada é a determinação de uma cota mínima para o talvegue, do qual a extração não poderá incidir abaixo desse determinado nível. A depender do ambiente, deve ser feita por especialistas periodicamente

através de levantamentos e estudos ao longo do perfil do rio. Desse modo, em períodos futuros, apenas o sedimento depositado acima desta cota mínima poderá ser extraído (PADMALAL; MAYA, 2016).

Segundo os autores citados no parágrafo anterior, deve-se lembrar que modelagens são simplificações de uma realidade complexa, e, basicamente, servem para obter parâmetros como curvas de classificação de sedimentos, rugosidade hidráulica, erosão das margens, etc.

2.4.4 Parâmetros Ecológicos

Quanto aos aspectos biológicos, a utilização de peixes para monitoramento da biodiversidade de um rio degradado pela mineração pode ser um bom bioindicador devido à diversidade de espécies que indicam diferentes condições ambientais. A fauna bentônica também serve como um excelente bioindicador para boas condições ecológicas e qualidade da água do rio (MOYLE; CECH, 1996).

2.4.5 Medidas Mitigadoras e de Recuperação

Verifica-se que a principal medida de recuperação adotada em empreendimentos minerários é a promoção da autorregeneração do pacote sedimentar do leito do rio. Cairns (1988) e NRC (1992) apontam que a restauração de rios pode ser alcançada através da diminuição da lavra de areia, a fim de que haja condições para que o sistema fluvial possa se recuperar.

Mesmo que a restauração de um sistema fluvial seja uma tarefa extremamente complexa, a simples não intervenção pode se revelar uma omissão perigosa. A utilização de ferramentas de gestão durante e pós lavra devem ser implementadas, para que as ações remediadoras tenham êxito.

O contínuo monitoramento é de suma importância para que se possa estimar a taxa de reposição dos sedimentos e limitar a extração a esse montante. Dessa forma, o controle do volume extraído proporciona estabilidade a longo prazo ao canal fluvial. Deve-se, também, realizar uma revisão anual dos impactos cumulativos causados ao longo do período de intervenção.

Habersack e Piégay (2007) ensinam que as primeiras tentativas de recuperação rios concentraram-se em medidas de pequena escala. Atualmente, os projetos bem sucedidos neste campo analisam uma série de frentes de análise, como alargamento do canal, reconexão do rio com antigos tributários, promoção de aporte sedimentar de fundo de rio com sedimentos provenientes de planícies de inundação, entre outras medidas. Sempre estimulando a autoformação do canal através da morfodinâmica fluvial

Deve-se atentar que, mesmo que órgãos ambientais determinem que a extração se limite ao aporte sedimentar anual, os cálculos relativos à reserva da substância mineral podem ser superestimados. Outro ponto a ser elucidado é que frequentemente os mineradores retiram mais do que fora estabelecido.

As medidas de alargamento de leito do rio apenas obtêm o status desejado quando há suprimento suficiente de sedimentos à montante. Com o alargamento, os processos erosivos cessam e a morfodinâmica estável do rio começa a operar. Esse tipo de restauração não deve ser aplicado a todo tipo de rio (HABERSACK; PIÉGAY, 2007).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade de mineração desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico de um país. No entanto, é sabido que essa atividade exerce impactos adversos no meio ambiente. Frente a problemática abordada, buscou-se na literatura especializada e na legislação brasileira aspectos relacionados à esta atividade e à recuperação de áreas degradadas.

Os sistemas fluviais, suas características e fatores de influência também foram objeto de estudo. Adicionalmente, foram descritas as principais operações de lavra em canais de rios, bem como medidas de mitigação e recuperação dos impactos adversos provenientes da lavra.

Dentre os instrumentos normativos consultados, mostrou-se imprescindível a utilização das normas NBR 13.030/1999 e Instrução Normativa ICMBIO 11/2014. Isso se justifica pois ambas trazem conceitos-chave como recuperação, reabilitação, restauração e resiliência. Esses deverão nortear as ações que serão feitas para recuperação do ambiente degradado. Foi observada também a ausência de parâmetros de avaliação de sucesso para recuperação de áreas degradadas em rios.

Verificou-se que as operações de lavra em leito de rio seco ou úmido causam diversos impactos na morfodinâmica fluvial, no ecossistema local e no âmbito social. Autores relatam que, para mitigar os efeitos adversos supracitados, necessita-se diminuir o volume de extração da substância mineral em análise.

Constatou-se que as principais tratativas para mitigação e recuperação seriam a limitação do volume de areia extraído ao aporte sedimentar, promoção da regeneração natural do ambiente fluvial, através do alargamento de canal e inserção de carga sedimentar.

Ainda que a recuperação das áreas degradadas por meio da condução da regeneração natural seja a medida mais indicada para recuperação de sistemas fluviais, a simples não tomada de ação pode revelar-se extremamente danosa a longo prazo.

Uma diretriz que poderá ser seguida pelo poder público seria exigir a preparação de um inventário dos recursos sedimentares. Já o particular empreendedor seria o responsável para execução disso, através de cálculos de reservas e da taxa anual de reposição dos sedimentos. Adicionalmente, indica-se uma abordagem mais específica e detalhada para as medidas de recuperação e mitigação dessa atividade em leito de rio.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13030**: Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ATAÍDE, Pedro. **Direito Minerário**. 2. ed. Salvador: Juspodivm, 2019. 288 p. Revisada e Atualizada.

BAUERMEISTER, K. H. **Relatório e plano de controle ambiental**. São Paulo, 2006.

BLATT, Harvey; MIDDLETON, Gerard; MURRAY, Raymond. **Origin of sedimentary rocks**. [S. L.]: Prentice-Hall, 1972. 634 p.

BRASIL. Congresso. Senado. Constituição. Constituição de 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 17 ago. 2022.

BRASIL. Congresso. Senado. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. . Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 17 ago. 2022.

BRASIL. Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. . Brasília, DF, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm#:~:text=Del0227&text=DECRETO%2DLEI%20N%C2%BA%20227%2C%20DE%2028%20DE%20FEVEREIRO%20DE%201967.&text=Art.,o%20consumo%20de%20produtos%20minerais. Acesso em: 07 dez. 2022.

BRASIL. Instrução Normativa ICMBIO nº 11, de 11 de dezembro de 2014. . Brasília, DF, Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao_normativa/2014/in_icmbio_11_2014_estabelece_procedimentos_prad.pdf. Acesso em: 18 ago. 2022.

BRASIL. Resolução ANM nº 68, de 30 de abril de 2021. . Brasília, DF, Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-anm-n-68-de-30-de-abril-de-2021-317640591>. Acesso em: 18 ago. 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. . Brasília, DF, Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Legislacao/Res_CONAMA_237_1997.pdf. Acesso em: 18 ago. 2022.

BUENO, Rafael Ivens da Silva. **Aproveitamento da Areia Gerada em Obra de Desassoreamento - Caso: Rio Paraibuna / SP**. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-18112010->

124317/publico/Dissertacao_Rafael_Ivens_da_Silva_Bueno.pdf. Acesso em: 02 set. 2022.

BULL, W. B.; SCOTT. **Impact of mining gravel from urban stream beds in the Southwestern United States**. J Geol. [S. L.], p. 171-174. out. 1974.

CHAVES, Arthur Pinto; WHITAKER, William. OPERAÇÕES DE BENEFICIAMENTO DE AREIA. In: LUZ, Adão Benvindo da. **Manual de Agregados para Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Cap. 11. p. 197-219.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1980.

EVOR; HOLLAND. **Surface and groundwater management in surface mined—land reclamation**. [S. L.]: Division Of Mines And Geology, 1989. 39 p. California Department of Conservation.

EMMETT, W. W.. Quantification of channel-maintenance flows for gravel-bed rivers. **Wildland Hydrology**. Herndon, p. 77-84. out. 1999.

FAO. United Nations Organization. **Rehabilitation of rivers for fish**. Oxford: Fishing News Books, 1998. 260 p.

GANDRA, Alana (ed.). **Produção do setor mineral cresce 7% em 2021 e faturamento aumenta 62%: o faturamento global do setor atingiu r\$ 339 bilhões**. 2022. Agência Brasil. Disponível em: <https://bityli.com/HOQdfQI>. Acesso em: 28 ago. 2022.

GUERRA, Antônio Teixeira. **Dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446 p.

HABERSACK, Helmut; PIÉGAY, Hervé. 27 River restoration in the Alps and their surroundings: past experience and future challenges. **Developments In Earth Surface Processes**, [S. L.], v. 11, n. 8, p. 703-735, nov. 2007.

JUNK, Wolfgang J.; BAYLEY, Peter B.; SPARKS, Richard E.. **The flood pulse concept in river-floodplain systems**. Ottawa: Canadian Department Of Fisheries And Oceans, 1989. 17 p.

KONDOLF, G. Mathias. Assessing Salmonid Spawning Gravel Quality. **Transactions Of The American Fisheries Society**. [S. L.], p. 262-281. maio 2000.

KONDOLF, G. Mathias. Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. **Springer**. [S. L.], p. 533-551. jul. 1997.

KONDOLF, G. Mathias; SMELTZER, Matt; KIMBALL, Lisa. **Freshwater Gravel Mining and Dredging Issues**. Berkeley: Washington Department Of Fish And Wildlife, 2002. 130 p.

LUZ, Adão Benvindo da; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. OPERAÇÕES DE LAVRA DE AREIA. In: LUZ, Adão Benvindo da. **Manual de Agregados para Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Cap. 10, p. 183-193.

MOYLE, P. B.; CECH, J. J.. **Fishes: an introduction to ichthyology**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 295 p.

PADMALAL, D.; MAYA, K.. **Sand Mining: environmental impacts and selected case studies**. Holanda: Springer, 2016. 177 p.

QUARESMA, Luiz Felipe. **Produto 22 – Agregados para a Construção Civil, Relatório Técnico 31-Perfil de areia para construção civil, MME/SGM**. [S. L.]: Ministério de Minas e Energia, 2009. 33 p.

SCHUMM, Stanley. **The Fluvial System**. Nova Iorque: Blackburn Press, 1977. 360 p.

SMITH, M. R.; COLLIS, L.. Extraction. In: SMITH, M. R.. **Agregates-Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes**. 3. ed. Londres: Geological Society, 2001. p. 73-105.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia Sedimentar**. [S. L.]: Blucher, 2003. 416 p.

TEIXEIRA, Wilson; TOLEDO, M. Cristina Motta de; FAIRCHILD, Thomas Rich; TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2007. 624 p.

WALKER, H. Jesse. Environmental Impact of River Dredging in Arctic Alaska (1981-89). **Arctic**. [S. L.], p. 176-183. jun. 1994.

KONDOLF, G. Mathias. Large scale extraction of alluvial deposits from rivers in California: geomorphic effects and regulatory strategies. **Water Resources Publications**, Colorado, v. 1, p. 455-470, 1998.

WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P.. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. **J Geol**. [S. L.], p. 54-74, 1960.

NRC, National Research Council. **Restoration of aquatic ecosystems: science, technology and public policy**. Washington Dc: National Academy Press, 1992. 62 p.

CAIRNS, J. J.. **Rehabilitating damaged ecosystems**. Boca Raton: Crc Press, 1988.

SEAR, D. A.. River restoration and geomorphology. **Aquat Conserv Mar Freshw Ecosystems**, [S. L.], v. 4, n. 2, p. 169-177, jun. 1994.