

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DE BACIA HIDROGRÁFICA
(WSI) NA SUB BACIA DO RIO MANDU, MINAS GERAIS

Priscilla Nicácio Barbosa

Prof. (a). Dr. (a). Vânia Silvia Rosolen

Rio Claro (SP)

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

PRISCILLA NICACIO BARBOSA

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DE BACIA
HIDROGRAFICA (WSI) NA SUB-BACIA DO RIO MANDU, MINAS
GERAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Rio Claro - SP

2017

551.48 Barbosa, Priscilla Nicacio
B238a Aplicação do índice de sustentabilidade de bacia
 hidrográfica (WSI) na sub-bacia do Rio Mandu, Minas Gerais
 / Priscilla Nicacio Barbosa. - Rio Claro, 2017
 62 f. : il., figs., tabs., quadros

 Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -
 Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
 Ciências Exatas
 Orientador: Vania Silvia Rosolen

 1. Hidrologia. 2. Indicadores de sustentabilidade. 3.
 Recursos hídricos. 4. Bacias hidrográficas. I. Título.

PRISCILLA NICÁCIO BARBOSA

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DE
BACIA HIDROGRÁFICA (WSI) NA SUB-BACIA DO RIO MANDU,
MINAS GERAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de
Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Ambiental.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen (orientadora)

Profa. Dra. Clauciana Schmidt Bueno de Moraes

Pesquisadora Claudia Vanessa dos Santos Corrêa

Rio Claro, 13 de Junho de 2017.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Não posso negligenciar esse espaço de agradecimentos, uma vez que a conclusão do presente trabalho esteve longe de ser apenas de mérito próprio. Muitas pessoas me ajudaram indiretamente e diretamente a concluir essa etapa importante da minha graduação.

Primeiramente, deixo aqui registrado o agradecimento principal, o agradecimento Àquele que tem sido o meu sustentador em todas as etapas da minha vida, Àquele que me deu propósito e razão de viver, Àquele que me ama com o amor supremo, o amor sacrificial, Àquele que morreu pelos meus pecados e pelos pecados do mundo, mas que ressuscitou e vive hoje e nos chama para viver no Amor dEle. Á Ele meu maior agradecimento, á Ele a minha vida e toda e qualquer produção acadêmica que eu veja produzir e tudo o que eu venha a fazer. Obrigada por me mostrar que o seu cuidado se estende as coisas mais triviais da minha vida, obrigada por se importar e por estar comigo nos vales e nos montes. Obrigada por nunca desistir de mim, obrigada por me encher da tua presença, do teu Amor todas as manhãs e obrigada por me fazer entender que nada que nada pode me separar do seu amor! Te amo, meu Deus, meu Pai, meu Sustentador, o amado da minha alma!

E seguindo Sua recomendação, “deem a cada um o que lhe é devido... se honra, honra! ” Rm 13.7. Gostaria de agradecer a minha família. Eu sou muito grata a Deus pela vida de cada um deles, do meu pai Izael, da minha mãe Elywone e do meu irmão Rodrigo. Eles são uma a parte mais doce da minha vida. Sem eles esse trabalho dificilmente teria sido concluído. Eles me deram todas as condições para concluir esse trabalho e para estar concluindo a graduação, me dando acima de tudo o amor! Obrigada família, eu amo profundamente cada um de vocês e sou grata por tudo o que vocês fizeram e fazem por mim. Que Deus uma sempre mais e mais e nos faça crescer em amor!

Também fica aqui o agradecimento a minha orientadora Vânia. Sou grata pela extrema paciência que ela teve comigo, pelos conselhos, pelos incentivos, pelas correções, pelos puxões de orelha tão importantes, por caminhar comigo nesse trabalho até o fim. Eu escolhi a Vania como orientadora por admirar muito o seu trabalho como professora e, acima disso, por admirá-la como ser humano. Vânia, acho você uma pessoa incrível e sou grata por poder ter aprendido muito com você não só conteúdos acadêmicos, mas aprendido a ser alguém que não desiste diante das

dificuldades. Obrigada por tudo o que você representa para o curso de Engenharia Ambiental levar os alunos a irem além!

A professora Clauciana também não poderia ficar de fora dos meus agradecimentos uma vez que tem sido mais que uma professora para mim, tem sido uma amiga. Obrigada por tudo Clau. Obrigada por sempre dar oportunidades para nós alunos, por sempre acreditar em nós e esperar o melhor de nós. Obrigada por não fazer a relação professor aluno ser algo frio e distante, mas algo leve e aberto. Obrigada por buscar o melhor para os alunos, e por muitas vezes acatar com prejuízos pessoais em prol dos alunos. Seus sacrifícios nesse sentido é algo muito lindo e inspirador!

Agradeço também aos meus queridos amigos RepKits (Cindy, Gabriel, Juliana, Lucas, Lucilla, Mariana, Rodrigo e Thais)! Não tem como não agradecer a cada um deles que esteve comigo nos altos e baixos da graduação, que me apoiaram em todas as minhas decisões, que me aconselharam, que me incentivaram... O que seria a graduação sem vocês? Vocês são um dos maiores presentes que Deus me deu na graduação. A amizade de vocês é simplesmente incrível, inesperada e tão forte!! Amo vocês, amigos! Vocês deixaram marcas eternas em mim. Obrigada!

Agradeço aos meus amigos da ABU, cada um deles de alguma forma colaboraram para eu estar aqui hoje! Obrigada por estarem comigo em todos os momentos, inclusive agora nesse momento de distância física. Obrigada por serem minha família na fé em Rio Claro. Amo vocês! Vocês me fizeram crescer com Deus e isso é o melhor presente que alguém pode receber. Obrigada amigos irmãos de alma e de fé!

Por fim, agradeço a todos os que eu não citei até agora, mas que me ajudaram de alguma forma (todos os queridos da 1º IPB Pouso Alegre) Aqueles que oraram por mim, aqueles que me ajudaram a encontrar os dados para esse trabalho, aqueles que se me animaram e me incentivaram, aqueles que acreditaram.... Obrigada a todos vocês! É através da vida de cada um de vocês que eu vejo o cuidado de Deus na minha vida!

RESUMO

Considerando que a preocupação com os recursos hídricos é crescente devido a fatores como aumento populacional e suas demandas por recursos naturais, mudanças climáticas, crescimento urbano e econômico e aumento da carga de poluentes e contaminantes gerados, a avaliação da qualidade dos corpos hídricos como ação de planejamento é essencial. Tal avaliação deve ser feita de forma integrada, abrangendo o contexto em que cada corpo hídrico está inserido. Por essa razão, as bacias hidrográficas têm sido utilizadas como unidade de estudo para este tipo de trabalho. O diagnóstico das bacias hidrográficas pode ser realizado através de diversos instrumentos e, no caso deste trabalho, utilizou-se o índice WSI (*Watershed Sustainability Index*) para analisar o nível de sustentabilidade da sub-bacia do Rio Mandu que abrange os municípios de Borda da Mata, Estiva, Ouro Fino e Pouso Alegre no Estado de Minas Gerais. Esse índice trabalha com quatro indicadores centrais: hidrologia, meio ambiente, vida e política, que são aplicados em três parâmetros: Pressão, Estado e Resposta. Nesse trabalho, os resultados apontam que a sub-bacia do Rio Mandu apresenta um índice intermediário de sustentabilidade, cuja menor pontuação se deu com relação à fragilidade do meio hidrológico e ambiental expressas na disponibilidade hídrica e no índice de pressão ambiental (EPI). Tal resultado aponta para um cenário de estresse hídrico futuro e comprometimento da biodiversidade na sub-bacia. O primeiro se deve ao cenário de aumento da demanda hídrica na sub-bacia a cada ano, já o segundo deve-se à redução de áreas com vegetação natural, comprometendo assim o habitat natural da fauna e flora.

Palavras-chaves: Bacia Hidrográfica. Indicador de Sustentabilidade. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Considering that the concern with water resources is growing due to factors as populational increase and their demands for natural resources, climate changes, urban and economic growth, polluted load increase and contaminants produced, the evaluation of the quality of water bodies as a planning action is essential. This evaluation must be done with an integrated way, encompassing the context in which each water body is inserted. For that reason, watersheds have been used as unit of study for this kind of work. The diagnoses of watersheds can be done through several instruments and, in this study, it was used the Watershed Sustainability Index (WSI) to analyses the level of sustainability in the sub watershed of Mandu's river which covers the city of Borda da Mata, Estiva, Ouro Fino and Pouso Alegre in the State of Minas Gerais. This index works with four main indicators: hydrology, environmental, life and policy; applied in three parameters: Pressure, State and Response. In this work, the results indicate that in the sub watershed of Mandu's river shows an intermediate index of sustainability, and it is less scoring in relation to the fragility of the hydrology and environment expressed in water availability and in environmental pressure index. This low score implies in a scenario of water stress in the future and of biodiversity commitment in the sub watershed. The reason for that is because each year, with the increase of the population, there is an increase of water's demand in the watershed, which reduce the water available. Besides that, about the environment indicator, the increase of farming areas and the reduction of areas with natural vegetation implies in the reduction of fauna and flora's natural habitat, which prejudice the biodiversity in the region.

Keywords: Watershed. Sustainability Indicator. Sustainability.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
BPMs	Boas Práticas de Manejo
BS	Barômetro da Sustentabilidade
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CDS-ONU	Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerias
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EPI	Environmental Pressure Index
GIRH	Gestão Integrada dos Recursos Hídricos
HELP	Hydrology-Envinronment-Life-Policy
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDRC	International Development Research Center
ISA	Índice de Sustentabilidade Ambiental
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ONU	Organização das Nações Unidas
PER	Pressão-Estado-Resposta
SNGHR	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
Wa	Disponibilidade Hídrica
WRM	Water Resources Management- Gestão dos Recursos Hídricos
WSI	Watershed Sustainability Index – Índice de Sustentabilidade da Bacia

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Zonas hidrogeodinâmicas e suas características.....	16
Quadro 2. Cinco pilares do eco desenvolvimento propostos por Sachs.....	19
Quadro 3. Indicadores de Sustentabilidade (IBGE)	24
Quadro 4. Indicadores e parâmetros do índice WSI.....	35
Quadro 5. Parâmetros de qualidade de água que apresentaram alteração no Rio Mandu (2010-2015)	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área correspondente as categorias de uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Mandu, MG.....	31
Tabela 2. Classificação da disponibilidade hídrica no metodo WSI.....	36
Tabela 3. Classificação da Disponibilidade Hídrica.....	36
Tabela 4. Parâmetro Pressão e Indicadores do Índice WSI.....	38
Tabela 5. Parâmetro Estado e indicadores do Índice WSI	38
Tabela 6. Parâmetro Resposta e indicadores do Índice WSI.....	39
Tabela 7. Variação da disponibilidade hídrica na sub-bacia do Rio Mandu, MG.....	41
Tabela 8. Consumo médio por economia e índice de perda na distribuição de água na sub-bacia do Rio Mandu (2015-2020)	42
Tabela 9. Taxas de consumo médio por economia e de perdas na distribuição de água.....	43
Tabela 10. Evolução do esgotamento sanitário na sub-bacia do Rio Mandu (2010-2015)	44
Tabela 11. Porcentagem de áreas de uso agropecuário e população total na sub-bacia do Rio Mandu, Minas Gerais (2013 e 2016)	45
Tabela 12. Evolução do PIB nos municípios de Pouso Alegre e Borda da Mata, MG	47
Tabela 13. Histórico do IDHM em Pouso Alegre e Borda da Mata, MG	47
Tabela 14. Evolução do IDH-Educação nos municípios de Pouso Alegre e Borda da Mata, MG	48
Tabela 15. Resultados dos indicadores do índice WSI aplicados a sub-bacia do Rio Mandu	50
Tabela 16. Vazões características da Estação Fluviométrica no Rio Mandu, MG.....	60
Tabela 17. Demanda de agua e disponibilidade hídrica no ponto 8 do Rio Mandu, MG.	61
Tabela 18. Violações de limites da DN Copam/CERH nº1/2008 ocorridas em Borda da Mata, MG (BG042): Rede Básica, no ano de 2010	61
Tabela 19. Violações de limites da DN Copam/CERH nº1/2008 ocorridas em Borda da Mata, MG (BG042): Rede Básica, no ano de 2015	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Expectativa de evolução da população, recursos naturais, produção industrial, poluição e expectativa de vida humana no tempo (1900-2100).....	13
Figura 2. Linha do tempo do conceito de sustentabilidade	18
Figura 3. Localização da Sub-bacia do Rio Mandu, Minas Gerais	28
Figura 4. Sub-bacia do Rio Sapucaí (GD5).....	29
Figura 5. Mapa temático de uso do solo na sub-bacia do Rio Mandu- MG	31
Figura 6. Mapa de uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Mandu, MG	32
Figura 7. Mapa de classes de declividade na sub-bacia do Rio Mandu, MG.	33
Figura 8. Mapa Geológico da sub-bacia do Rio Mandu, MG.	34
Figura 9. Vista da Ponte na Estrada do Pantano, Bairro Santa Laura, Pouso Alegre, Minas Gerais	46
Figura 10. Localização das estações de monitoramento do IGAM na sub-bacia do Rio Sapucaí, Minas Gerais	60

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
2.1 Bacia Hidrográfica	15
2.2 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade	18
2.3 Índices e Indicadores de Sustentabilidade	21
2.3.1 Conceitos	21
2.3.2 Breve histórico do processo de construção indicadores de sustentabilidade	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 Localização e caracterização da área da sub-bacia do Rio Mandu, MG	28
3.1.1 Uso e Ocupação do Solo	30
3.1.2 Relevo	32
3.1.3 Geologia	33
3.2 Índice WSI (Watershed Sustainability Index)	34
3.3 Aplicação do índice WSI na sub-bacia do Rio Mandu	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 Hidrologia (H)	41
4.1.1 Quantidade	41
4.1.1.1 Pressão	41
4.1.1.2 Estado	41
4.1.1.3 Resposta	42
4.1.2 Qualidade	43
4.1.2.1 Pressão	43
4.1.2.2 Estado	44
4.1.2.3 Resposta	44
4.2 Meio Ambiente (E)	44
4.2.1 Pressão	45
4.2.2 Estado	45
4.2.3 Resposta	46
4.3 Vida (L)	47
4.3.1 Pressão	47
4.3.2 Estado	47
4.3.3 Resposta	48
4.4 Política (P)	48
4.4.1 Pressão	48
4.4.2 Estado	49
4.4.3 Resposta	49
4.5 Resultados Finais	50
5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	55
APÊNDICE A – LEGISLAÇÕES NA SUB-BACIA DO RIO MANDU (2010- 2015)	59
ANEXO A – DADOS DE QUANTIDADE E QUALIDADE DO RIO MANDU, MG	60

1 INTRODUÇÃO

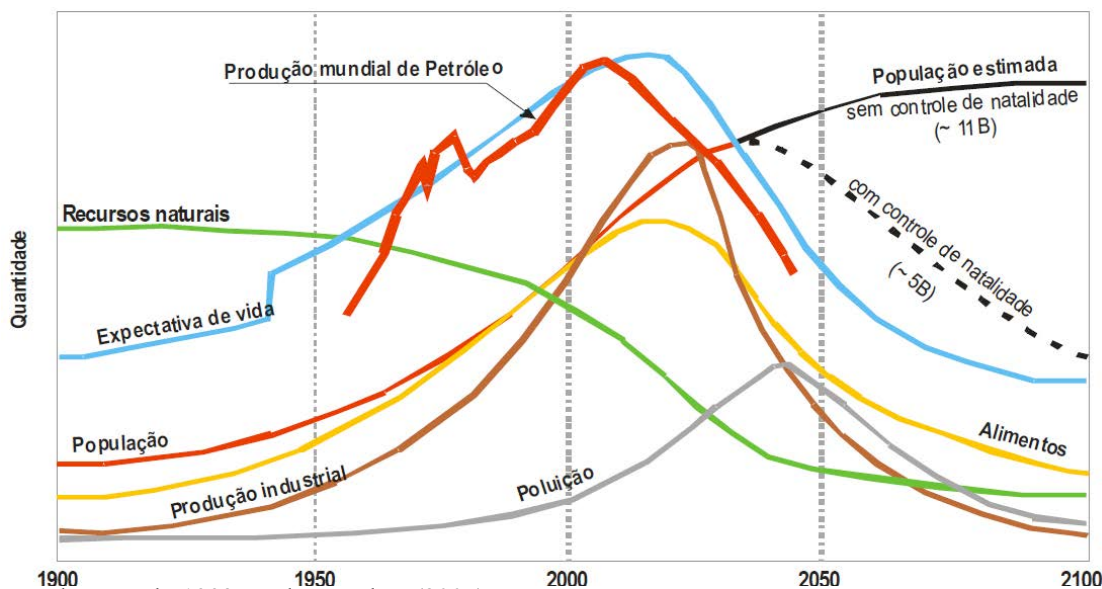
O homem tem uma forte dependência com os recursos hídricos para sua sobrevivência. Nossa própria composição corporal indica tal dependência, uma vez que somos por aproximadamente 60% de água, valor que pode variar com a faixa etária.

Entretanto, o recurso água não está presente de forma abundante e acessível a todas as pessoas. Primeiramente, a maior parte da água doce no planeta corresponde a uma ínfima parcela do total de água presente no mundo, estima-se que seja 2,5% (Portal Brasil, 2010). Essa pequena fração está distribuída de forma desigual no mundo, o que faz com que seu acesso seja mais abundante para algumas pessoas e menos para outras. Além da questão natural da quantidade e espacialidade, existem ações antrópicas como um fator de pressão sobre os recursos hídricos que comprometendo sua qualidade. Como exemplo dessas ações podemos citar o lançamento de esgoto não tratado, agrotóxicos, lançamento de resíduos e retirada da mata ciliar que leva ao assoreamento dos cursos d'água. Ademais, o consumo exacerbado dos recursos hídricos compromete mais ainda a quantidade disponível deste insumo tão importante.

A pressão humana sobre a água se agravou com o crescimento populacional mundial, seguido pela explosão urbana na maioria dos países. No Brasil, segundo Malheiros, Junior e Coutinho (2008), o modelo de desenvolvimento brasileiro que favoreceu o investimento em polos centrais e metropolitanos, em detrimento de áreas mais afastadas, acentuou a tendência de concentração da população nos grandes centros urbanos, conduzindo a um círculo vicioso de solução difícil. Os autores também explicam que esse adensamento desordenado das cidades, sem adequado planejamento criou um cenário complexo com necessidade urgente de informações adequadas para o desenvolvimento de políticas para a temática urbana.

A falta de planejamento nas cidades em formação trouxe prejuízos não só a qualidade de vida da população, e isso inclui diretamente as questões ambientais. Os recursos cada vez mais escassos e insuficientes por falta de gestão e planejamento adequados (figura 1).

Figura 1. Expectativa de evolução da população, recursos naturais, produção industrial, poluição e expectativa de vida humana no tempo (1900-2100)



Fonte: Meadows et al., 1992 apud Maranhão (2007).

A figura 1 apresenta o comportamento previsto de alguns indicadores, como: produção industrial, poluição, recursos naturais entre outros, com relação aos anos de 1900 a 2100. Segundo Maranhão (2007), a projeção traz um alerta para uma atitude mais responsável no planejamento e gestão dos recursos naturais.

No Brasil, legislações têm sido criadas buscando-se uma boa gestão das águas, como a Lei Federal 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Como parte integrante do SNGRH, os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) tem sido um importante órgão para a gestão de bacias e sua utilização de forma sustentável, contando com diversos representantes da sociedade, incluindo a sociedade.

Muitos são os instrumentos utilizados como auxiliares ao planejamento ambiental, inclusive ao planejamento e gestão de recursos hídricos. Como exemplo de instrumento, pode-se citar os indicadores ambientais.

A formulação de indicadores ao longo das últimas décadas vem se consolidando como uma importante ferramenta para planejamento e avaliação de políticas públicas, entre elas a política ambiental urbana. A correta utilização e leitura de indicadores possibilita o fortalecimento das decisões, facilitando, entre outras dinâmicas, a participação da sociedade. Com o crescimento da população urbana mundial e a consequente expansão das cidades, principalmente nos países em desenvolvimento, é fundamental a definição e monitoramento de indicadores de qualidade ambiental urbana nos municípios brasileiros. A avaliação desses indicadores permitirá, entre outras ações, a inserção de variáveis e parâmetros ambientais nos instrumentos de caráter

urbanístico, como planos diretores, planos setoriais, leis de parcelamento do solo e zoneamentos urbanos. (Ministério do Meio Ambiente, 2012)

Dentre os indicadores ambientais, existem os indicadores de sustentabilidade que são responsáveis por apresentar o panorama geral da sustentabilidade do meio. Esses indicadores levam em conta diversos aspectos do meio como economia, sociedade, políticas públicas, e não apenas o aspecto ambiental.

Nesse trabalho, a quantificação da sustentabilidade será realizada através do Índice de Sustentabilidade de Bacia Hidrográfica (Watershed Sustainability Index -WSI), que por meio de indicadores de hidrologia, meio ambiente, vida e política (Hydrology, Environment, Life, and Policy- HELP), aplicados nos parâmetros pressão, estado e resposta (PER), trarão uma visão global sobre a sustentabilidade na bacia hidrográfica da área de estudo.

A área de estudo corresponde a sub-bacia do Rio Mandu, MG que abrange parcialmente quatro municípios: Pouso Alegre, Borda da Mata, Estiva e Ouro Fino, localizado na região sul de Minas Gerais, e que possui uma área de aproximadamente 500 km². Está área é ocupada de forma diversa, mas sobressai-se a áreas de pastagem e de agricultura temporária, e está submetida a diferentes pressões ambientais e com diferentes intensidades.

O objetivo do trabalho é, portanto, apresentar um índice de sustentabilidade para a sub-bacia do Rio Mandu, que possa servir como instrumento de planejamento para a gestão para a sub-bacia. Além disso, busca-se também encontrar os indicadores mais fragilizados para apresentá-los como prioridade para ações de mitigação e prevenção.

Objetivos da pesquisa:

- Aplicar o Índice WSI (Watershed Sustainability Index) na sub-bacia do Rio Mandu, Minas Gerais, com a finalidade de identificar as fragilidades e potencialidades da bacia hidrográfica com relação aos indicadores de hidrologia, vida, meio ambiente e política.
- Identificar os indicadores, dentre: hidrologia, vida, meio ambiente e política, com menor pontuação e inferir suas causas.
- Identificar as potencialidades e fragilidades da metodologia do índice WSI através da sua aplicação na sub-bacia do Rio Mandu.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bacia Hidrográfica

O presente trabalho tem como área de estudo a sub-bacia do Rio Mandu, localizada em quatro municípios de Minas Gerais: Ouro Fino, Borda da Mata, Estiva e Pouso Alegre. Optou-se por avaliar a bacia hidrográfica uma vez que a Legislação Federal a apresentam como unidade territorial para o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos.

De acordo com a Lei Federal 9.433 (BRASIL, 1997), conhecida como Lei das Águas, a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A Lei Federal nº 13.199 (BRASIL, 1999), que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências, prevê a adoção da bacia hidrográfica, sistema integrado que engloba os meios físico, biótico e antrópico, como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento.

Na legislação supracitada, é apresentado o termo “sistema integrado”. O mesmo é de suma importância no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, pois permite que o ambiente seja analisado considerando-se o contexto que está inserido, suas características físicas/ ambientais, sociais e econômicas.

Portanto, a partir da concepção sistêmica, entende-se que a água deve ser gerida considerando suas estreitas inter-relações com os outros componentes do meio como, por exemplo, os solos, a vegetação, o relevo e as atividades humanas que alteram as condições de funcionamento dos sistemas naturais, produzindo mudanças que podem afetar diretamente a qualidade e quantidade de água disponível em uma bacia (CARVALHO, 2014).

Com base nos argumentos apresentados, e no seu caráter integrador, a bacia pode ser considerada uma excelente unidade de gestão dos elementos naturais e sociais. Nesta ótica é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respostas da natureza como erosão dos solos, movimentos de massa e enchentes, cujos processos devem ser acompanhados por monitoramentos que levem a compreensão de uma natureza integrada, conforme Guerra & Cunha (2012).

Na concepção de Tucci (2001), uma bacia hidrográfica é caracterizada como “[...] uma área de captação natural de água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída”. A bacia compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultarem em um leito único no exutório.

Do ponto de vista da rede hidrográfica, dependendo da hierarquização dos eixos de drenagem e da escala são definidos os tamanhos e classificações das bacias hidrográficas.

Escolheu-se trabalhar com a sub-bacia, pois uma área de estudo de menor escala permite um maior detalhamento e por sua vez um melhor diagnóstico da área, facilitando quaisquer programas de mitigação e monitoramento de impactos ambientais na região. Villaça (2009) já havia apresentado essa afirmação quando destacou que a subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem em seus componentes (sub-bacias hidrográficas), permite as transformações de condições difusas de problemas ambientais para condições pontuais, facilitando sua identificação, seu controle e o estabelecimento de prioridades para atenuação ou mitigação dos impactos ambientais.

A bacia hidrográfica também possui diferentes características ao longo de sua área e seu conhecimento permite a estipulação de limites de uso e ocupação e, portanto, melhores formas para estabelecer o uso e ocupação mais sustentável. De acordo com Souza e Fernandes (2000), a paisagem da bacia hidrográfica pode ser dividida em três zonas hidrogeodinâmicas: Zonas de recarga, Zona de erosão e Zonas de sedimentação-várzeas. No quadro 1, observa-se as características de cada uma dessas zonas, assim como suas formas de uso e ocupação.

Quadro 1. Zonas hidrogeodinâmicas e suas características

Zonas	Características	Uso e ocupação
Zona de Recarga	Solos profundos e permeáveis localizados em áreas de relevo suave. Fundamentais para o abastecimento do lençol freático. Podem ser constituídas por topos morros ou chapadas	Deve ser mantida a vegetação nativa, pois atividades agropecuárias podem interferir no processo de recarga. A Impermeabilização do solo pode ser causada pela compactação por máquinas agrícolas ou pisoteio pelo gado. A contaminação do lençol freático ocorre devido ao uso de agroquímicos de baixa retenção pelo solo.
Zona de Erosão	Constituída por vertentes em declives e comprimentos de rampas favoráveis a processos erosivos. Escoamento superficial tende a predominar sobre o processo de infiltração.	Podem ser cultivadas com lavouras anuais / perenes e pastagens (com implantação de sistemas de controle de erosão)

	Essas áreas são as principais contribuintes para o carreamento de sedimentos para os cursos d'água e reservatórios podendo causar assoreamento e aumento de turbidez nas águas superficiais	
Zona de Sedimentação - Várzeas	Segmento mais baixo da bacia hidrográfica, chamadas de planícies fluviais. Algumas planícies apresentam riscos de inundação Lençol freático próximo à superfície.	Aptidão para uso agropecuário, em especial agricultura familiar. Nas planícies com riscos de inundação é inviável a instalação de infraestruturas e residências assim como agropecuária no período das chuvas. É necessário cautela na implantação de fossas sanitárias e no uso de agroquímicos de elevada solubilidade Necessidade de permanência da mata ciliar, uma vez que esta contém sedimentos, previne erosão de margens, regulariza vazões e protege fauna aquática Obs.: é necessário associar a vegetação ciliar a outras práticas de manejo integrado da bacia hidrográfica

Fonte: Adaptado de Souza e Fernandes (2000).

As informações contidas no quadro 1 indicam que existem algumas limitações e potencialidade do uso do solo na região da bacia hidrográfica. Essas condições podem variar, sendo mais atenuadas ou acentuadas de acordo com as peculiaridades de cada bacia como relevo, clima, geologia local e uso e ocupação do solo.

A não observância do uso e ocupação apropriado para cada área da bacia pode implicar em prejuízos ambiental, social e econômico. Por exemplo a ausência mata ciliar na zona de sedimentação, que favorece a ocorrência de processos erosivos e de assoreamento dos cursos d'água, que comprometem a qualidade e quantidade do recurso hídrico. Dessa maneira, podem ocorrer prejuízo econômico para o tratamento da água, pois está irá exibir um nível mais elevado de concentração de sólidos. Outro prejuízo pode ocorrer na esfera social e industrial, uma vez que estes setores também utilizam os recursos hídricos para realizarem suas atividades. Logo, é possível perceber que um prejuízo ambiental implica em prejuízo para a sociedade e para a economia.

Com isso, a proposta para manejo integrado de recursos naturais em nível de bacias hidrográficas refere-se, em última instância, ao uso e ocupação da área, evidenciando as aptidões de cada segmento e sua distribuição espacial na respectiva bacia. Aborda-se, portanto de uma

proposta para desenvolvimento sustentado, que utiliza os recursos naturais para fins múltiplos e uma ocupação adequada do meio ambiente, evidenciando os limites ambientais, a preservação, correção e mitigação de prováveis impactos ambientais indesejáveis sob o ponto de vista econômico, social e ecológico (ARAUJO et al, 2009).

2.2 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade

A partir dos anos 70, surgem movimentos com forte preocupação ambiental. Muitos deles foram fundamentais para o surgimento de conceitos como desenvolvimento sustentável e sustentabilidade. A figura 2 apresenta o histórico dos principais eventos que colaboraram para a construção e difusão do conceito de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

Figura 2. Linha do tempo do conceito de sustentabilidade

1968	1972	1983
Clube de Roma	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, a primeira do gênero.	Criação da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
1987	1992	2002
Relatório Brundtland, na ONU, difundindo a expressão desenvolvimento sustentável.	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, Rio-92.	Rio+10 Protocolo de Kyoto

Fonte: Araujo et al. (2006).

O Clube de Roma foi em 1968 por um grupo de cientistas, economistas, políticos, chefes de Estado, etc., interessados em promover um crescimento econômico estável e sustentável da humanidade (REIS, 2010).

O documento “The limits to growth” (Limites do crescimento) elaborado pelo Clube de Roma, em 1972, também teve um papel importante para as discussões acerca do eco desenvolvimento. Esse documentou realizou uma simulação do cenário global até o ano de 2100 considerando-se a manutenção do ritmo de exploração de recursos. Portanto, abordou-se questões como controle demográfico, fortemente relacionado com a teoria Malthusiana, que afirma que a produção de alimentos cresce de forma linear enquanto a população de forma exponencial, o que levaria a uma crise de alimentos. Para evitar tal situação seria necessário manter um controle no crescimento populacional. Os autores do texto apresentado pelo Clube de Roma retomaram o

postulado de Malthus acrescentando novos elementos à discussão, que apresenta cinco grandes temas de preocupação global: 1) aceleração da industrialização; 2) aumento dos indicadores de desnutrição; 3) rápido crescimento populacional; 4) deploração dos recursos naturais não renováveis e 5) deterioração do meio ambiente isso sob a visão a longo prazo, preocupando-se com as futuras gerações, conforme apresentado por Oliveira (2002). Os autores tiveram suas ideias consideradas como radicais e utópicas, uma vez que previam a necessidade de crescimento zero nos setores econômico e populacional.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente em Estocolmo, 1972, foi um marco para uma conscientização ambiental que começou a surgir no mundo. A partir dela, surgem questionamentos sobre a visão compartimentada do planeta e sobre o antropocentrismo na economia, que coloca o homem como centro e a natureza como geradora de Riquezas. (FILHO, 1993). Também houve embates acerca do crescimento almejado pelos países subdesenvolvidos e entre o discurso protecionista dos países desenvolvidos.

De acordo com Reis (2010), surge em Junho de 1973 em uma reunião do Conselho Administrativo do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), em Genebra, o termo ECODESENVOLVIMENTO, criado por Maurice Strong e reestruturado por Ignacy Sachs. Este posteriormente definiu 5 princípios básicos para o eco desenvolvimento (quadro 2).

Quadro 2. Cinco pilares do eco desenvolvimento propostos por Sachs

Dimensão	Componentes Principais	Objetivo
Sustentabilidade Social	Criação de postos de trabalho que permitam renda individual adequada a melhor condição de vida e a melhor qualificação profissional. - Produção de bens dirigida prioritariamente às necessidades básicas sociais.	REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES SOCIAIS.
Sustentabilidade econômica	- Fluxo permanente de investimentos públicos e privados (estes últimos com especial destaque para o cooperativismo). - Manejo eficiente dos recursos. - Absorção pela empresa dos custos ambientais. - Endogeneização: contar com suas próprias forças.	AUMENTO DA PRODUÇÃO E DA RIQUEZA SOCIAL, SEM DEPENDÊNCIA EXTERNA
Sustentabilidade Ecológica	- Produzir respeitando os ciclos ecológicos dos ecossistemas. - Prudência no uso de recursos não renováveis.	QUALIDADE DO MEIO AMBIENTE E PRESERVAÇÃO DAS FONTES DE RECURSOS ENERGÉTICOS E NATURAIS PARA PRÓXIMAS GERAÇÕES

	- Prioridade à produção de biomassa e à industrialização de insumos naturais renováveis. - Redução da intensidade energética e conservação de energia. - Tecnologias e processos produtivos de baixo índice de resíduos.	
Sustentabilidade Espacial ou Geográfica	- Descentralização espacial (de atividade, de população). - Desconcentração – democratização local e regional do poder. - Relação cidade-campa equilibrada (benefícios centrípetos).	EVITAR EXCESSO DE AGLOMERAÇÕES
Sustentabilidade Cultural	- Soluções adaptadas a cada ecossistema. - Respeito à formação cultural comunitária.	EVITAR CONFLITO CULTURAIS COM POTENCIAL REGRESSIVO

Fonte: Filho (1993).

Já o termo desenvolvimento sustentável surgiu na Comissão Brundtland (1987) com o relatório intitulado “Nosso Futuro Comum”. Segundo Reis (2010), a partir desse documento, foi divulgado o termo desenvolvimento sustentável que foi definido como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.

Relatório Brundtlandt apresentou uma lista de ações, que deveriam ser acatadas pelos Estados e definiu metas em prol do desenvolvimento sustentável. Porém os resultados, que obtiveram no período foram aquém das expectativas e decorriam da complexidade de estabelecer e pactuar limites de emissões, proteção de biodiversidade, notadamente nos países mais desenvolvidos (JACOB, 1999).

Outro marco importante para a temática da sustentabilidade foi a conferência Rio 92 (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, sediada na cidade do Rio de Janeiro em 1992). “A conferência representou o primeiro passo de um longo processo de entendimento entre as nações sobre as medidas concretas visando reconciliar as atividades econômicas com a necessidade de proteger o planeta e assegurar um futuro sustentável para todos os povos” (JACOBI, 1999).

A partir das discussões que se desenvolveram ao longo dos anos acerca da sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, Jacobi (1999) traz uma definição bem ponderada sobre o conceito sustentabilidade.

A ideia de sustentabilidade implica na prevalência da premissa de que é preciso definir uma limitação nas possibilidades de crescimento e um conjunto de iniciativas que levem em conta a existência de interlocutores e participantes sociais relevantes e ativos através de práticas educativas e de um processo de diálogo informado, o que reforça um sentimento de coresponsabilização e de constituição de valores éticos. Isso também implica que uma política de desenvolvimento na direção de uma sociedade sustentável não pode ignorar nem as dimensões culturais nem as relações de poder existentes e muito menos o reconhecimento das limitações ecológicas, sob pena de apenas manter um padrão predatório de desenvolvimento (JACOBI, 1999).

No Brasil, o impacto das discussões mundiais sobre preocupações ambientais refletiu na própria Constituição Federal de 1988. O capítulo VI é exclusivamente dedicado ao meio ambiente e possui diretrizes importantes para a preservação ambiental e desenvolvimento sustentável, como pode-se observar no artigo 225 afirma que “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”. Além disso, legislações federais como a lei 6.938 de 1981, a Política Nacional de Meio Ambiente e o mais recente Código Florestal (lei 12.651/2012), também abordam a temática ambiental.

2.3 Índices e Indicadores de Sustentabilidade

2.3.1 Conceitos

Índices e indicadores são amplamente utilizados em diversas áreas do conhecimento, sendo uma ferramenta que facilita a compreensão de cenários, resultados e realidades. O conceito de indicador de forma geral é apresentado por Maranhão (2007) como sendo:

[...]uma ferramenta de avaliação referida a uma característica específica e observável, mensurável em escala quantitativa ou qualitativa, ou a uma mudança que pode ser avaliada em relação a um critério previamente selecionado, e que mostra a evolução de uma política ou de um ou mais programas implementados em relação a essa característica ou critério, ou o progresso relativamente ao atingimento de um resultado determinado, habilitando os tomadores de decisão a avaliar a necessidade/oportunidade de uma intervenção corretiva e/ou estimar o progresso rumo aos resultados, metas e produtos perseguidos ou, ainda, os impactos de uma determinada ação (MARANHÃO, 2007).

Os índices funcionam como sintetizadores de cenários complexos, fornecendo, portanto, um panorama geral. Segundo Maranhão (2007) os índices são uma estimativa grosseira da realidade e representam como um primeiro contato com esta, logo não pode ser entendido como uma medida precisa.

No caso dos índices e indicadores de sustentabilidade, o objetivo desses é apresentar um panorama ou mensurar parâmetros que traduzam a sustentabilidade de um determinado local, atividade, política ou tecnologia. Para isso, a visão integrada do meio torna-se essencial para a utilização desses indicadores, ou seja, são consideradas as esferas ambiental, social e econômica.

Dessa forma, o grande desafio dos indicadores é de traduzir um cenário complexo e amplo da forma adequada para realizar uma correta avaliação de sustentabilidade. Malheiros, Junior e Coutinho (2008), discutem essa questão da seguinte forma:

Essa mensuração da sustentabilidade está relacionada à utilização de ferramenta que capture a complexidade do desenvolvimento, sem reduzir a significância de cada um dos componentes do sistema, tendo, dessa forma, relação com a indução de modelos de desenvolvimento que favoreçam a inclusão de parte significativa da população como beneficiária das políticas de desenvolvimento ambiental e social. A ideia é incorporar como princípio o processo de melhoria contínua, com resultado crescente da saúde pública e ambiental (MALHEIROS, JUNIOR & COUTINHO, 2008).

De acordo com Siena (2008), existem 5 modelos mais influentes em relação às medidas de desenvolvimento sustentável:

- 1) Modelos baseados na economia (relações insumo/produto);
- 2) Modelo de estresse - resposta (ou pressão- estado- resposta; PER);
- 3) O modelo de temas ou de três componentes (esfera social, econômico e ambiental);
- 4) O modelo do capital múltiplo (artificial, natural, social e humano);
- 5) O modelo do bem-estar humano e do ecossistema.

As precauções necessárias ao se pensar em indicadores são inúmeras. Porém, destaca-se a importância de construir indicadores não partindo apenas de cenários teóricos, mas também a partir de problemas e situações reais. Meadows (1998) alertava sobre os perigos de se propor indicadores sem a devida reflexão sobre o que se quer efetivamente mensurar, armadilha que acaba por esconder aspectos críticos da realidade e impede que se utilize o potencial esperado do indicador.

Como exposto previamente, os indicadores possuem como característica o seu caráter sintético e sua concisão. Segundo Maranhão (2007), esse fato merece ser considerado ao utilizar-se indicadores, uma vez que representa um fator de risco na tradução da realidade quando não são tomadas as devidas considerações sobre a finalidade dos indicadores e o contexto de sua aplicação. O autor explora esse risco da seguinte forma:

Indicadores mal escolhidos podem distorcer a percepção da realidade, podem não apontar mudanças, podem induzir decisões erradas. Nesse sentido, a interpretação do significado dos valores que os indicadores assumem ou o que eles, em si mesmos, manifestam, é absolutamente vital, apesar de observar-se uma despreocupação generalizada quanto a esse aspecto por parte do grande público e de boa parcela do meio técnico. Há também uma certa dose de fantasia e

ingenuidade em torno do emprego de indicadores, mais exatamente do que podem oferecer e do seu potencial de explicação da realidade: imagina-se que um indicador pode conter em si a capacidade de explicar o porquê de um fenômeno por ele monitorado e, quando a explicação não é satisfatória, conclui-se pela necessidade de seu aperfeiçoamento ou substituição por outro melhor (MARANHÃO, 2007).

Os indicadores, apesar de serem excelentes ferramentas para planejamento e gestão ambiental, devido as suas limitações, não podem substituir uma averiguação detalhada e estudos mais aprofundados sobre o objeto de interesse, o qual pretende-se avaliar, como apresenta Maranhão (2007):

Os indicadores, especialmente os que abordam temas ambientais, procuram denotar o estado do meio a que se referem e as tensões nele instaladas, bem como a distância de que este se encontra de uma condição de desenvolvimento sustentável. No caso da gestão dos recursos hídricos, procura-se medir, com os indicadores, as condições dos recursos hídricos de uma determinada bacia ou unidade geopolítica e o estado da gestão dos mesmos, bem como as transformações experimentadas, tanto por esses recursos quanto pela sua gestão, assim como retratar as relações que eles guardam com o desenvolvimento sustentável. Mas um índice, apesar de tudo isso, jamais substituirá uma avaliação detalhada do campo ou setor que representa, como, por exemplo, a gestão das águas de uma determinada bacia hidrográfica.

2.3.2 *Breve histórico do processo de construção indicadores de sustentabilidade*

Durante a Rio-92 foram elaborados diversos documentos, dentre eles destaca-se a Agenda 21 Global, cuja elaboração contou com a participação e aprovação de 179 países. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente- MMA (2017), trata-se de um programa de ação baseado num documento de 40 capítulos, que constitui a mais abrangente tentativa já realizada de promover, em escala planetária, um novo padrão de desenvolvimento, denominado “desenvolvimento sustentável”.

O termo “Agenda 21” foi usado no sentido de intenções e desejo de mudança para esse novo modelo de desenvolvimento para o século XXI. A Agenda 21, ainda conforme o Ministério do Meio Ambiente (2017), pode ser definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica.

De acordo com Malheiros, Junior & Coutinho (2008), a Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (CDS- ONU) iniciou, em 1995, a partir da recomendação do capítulo 40 da Agenda 21 Global, um projeto para a construção de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, no prazo de 5 anos (1995-2000). O objetivo era construir indicadores de desenvolvimento sustentável como apoio ao processo de tomada de decisões no âmbito de países,

elucidando metodologias e fornecendo atividades de treinamento e capacitação para sua construção.

O projeto de construção de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável foi uma iniciativa pioneira para criação de indicadores de sustentabilidade e ocorreu em 3 etapas: A primeira consistia na ficha metodológica dos indicadores, com base na Agenda 21, dentro do modelo PER (pressão, estado e resposta), baseado no trabalho de Tony Friend e David Rapport, da Statistics Canada (1979-1989), que visava a organização de estatísticas ambientais. Através desse modelo reconhecia-se que o estresse causado pelas atividades humanas não era limitado apenas aos efeitos da poluição, mas incluía uma complexa série de formas físicas, químicas e biológicas. A segunda fase envolvia treinamentos e capacitações para o uso dos indicadores e suas adequações às prioridades nacionais e período de testes dos indicadores. Por fim, a terceira e última fase era responsável por avaliar os resultados dos testes e do conjunto dos indicadores.

Para a segunda etapa, diversos países elaboraram seus planos nacionais estratégicos de desenvolvimento sustentável e se esforçaram na construção de indicadores nacionais para a avaliação de avanços nesse processo. Porém alguns desses países, como o Brasil, relataram problemas em estabelecer correlação entre as suas estratégias nacionais e os indicadores, estes não integram, porque estes não integraram a criação dos indicadores com as estratégias de desenvolvimento. Como resultado desses procedimentos (terceira etapa), foi possível chegar a uma estrutura de quatro componentes (ambiental, social, econômico e institucional), com 57 indicadores, conhecido como livro azul (MALHEIROS, JUNIOR e COUTINHO, 2008).

Em 2002, o IBGE desenvolveu os indicadores de desenvolvimento sustentável do Brasil, contando com 50 indicadores, sendo que 30 foram obtidos do modelo de indicadores da ONU, 3 com adaptações, 9 com formulações alternativas, e 8 totalmente novos introduzidos para contemplar questões de particular interesse para o Brasil (MALHEIROS, JUNIOR, & COUTINHO, 2008). Esses índices foram aperfeiçoados ao longo dos anos, sendo publicadas novas versões nos anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e a versão mais atualizada foi lançada em 2015 que possui 63 indicadores (quadro 3).

Quadro 3. Indicadores de Sustentabilidade (IBGE)

Dimensões	Indicadores
Ambiental	Atmosfera
	1 Emissões de origem antrópica dos gases associados ao efeito estufa
	2 Consumo industrial de substâncias destruidoras da camada de ozônio
	3 Concentração de poluentes no ar em áreas urbanas
	Terra

	4 Uso de fertilizantes 5 Uso de agrotóxicos 6 Terras em uso agrossilvipastoril 7 Queimadas e incêndios florestais 8 Desflorestamento na Amazônia Legal 9 Desmatamento nos biomas extra-amazônicos Água doce 10 Qualidade de águas interiores Oceano Mares e Áreas Costeiras 11 Balneabilidade 12 População residente em áreas costeiras Biodiversidade 13 Espécies extintas e ameaçadas de extinção 14 Áreas protegidas 15 Espécies invasoras Saneamento 16 Acesso a abastecimento de água 17 Acesso a esgotamento sanitário 18 Acesso a serviço de coleta de lixo doméstico 19 Tratamento de esgoto
Social	População 20 Taxa de crescimento da população 21 Taxa de fecundidade total 22 Razão de dependência Trabalho e rendimento 23 Índice de Gini da distribuição do rendimento 24 Taxa de desocupação 25 Rendimento domiciliar per capita 26 Rendimento médio mensal 27 Mulheres em trabalhos formais Saúde 28 Esperança de vida ao nascer 29 Taxa de mortalidade infantil 30 Prevalência de desnutrição total 31 Imunização contra doenças infecciosas infantis 32 Oferta de serviços básicos de saúde 33 Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado 34 Taxa de incidência de AIDS Educação 35 Taxa de frequência escolar 36 Taxa de alfabetização 37 Taxa de escolaridade da população adulta Habitação 38 Adequação de moradia Segurança 39 Coeficiente de mortalidade por homicídios 40 Coeficiente de mortalidade por acidentes de transporte
Econômico	Quadro econômico 41 Produto Interno Bruto - PIB per capita 42 Taxa de investimento 43 Balança comercial 44 Grau de endividamento 45 Consumo de energia per capita 46 Intensidade energética 47 Participação de fontes renováveis na oferta de energia 48 Consumo mineral per capita 49 Vida útil das reservas de petróleo e gás

	50 Reciclagem 51 Rejeitos radioativos
Institucional	Quadro institucional 52 Ratificação de acordos globais 53 Legislação ambiental 54 Conselhos Municipais de Meio Ambiente 55 Comitês de Bacias Hidrográficas 56 Organizações da sociedade civil Capacidade Institucional 57 Gastos com Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) 58 Fundo Municipal de Meio Ambiente 59 Acesso aos serviços de telefonia 60 Acesso à Internet 61 Agenda 21 Local 62 Patrimônio cultural 63 Articulações interinstitucionais dos municípios

Fonte: IBGE (2015), elaborado pelo autor.

Atualmente, entre os índices existentes, aqueles mais voltados para a temática do desenvolvimento sustentável são, segundo Kronemberger et al. (2004), o Barômetro da Sustentabilidade, o Painel da Sustentabilidade, a Pegada Ecológica, o Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA).

O Barômetro da Sustentabilidade (BS) é uma metodologia de avaliação de sustentabilidade desenvolvido pelo pesquisador Prescott - Allen (2001a), com o aval da *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN) e do *International Development Research Center* (IDRC). A metodologia BS é flexível, uma vez que não existe número fixo de indicadores na sua composição e a escolha dos que serão utilizados é feito pelos analistas de acordo com a possibilidade de construção de escalas de desempenho, da área de estudo e da disponibilidade de informações.

O BS pode ser aplicado em escala local á global, permitindo comparações entre diferentes locais e ao longo de um horizonte temporal. O método permite avaliar a situação do local em relação ao desenvolvimento sustentável, permitindo comparar as condições socioeconômicas e do ambiente físico biótico. A maior dificuldade na utilização do método, entretanto, é a definição do conceito de sustentabilidade, estabelecendo Escalas de Desempenho, sobretudo na dimensão ambiental, porque é conhecido pouco sobre a dinâmica e o funcionamento dos ecossistemas, e porque o desenvolvimento envolve inúmeros fatores que interagem de forma complexa, por vezes, difíceis de decifrar.

Como exemplo de aplicação da metodologia BS, Kronemberger et al. (2008) apresenta em seu trabalho a aplicação do Barômetro da Sustentabilidade para a realidade Brasileira, relevando

uma situação intermediária do país em termos de sustentabilidade. Para a realização do estudo, os autores utilizaram os indicadores de sustentabilidade do IBGE, escolhendo os índices que eram possíveis as obtenções de dados e também os que eram possíveis estabelecer uma escala de desempenho, baseada na Escala de Desempenho Nacional (variando de sustentável para insustentável).

Alguns índices e indicadores são específicos para determinadas localidades. O Índice de Sustentabilidade de Bacia Hidrográfica (Watershed Sustainability Index - WSI) é um exemplo de índice de sustentabilidade específico, cuja aplicação é voltada para bacias hidrográficas. De acordo com Cortez (2012), o índice WSI foi desenvolvido para estimular a sustentabilidade de uma bacia de forma integrada com ênfase na gestão dos recursos hídricos.

Como exemplo de aplicação do método, pode-se citar o estudo realizado pela UNESCO, que aplicou o índice WSI na bacia do Rio Elqui - Chile, tendo como período de estudo os anos de 2001 á 2005. A bacia se localiza em uma região semiárida do Chile e tem sido incorporada a rede de bacias hidrográficas do programa HELP da UNESCO.

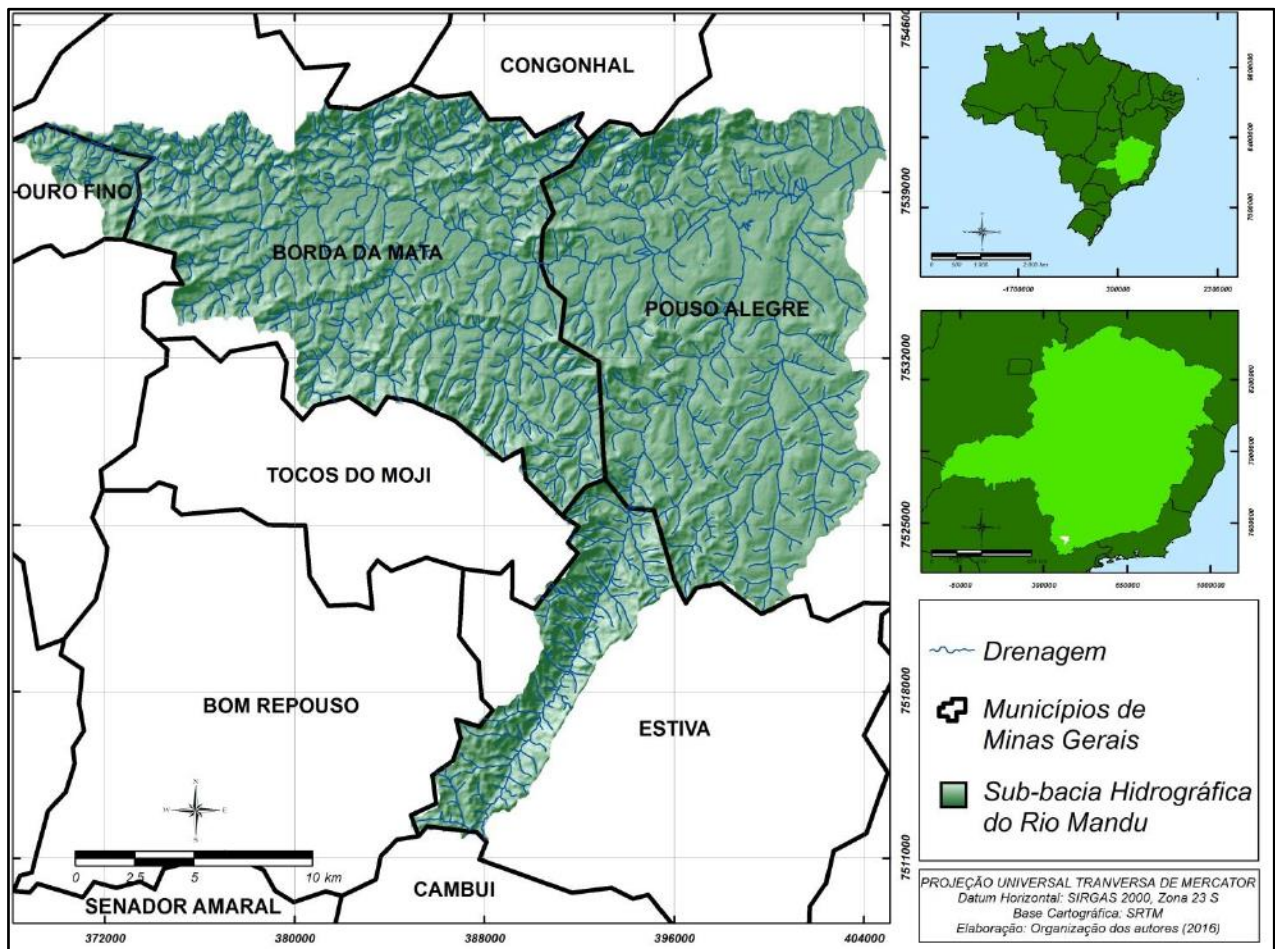
Segundo Cortez (2012), a aplicação do WSI na bacia Elqui demonstrou sua utilidade como instrumento analítico e também como uma ferramenta de gestão para autoridades relacionadas com a água, usuários e grupos de interesse. Como condição necessária para a melhoria na aplicação do método WSI, autor ressalta a necessidade de atualização de informações locais para o planejamento a médio e longo prazo e para a formulação de estratégias de desenvolvimento para bacias hidrográficas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área da sub-bacia do Rio Mandu, MG

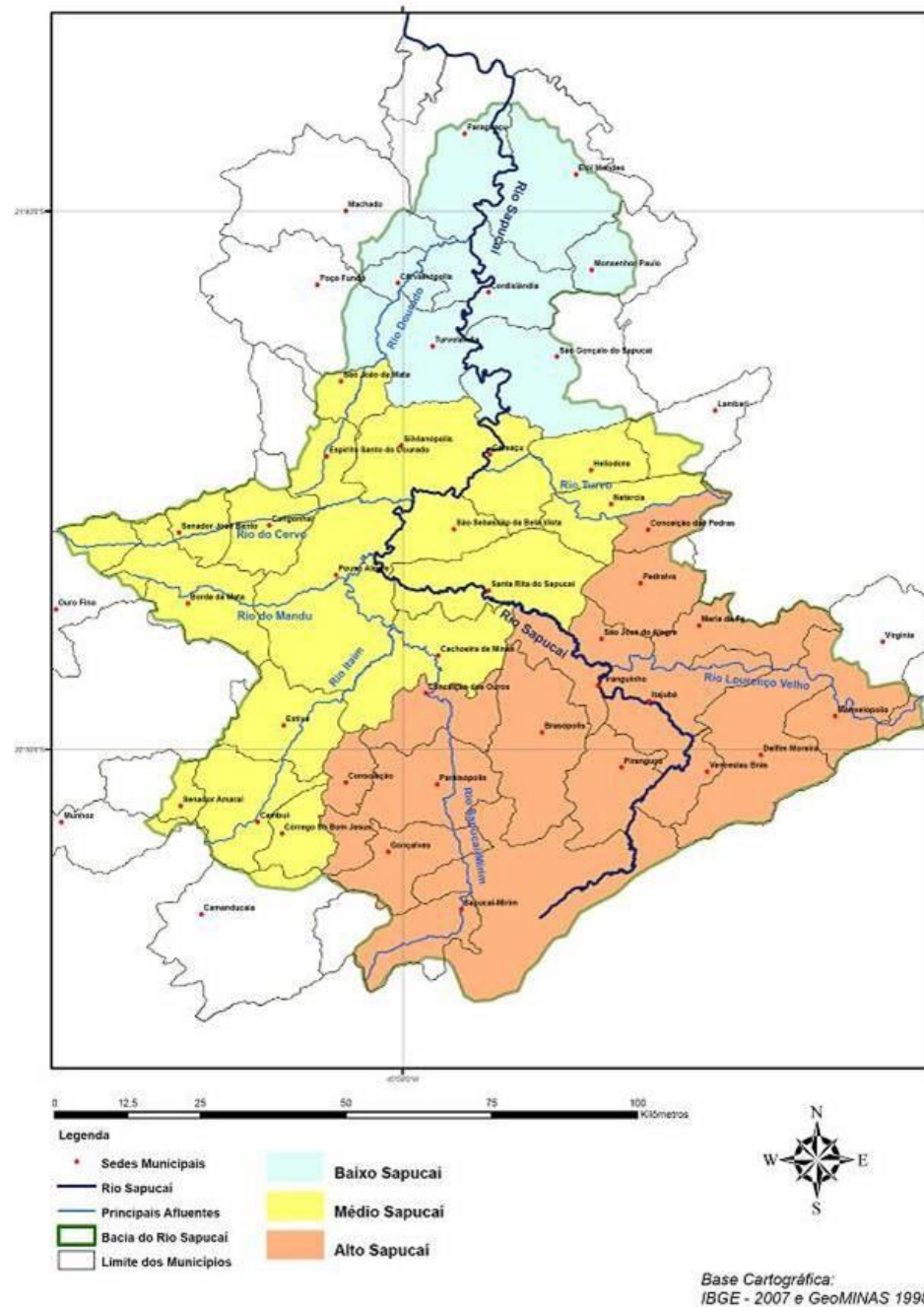
A Sub-bacia do Rio Mandu está localizada no Sul do Estado de Minas Gerais e abrange, em partes, os seguintes municípios: Ouro Fino, Borda da Mata, Pouso Alegre e Estiva. A sub-bacia do Rio Mandu está inserida na Sub-bacia do Sapucaí (GD5), que por sua vez compõe a Bacia do Rio Grande, conforme indicado nas figuras 3 e 4.

Figura 3. Localização da Sub-bacia do Rio Mandu, Minas Gerais



Fonte: Teixeira (2016).

Figura 4. Sub-bacia do Rio Sapucaí (GD5)



Fonte: CBH Rio Sapucaí (2017).

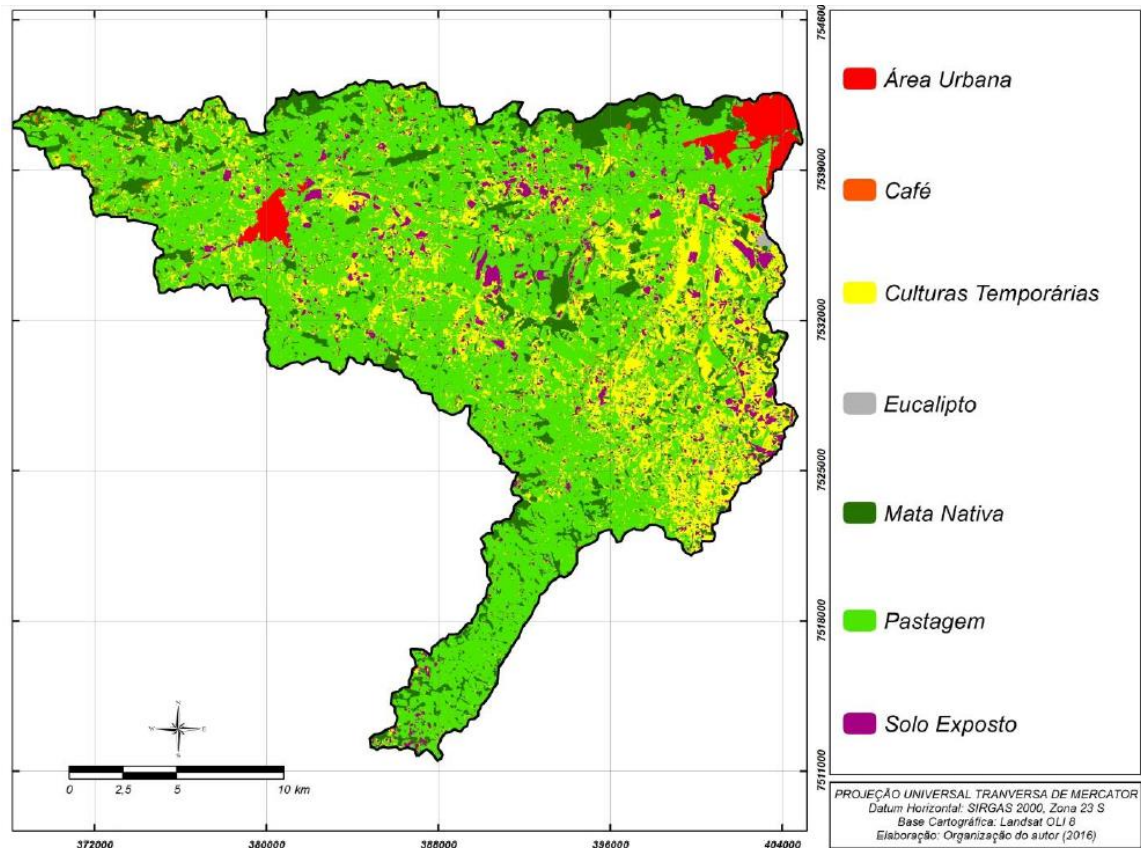
A área da bacia é de aproximadamente 500 km², sendo que sua maior parte é ocupada por pastagens e culturas temporárias.

O Rio Mandu abastece a população urbana de Pouso Alegre em aproximadamente 70% do volume total. Em 2016 a população estimada de Pouso Alegre foi de 145.535 habitantes. Já em Borda da Mata, cuja população estimada em 2016 foi de 18.873 habitantes, o atendimento de água, segundo estimativa da ANA (Agência Nacional de Águas) para 2015 correspondeu a 33 litros/segundos, sendo 100% deste valor por meio da captação no Ribeirão Mandu (ATLAS BRASIL, 2010).

Esses dois municípios foram destacados, pois compõem a área majoritária da sub-bacia do Rio Mandu. Em Ouro Fino, por exemplo, encontra-se o a nascente do Rio Mandu, porém a área da bacia presente nesse município corresponde a uma pequena porcentagem em relação à área total da bacia.

3.1.1 Uso e Ocupação do Solo

Teixeira (2016) divide a área da sub-bacia do rio Mandu em Comunidades Rurais, Sistemas Agrícolas Permanentes (café e eucalipto), Sistemas Agrícolas Temporários (culturas temporais solo exposto relacionado ao preparo da terra), Sistemas Pastoris (pastagens), Sistemas Urbanos (sede dos municípios de Pouso Alegre e Borda da Mata, parcialmente e integralmente, respectivamente), Depósitos tecnogênicos (Espólicos; Gárbicos, antigo lixão Pouso Alegre; e Úrbicos) e Sistemas Naturais (Formação Florestal). Na tabela 1, Teixeira (2016) apresenta a porcentagens de áreas correspondentes à tipologia do uso e ocupação do solo, na sub-bacia do Rio Mandu, MG.

Figura 5. Mapa temático de uso do solo na sub-bacia do Rio Mandu- MG

Fonte: Teixeira (2016).

Tabela 1. Área correspondente as categorias de uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Mandu, MG.

Sistemas Antopo-Naturais			Área	
			Km²	%
Sistemas Antrópicos	Comunidades Rurais		0,40	0,08
	Depósitos Tecnogênicos	Gárbicos	0,02	0,01
		Úrbicos	0,17	0,03
		Espólicos	2,10	0,42
	Sistemas Agrícolas Permanentes		5,00	1,00
	Sistemas Agrícolas Temporários		123,46	24,70
	Sistemas Pastoris		294,68	58,94
	Sistemas Urbanos		10,00	2,00
Sistemas Naturais	Sistemas de Formação Florestal		64,17	12,82
Total			500,00	100,00

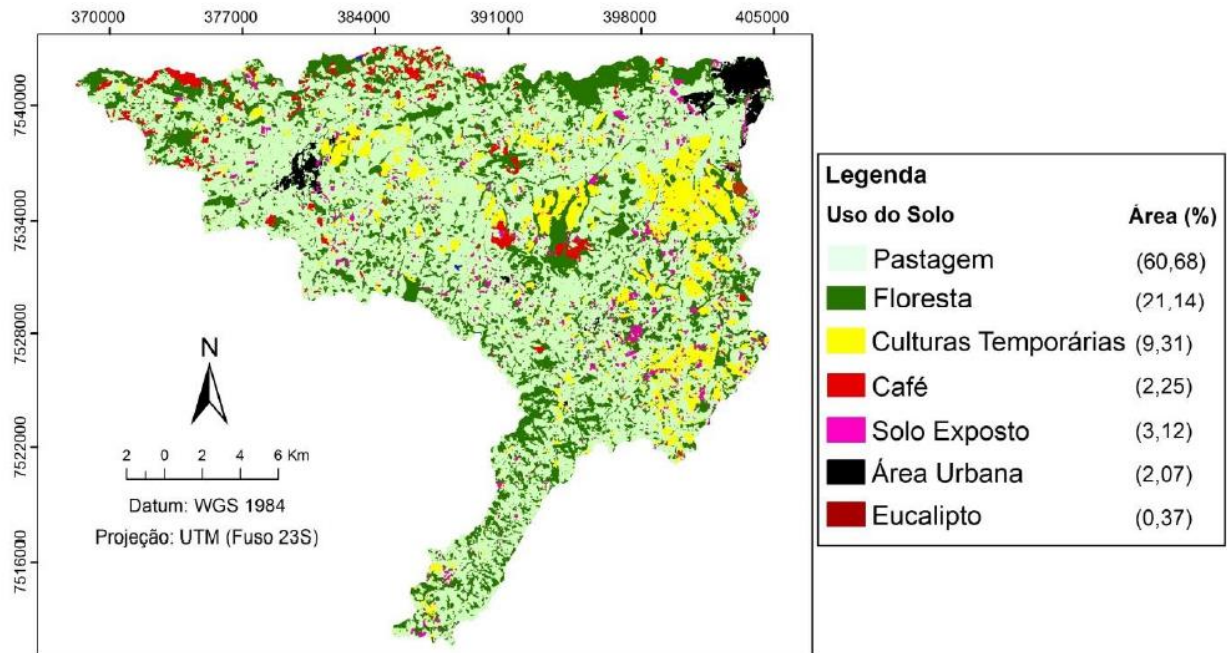
Fonte: Teixeira (2016).

Ainda sobre o uso e ocupação do solo, as culturas temporárias, em 2013 (ver figura 6), foram detalhadas da seguinte forma:

As culturas temporárias encontradas foram o morango, alho, milho, mandioca, batata e hortaliças. Os cultivos de morango estão concentrados em Pouso Alegre e Estiva, enquanto o do alho é mais praticado em Borda da Mata e Ouro Fino. Já os cultivos de

milho, mandioca e batata, estão próximos às planícies mais extensas em Borda da Mata e Pouso Alegre. As hortaliças são cultivadas de maneira desconcentrada, em todos os municípios. Os cafezais estão concentrados nas áreas com relevo mais íngreme, principalmente na parte norte e central de Borda da Mata. Já os povoamentos de eucalipto estão dispersos e a maior concentração fica ao sul da área urbana de Pouso Alegre (RIBEIRO, 2014).

Figura 6. Mapa de uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Mandu, MG

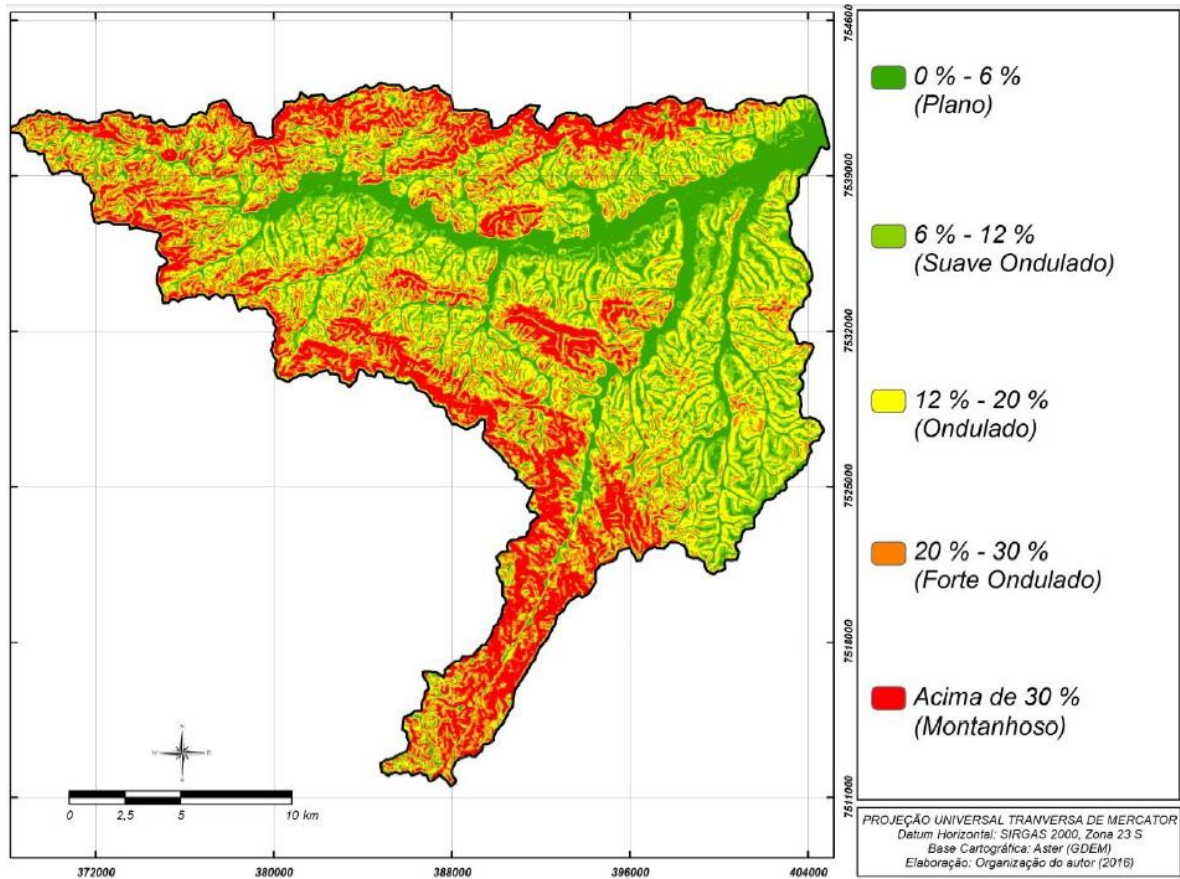


Fonte: Ribeiro (2014).

3.1.2 Relevo

Ainda segundo Teixeira (2016), o relevo Ondulado (declividade entre 12 e 20%) predomina na sub-bacia (28% da área), seguido pelo relevo Suave Ondulado (19,8%), relevo Forte Ondulado (18,6%), relevo Plano (17,2%) e por fim relevo Montanhoso (16,4%).

Figura 7. Mapa de classes de declividade na sub-bacia do Rio Mandu, MG.

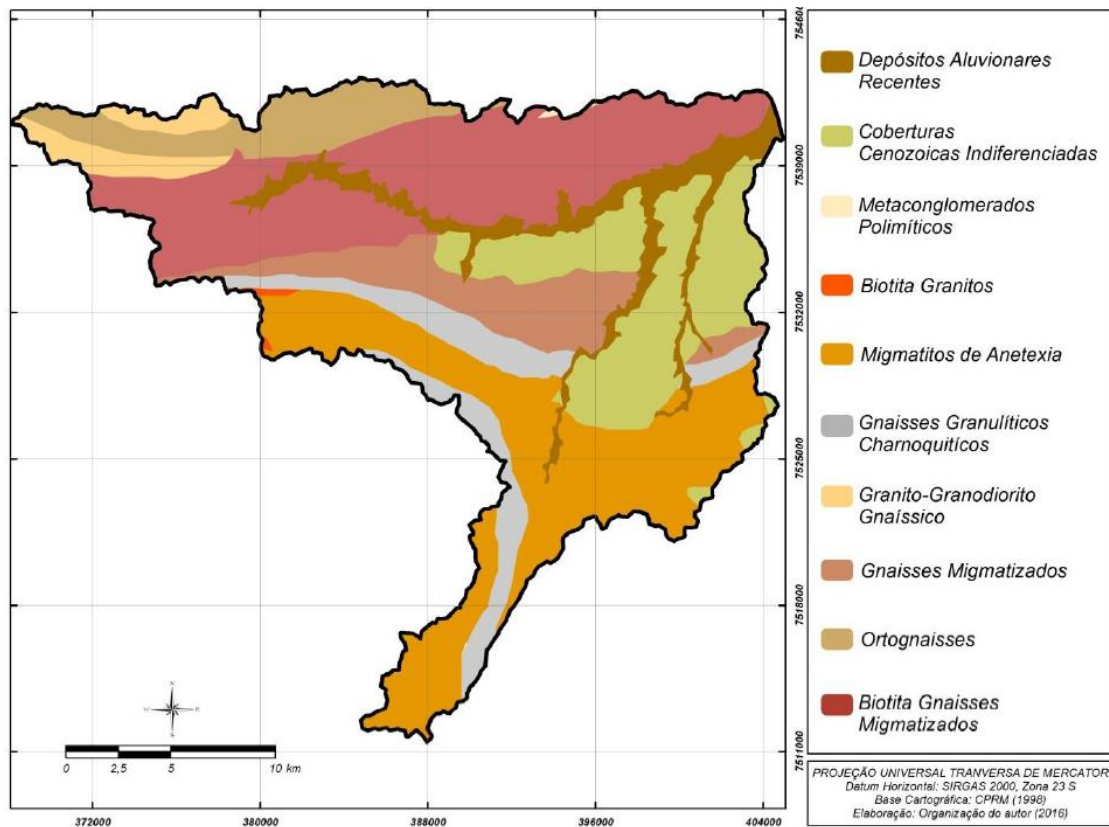


Fonte: Teixeira (2016).

3.1.3 Geologia

A geologia consiste em Depósitos Aluvionares Recentes, Coberturas Cenozoicas Indiferenciadas, Metaconglomerados Polimíticos, Biotita Granitos, Migmatitos de Anetexia, Gnaisses Granulíticos Charnoquíticos, Granito-Granodiorito Gnaíssico e Biotita Gnaisses Migmatizados (TEIXEIRA, 2016).

Figura 8. Mapa Geológico da sub-bacia do Rio Mandu, MG.



Fonte: Teixeira (2016).

3.2 Índice WSI (Watershed Sustainability Index)

De acordo com Catano et al. (2009), o Índice WSI, que em português seria Índice de Sustentabilidade da Bacia Hidrográfica, trata-se de um índice específico para bacias hidrográficas. Desenvolvido por meio da relação entre os indicadores HELP (hidrologia, meio ambiente, vida, política), desenvolvido pela UNESCO, com os parâmetros PER (pressão, estado, resposta). O autor descreve esses parâmetros como sendo: Pressão (P): atividades humanas exercidas na bacia; Estado (E): qualidade da bacia hidrográfica no ato do estudo assim como a qualidade a quantidade de recursos naturais; e Resposta (R): examina o nível do desejo da sociedade em visar problemas ambientais na bacia hidrográfica.

Segundo Catano et al. (2009), a estrutura Pressão-Estado-Resposta incorpora relações de causa-efeito e, portanto, providencia um entendimento mais compreensível da bacia hidrográfica que um índice que apenas examina o Estado, por exemplo. Conferindo pesos iguais para cada indicador, a forma linear mais simples do WSI está representada na equação 1.

Equação 1. Cálculo do Índice WSI

$$\text{W.S.I.} = \frac{\text{H} + \text{E} + \text{L} + \text{P}}{4}$$

Operando numa escala de 0 (muito ruim) a 1.00 (excelente), com o objetivo de facilitar a estimação de níveis de parâmetros pelos usuários, ambos os parâmetros quantitativos e qualitativos são divididos em 5 pontuações (0, 0.25, 0.50 e 1.00). Depois de atribuir uma pontuação para o parâmetro Pressão-Estado-Resposta de cada indicador (conforme as tabelas 4, 5 e 6), é feita a média da pontuação para obter um valor do indicador. Então, seguindo a mesmo método de media, é possível obter o valor total do WSI que representa a integração de Hidrologia, Meio Ambiente, Vida e Política do objeto no período estudado. O índice WSI usa os parâmetros mais básicos que estão geralmente disponíveis para todas as bacias, como o Índice de Desenvolvimento Humano, a Demanda Bioquímica de Oxigênio no período de 5 dias (DBO5), e o Índice de Pressão Ambiental, como é possível observar no quadro 5 (CATANO et al, 2009).

Quadro 4. Indicadores e parâmetros do índice WSI

Indicadores		Parâmetros		
		Pressão	Estado	Resposta
Hidrologia	Quantidade	Variação da disponibilidade hídrica per capita da bacia nos últimos 5 anos	Disponibilidade hídrica na bacia	Melhoras na eficiência do uso da água nos últimos 5 anos
	Qualidade	Variação da DBO5 na bacia nos últimos 5 anos	DBO5 na bacia no ano atual	Melhorias no tratamento/disposição de esgoto nos últimos 5 anos
Ambiente		EPI da bacia (Rural e Urbano)	% da área da bacia com cobertura vegetal natural	Evolução das áreas de conservação na bacia nos últimos 5 anos
Vida		Variação do PIB per capita na bacia nos últimos 5 anos	IDH da bacia (medido pela população)	Evolução do IDH os últimos 5 anos
Política		Variação do IDH educação na bacia nos últimos 5 anos	Capacidade institucional em termos de gestão de recursos hídricos (WRM) na bacia	Evolução dos gastos com gestão de recursos hídricos na bacia nos últimos 5 anos

Fonte: Adaptado de Chavez & Allipaz (2007) e Costa e Silva (2015).

Em termos de limitação no uso do índice, a recomendação é que seja aplicado em bacias hidrográficas pequenas, com área de no máximo 2.500 km².

Segundo Chavez & Alipaz (2007), no indicador Hidrológico, existem dois conjuntos de variáveis: um relativo à quantidade de água e o outro para qualidade da água. No caso na quantidade de água, o parâmetro é a disponibilidade hídrica per capita. Segundo os autores, uma vez que se compara a informação mais antiga de disponibilidade de água (5 anos) com a média a longo prazo,

o parâmetro hidrológico de pressão tem a vantagem de incorporar eventuais impactos de mudanças/variações climáticas. Utilizou-se 5 níveis de disponibilidade hídrica per capita (tabela 2), diferentemente do modelo original de Chavez & Alipaz (2007).

Tabela 2. Classificação da disponibilidade hídrica no metodo WSI

Disponibilidade Hídrica (Wa)	Situação
< 1700m ³ /hab./ano	Muito pobre
De 1700 a 3400 m ³ /hab./ano	Pobre
De 3400 a 5100 m ³ /hab./ano	Regular
De 5100 a 6800 m ³ /hab./ano	Boa
> 6800 m ³ /hab./ano	Excelente

Fonte: adaptado de Costa e Silva (2015), elaborado pelo autor.

A disponibilidade hídrica per capita de 1700 m³/hab./ano foi definida como mínima baseando-se em Falkenmark & Widstrand (1992 apud Chavez & Alipaz, 2007), que verificaram que o estresse hídrico ocorre quando a água disponível é reduzida para menos de 1700 m³/hab./ano. A Agência Nacional de Águas (2005), por sua vez, traz uma abordagem específica para categorizar a situação hídrica (tabela 3).

Tabela 3. Classificação da Disponibilidade Hídrica

Disponibilidade Hídrica	Situação
< 500m ³ /hab./ano	Escassez
500 a 1700 m ³ /hab./ano	Estresse
> 1700 m ³ /hab./ano	Confortável

Fonte: Adaptado de Ana (2005).

Para Chavez e Alipaz (2007) para mensuração da qualidade da água foi utilizado o indicador demanda bioquímica de oxigênio (DBO5 em mg/L), pois este está frequentemente disponível nas bacias hidrográficas. Além disso, cargas não pontuais, como poluição por nutrientes e pesticidas estão frequentemente associados a valores altos de DBO. Entretanto, em alguns casos, como no caso da sub-bacia do Rio Mandu, os dados sobre a DBO no período estudado não estiveram disponíveis durante a realização deste trabalho. Portanto outros indicadores podem ser utilizados para realização nessa análise comparativa, como foi realizado Cortés (2012), que optou por substituir o parâmetro DBO pela condutividade Elétrica EC para a aplicação do índice WSI na bacia do rio Elqui, Chile.

O parâmetro Pressão para o indicador Meio Ambiente é o EPI (*Environment Pressure Index*, ou Índice de Pressão Ambiental), conforme equação 2, estimado pela média da variação (em

porcentagem) na área agrícola e na população urbana na bacia no período de 5 anos, podendo ser positivo, negativo ou zero. Valores positivos indicam maiores pressões sobre a vegetação natural remanescente na bacia, enquanto valores negativos indicam uma redução na pressão. EPI zero aponta para uma situação de estabilidade da pressão ambiental no período. O parâmetro Estado, para este indicador, corresponde a área de vegetação natural remanescente, que por sua vez, está altamente correlacionado com biodiversidade de fauna e flora, sendo um indicador geral da integridade ambiental da bacia hidrográfica, segundo Chavez & Alipaz (2007).

Equação 2. Cálculo do Índice de Pressão Ambiental (EPI)

$$\text{EPI} = \frac{\% \text{Variação de áreas agrícolas} + \% \text{Variação da população urbana}}{2}$$

O parâmetro Vida do WSI corresponde ao Índice de Desenvolvimento Humano – IDH na bacia hidrográfica por meio de: sua variação nos últimos 5 anos (Pressão); do seu valor no ano do estudo (Estado); e sua evolução no período de 5 anos (Resposta). Em alguns estudos, o IDH é substituído pelo PIB per capita.

Por fim, para Alipaz & Chavez (2007), no caso do parâmetro política, a Pressão é dada pela variação do indicador IDH-Educação na bacia no período estudado de 5 anos, uma vez que o indicador mede o nível educacional da população, valores positivos de IDH- educação indicaria que a população da bacia se tornou mais participativa em Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH), o que pressiona os tomadores de decisão. O Estado do indicador política reflete o a presente capacidade institucional na bacia em GIRH, dado pelo nível de estrutura legal e institucional adequada, assim como gestão participativa. Este é um dos poucos parâmetros qualitativos do índice, variado de muito pobre á excelente. E por fim o parâmetro resposta do parâmetro é estimada pela evolução das despesas com GIRH na bacia no período dos 5 anos estudados. Isso reflete a pressão aplicada pelas partes interessadas na bacia para os tomadores de decisão. Quanto maior o gasto com GIRH, maiores as chances de atingir-se os objetivos propostos para a bacia com relação a água.

Tabela 4. Parâmetro Pressão e Indicadores do Índice WSI

PRESSÃO			
Indicador	Parâmetro	Nível	Pontuação
Hidrologia	$\Delta 1$ -variação de disponibilidade de água per capita no período (m³/hab./ano)	$\Delta 1 < -20\%$	0,00
		$-20\% < \Delta 1 < -10\%$	0,25
		$-10\% < \Delta 1 < 0\%$	0,50
		$0 < \Delta 1 < +10\%$	0,75
		$\Delta 1 > +10\%$	1,00
	$\Delta 2$ - variação de DBO5 da bacia no período (média)	$\Delta 2 > 20\%$	0,00
		$20\% > \Delta 2 > 10\%$	0,25
		$0 < \Delta 2 < 10\%$	0,50
		$-10\% < \Delta 2 < 0$	0,75
		$\Delta 2 < -10\%$	1,00
Meio Ambiente	EPI da bacia no período (rural e urbana)	$EPI > 20\%$	0,00
		$20\% > EPI > 10\%$	0,25
		$10\% > EPI > 5\%$	0,50
		$5\% > EPI > 0\%$	0,75
		$EPI < 0\%$	1,00
Vida	Variação no produto interno bruto (PIB – per capita) da bacia no período	$\Delta < -20\%$	0,00
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0,25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,50
		$0 < \Delta < 10\%$	0,75
		$\Delta > 10\%$	1,00
Políticas	Variação do índice de desenvolvimento humano- educação no período	$\Delta < -20\%$	0,00
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0,25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,50
		$0 < \Delta < 10\%$	0,75
		$\Delta > 10\%$	1,00

Fonte: Adaptado de Chavez & Allipaz (2007) e Costa e Silva (2015).

Tabela 5. Parâmetro Estado e indicadores do Índice WSI

ESTADO			
Indicador	Parâmetro	Nível	Pontuação
Hidrologia	Wa- disponibilidade hídrica per capita na bacia (superficial e subsuperficial) em m³/hab./ano	$Wa < 1700$	0,00
		$1700 < Wa < 3400$	0,25
		$3400 < Wa < 5100$	0,50
		$5100 < Wa < 6800$	0,75
		$Wa > 6800$	1,00
	DBO5 – média da DBO da bacia (longo prazo), em mg/L	$DBO > 10$	0,00
		$10 > DBO > 5$	0,25
		$5 > DBO > 3$	0,50
		$3 > DBO > 1$	0,75
		$DBO < 1$	1,00
Meio Ambiente	Porcentagem de vegetação natural remanescente na bacia (Av)	$Av < 5$	0,00
		$5 < Av < 10$	0,25
		$10 < Av < 25$	0,50
		$25 < Av < 40$	0,75
		$Av > 40$	1,00
Vida	IDH ponderado da bacia	$IDH < 0,5$	0,00
		$0,50 < IDH < 0,6$	0,25
		$0,60 < IDH < 0,7$	0,50
		$0,75 < IDH < 0,9$	0,75
		$IDH > 0,9$	1,00

Políticas	Capacidade legal e institucional em GIRH na bacia	Muito pobre	0,00
		Pobre	0,25
		Regular	0,50
		Boa	0,75
		Excelente	1,00

Fonte: Adaptado de Chavez & Allipaz (2007) e Costa e Silva (2015).

Tabela 6. Parâmetro Resposta e indicadores do Índice WSI

RESPOSTA			
Indicador	Parâmetro	Nível	Pontuação
Hidrologia	Evolução na eficiência de uso de água na bacia, no período	Muito Pobre	0,00
		Pobre	0,25
		Regular	0,50
		Boa	0,75
		Excelente	1,00
	Evolução no tratamento e disposição de esgotos na bacia, no período	Muito Pobre	0,00
		Pobre	0,25
		Regular	0,50
		Boa	0,75
		Excelente	1,00
Meio Ambiente	Evolução nas áreas protegidas (reservas e boas práticas de manejo-BPMs) na bacia no período	$\Delta < -10\%$	0,00
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$10 < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 20\%$	1,00
Vida	Variação no IDH da bacia no período (ponderado)	$\Delta < -10\%$	0,00
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$10 < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 20\%$	1,00
Políticas	Evolução nos gastos em GIRH na bacia, no período	$\Delta < -10\%$	0,00
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$10 < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 20\%$	1,00

Fonte: Adaptado de Chavez & Allipaz (2007) e Costa e Silva (2015).

3.3 Aplicação do índice WSI na sub-bacia do Rio Mandu

No caso da sub-bacia do Rio Mandu, as delimitações territoriais oficiais, não coincidem com a delimitação da sub-bacia, que abrange parcialmente quatro municípios (Ouro Fino, Borda da Mata, Estiva e Pouso Alegre). Portanto, para realização dos cálculos necessários para obtenção do Índice de Sustentabilidade da Bacia Hidrográfica foram realizadas algumas adaptações e simplificações.

Uma vez que os municípios de Borda da Mata e Pouso Alegre abrangem a maior parte da área da bacia e conseqüentemente abrigam a população majoritária residente na sub-bacia do Rio

Mandu, optou-se por utilizar apenas os dados desses dois municípios para realização de cálculos do indicador Hidrológico, Vida e Política.

Além disso, o período de estudo (5 anos) compreende os anos de 2010-2015. Porém para alguns indicadores, por questões de faltas de dados, esse período foi alterado. As demais alterações e ressalvas na metodologia do índice WSI em cada indicador foram:

- Indicador Hidrológico (H): As informações necessárias foram obtidas por meio do site do IGAM, ANA, Sistema Nacional de informações sobre Saneamento (SNIS), Plano Diretor da Bacia do Rio Sapucaí (2010) e o Plano Municipal de Saneamento Básico de Pouso Alegre (2014). As informações que não foram possíveis obter de forma direta, foram estimadas a partir de outros dados disponíveis. Os devidos cálculos e suas explicações encontram-se em resultados.
- Indicador Meio Ambiente (E): Uma dificuldade encontrada nesse indicador foi a obtenção de mapas temáticos do período de interesse. Por meio de dois trabalhos acadêmicos, foi possível obter o mapa de uso e ocupação de solo referente ao ano de 2013 e 2016. Utilizou-se esses dois mapas como base para os cálculos dos parâmetros de pressão e estado. O parâmetro resposta foi obtido por meio de consulta as legislações municipais e Plano Diretor da Bacia do Rio Sapucaí.
- Indicador Vida (L): Foram utilizados os dados disponíveis pelo IBGE e pelo site Atlas Brasil. Algumas estimativas foram necessárias para contemplar o período de estudo (2010-2015).
- Indicador Política (P): Para esse indicador, foram utilizados dados do IBGE, consulta a legislações municipais dos municípios de Pouso Alegre e Borda da Mata, MG.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicando-se o índice WSI e sua metodologia na sub-bacia do Rio Mandu, MG, obteve-se aos seguintes resultados:

4.1 Hidrologia (H)

4.1.1 Quantidade

4.1.1.1 Pressão

Este parâmetro calcula a variação da disponibilidade de água per capita no período ($\text{m}^3/\text{hab.}/\text{ano}$). Não houve variação no valor da vazão, uma vez que não foi possível obter dados atualizados desse parâmetro, conforme previamente esclarecido neste estudo.

Por meio da tabela 7, observa-se uma variação negativa no valor da disponibilidade hídrica, conferindo assim uma pontuação de **0,5**. Esse cenário indica que ao longo dos 5 anos no período de estudo, a população aumentou e conseqüentemente a demanda hídrica na sub-bacia, porém a vazão manteve-se estável.

Programas de proteção aos corpos d'água são de extrema importância afim de garantir a manutenção e melhoria da quantidade e qualidade, permitindo assim a manutenção da disponibilidade hídrica a população, cuja tendência é permanecer em ritmo de crescimento.

Tabela 7. Variação da disponibilidade hídrica na sub-bacia do Rio Mandu, MG

Ano	População Total	Disponibilidade Hídrica ($\text{m}^3/\text{hab.}/\text{ano}$)
2015	162.528	2.070,3421
2010	147.733	1.882,3710
Variação da Disponibilidade Hídrica		-9,0784%

Fonte: Adaptado do IBGE (2017) e ANA (2015).

Dados:

População Total: População de Pouso Alegre e Borda da Mata, MG

Vazão média (Q_m) = $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (tabela 18, anexo C)

Disponibilidade hídrica: $Q_m \times (3,154 \times 10^7) / \text{População total}$

4.1.1.2 Estado

Este parâmetro corresponde a disponibilidade per capita de água na bacia (superficial e subsuperficial) no ano do estudo. Conforme a tabela 7, a disponibilidade hídrica na sub-bacia do Rio Mandu, em 2015, foi de 1882,3710 m³/ hab./ano, conferindo assim uma pontuação de **0,25**. Essa pontuação representa um valor muito baixo, próximo ao pior cenário conforme apresentado na tabela 2.

Dando suporte a este resultado, o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí (2010) apresentou o cenário com a evolução das demandas hídricas e sua influência na disponibilidade. Em 2010, as demandas já haviam ultrapassado o limite máximo (30% da vazão mínima). Nesse cenário, concluiu-se que a sub-bacia não teria condições de continuar suprindo as demandas para os próximos anos (tabela 19, anexo A).

Portanto, de acordo com essas informações, a sub-bacia do Rio Mandu encontra-se em um cenário próximo do estresse hídrico crítico.

4.1.1.3 Resposta

Este parâmetro corresponde a evolução na eficiência de uso de água na bacia, no período de 2010 a 2015. Para o cálculo da eficiência do uso, observou-se o consumo médio de água por economia e o índice de perda na distribuição (Tabela 8 e 9). Os resultados obtidos apontam para uma pequena redução em relação ao consumo médio por economia e um aumento em relação às perdas na distribuição. Portanto, infere-se uma pontuação de **0,5**, que caracteriza uma situação regular.

Além disso, o Município de Pouso Alegre, em 2014 promulgou uma legislação específica sobre reaproveitamento de água e seu uso racional (apêndice A), entretanto, não houve a regulamentação da mesma.

Tabela 8. Consumo médio por economia e índice de perda na distribuição de água na sub-bacia do Rio Mandu (2015-2020)

Cidades	Borda da Mata		Ouro Fino		Estiva		Pouso Alegre	
Ano	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015
Consumo médio de água por economia (m ³ /mês/econ.)	9,5	8,0	11,4	12,8	11,1	9,3	11,8	10,1
Índice de perda na distribuição (%)	24,56	30,11	58,88	33,26	18,28	19,44	29,99	27,83

Fonte: Adaptado do SNIS, 2017

Tabela 9. Taxas de consumo médio por economia e de perdas na distribuição de água

	Borda da Mata	Pouso Alegre	Media bacia
Taxa de consumo médio de água por economia no período	-15,79%	-14,41%	-15,10%
Taxa perda na distribuição no período	+22,60%	-7,20%	+7,70%

Fonte: autor

4.1.2 Qualidade

4.1.2.1 Pressão

Este parâmetro corresponde a variação da DBO5 da bacia no período (média. Devido a dificuldades em obter-se dados referentes a DBO5 na bacia, utilizou-se como alternativa a análise comparativa dos parâmetros de qualidade apresentados nos relatórios trimestrais do IGAM a respeito da qualidade da água. O ponto de coleta (BG042) localiza-se no município de Borda da Mata, Minas Gerais, à montante de Pouso Alegre (Figura12, anexo B).

Ocorreu uma variação de 10% na média da quantidade dos parâmetros de qualidade de água que não atendem a legislação em relação aos anos de 2010 e 2015 (Quadro 5). Portanto, corresponde a pontuação de **0.5**.

Ressalta-se a necessidade de dados mais concisos para a avaliação mais precisa acerca da evolução da qualidade da sub-bacia do Rio Mandu, além da necessidade de um campo amostral maior, de forma a observar principalmente a qualidade a jusante da sub-bacia.

Quadro 5. Parâmetros de qualidade de água que apresentaram alteração no Rio Mandu (2010-2015)

Parâmetros	2010				2015			
	1º tri	2ºtri	3ºtri	4ºtri	1ºtri	2ºtri	3ºtri	4ºtri
Cor Verdadeira	x				x			
Fosforo Total	x			x	x		x	x
Manganês Total	x				x			
Sólidos em Suspensão	x							
Turbidez	x							
Coliformes termotolerantes		x	x	x	x	X	x	
Ferro dissolvido			x		x		x	
Alumínio dissolvido					x			
Cor verdadeira								
Total de parâmetros que não atendem a legislação	5	1	2	2	6	1	3	1
Media	2,5				2,75			

Fonte: adaptado do IGAM (2010 e 2015).

4.1.2.2 Estado

Este parâmetro corresponde a DBO5 na bacia no ano atual. Devido a indisponibilidade de informações a respeito da DBO5 na sub-bacia do Rio Mandu, no ano de 2015, utilizou-se os dados mais recentes disponíveis referentes a 2013. A DBO média do ano de 2013 foi de aproximadamente 4,655 (ANA, 2015). Dessa forma a pontuação é de **0,5**.

Porém, é necessário ressaltar novamente que esses dados são referentes a um ponto a montante do Rio Mandu, ou seja, toda a carga poluidora proveniente do Município de Pouso Alegre não foi contabilizada nesse resultado. Logo, o resultado nesse parâmetro foi significativamente comprometido.

4.1.2.3 Resposta

Este parâmetro corresponde a melhorias no tratamento/disposição de esgoto nos últimos 5 anos. Na tabela 11, os dados indicam que houve uma grande evolução no tratamento de esgoto nos dois principais municípios que compõe a sub-bacia do Rio Mandu. Diante de uma melhoria no sistema de saneamento, de quase 100%, a pontuação creditada foi de **1,00**.

Tabela 10. Evolução do esgotamento sanitário na sub-bacia do Rio Mandu (2010-2015)

Cidades	Borda da Mata		Ouro Fino		Estiva		Pouso Alegre	
Ano	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015
Índice de coleta de esgoto (%)	77,81	77,76	80,00	79,65	-	-	77,57	77,94
Índice de tratamento de esgoto (%)	7,51	97,94	0,00	0,00	-	-	0,46	100,00
Política de saneamento básico conforme lei 11.445/2007	-	-	Sim	-	-	-	Sim	

Fonte: Adaptado do SNIS, Séries históricas, 2017

4.2 Meio Ambiente (E)

4.2.1 Pressão

Este parâmetro corresponde ao cálculo do Índice de Pressão Antrópica no Meio Ambiente (EPI -Rural e Urbano). Para o cálculo do EPI foram utilizadas a variação das porcentagens nas áreas agropecuárias na sub-bacia no período de 20013 (figura 6) e 2016 (figuras 5) e a variação da população da sub-bacia no período (tabela 12). Com base na equação 2, tem-se que o EPI na sub-bacia é de: 7,125%, garantindo uma pontuação de **0,50**.

O valor positivo do EPI indica uma condição de pressão antrópica sobre o meio no período do estudo com o aumento da população e das áreas agropecuárias na sub-bacia

Tabela 11. Porcentagem de áreas de uso agropecuário e população total na sub-bacia do Rio Mandu, Minas Gerais (2013 e 2016)

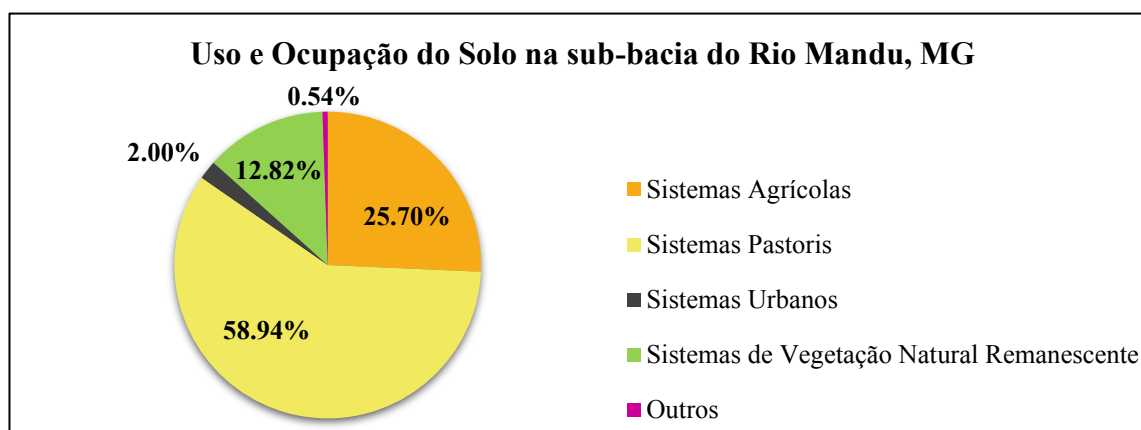
Ano	Área agropecuária (%)	População total (hab.) *
2013	75,73	158.494
2016	84,68	164.408
Variação (%)	11,82	3,73

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2014) e Teixeira (2016). *população de Pouso Alegre e Borda da Mata, MG

4.2.2 Estado

Este parâmetro corresponde ao cálculo da porcentagem da área da bacia com cobertura vegetal natural remanescente. De acordo com a tabela 1, os sistemas naturais representados pelos sistemas de formação florestal correspondem a uma área de 64,17 km² (tabela 1), representando assim, 12,82% da área total da bacia (gráfico 1), dessa forma a pontuação é de **0.5**.

Gráfico 1. Uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Mandu, MG



Fonte: Adaptado de Teixeira (2016).

A porcentagem de áreas com vegetação nativa remanescente está muito próxima do limite que caracteriza a pontuação 0.25. Uma baixa pontuação nesse quesito implica o comprometimento da biodiversidade local, e aponta para uma redução na integridade ambiental da sub-bacia do Rio Mandu.

Uma das formas possíveis para reverter esse cenário seria o investimento na recuperação de mata ciliar, que por lei (Código Florestal) são consideradas áreas de preservação permanente. As margens do Rio Mandu encontram-se comprometidas em diversos trechos (figura 9), sua recuperação é benéfica não apenas em termos de aumento das áreas com vegetação natural, como mantém para a manutenção da própria saúde do corpo hídrico.

Figura 9. Vista da Ponte na Estrada do Pantano, Bairro Santa Laura, Pouso Alegre, Minas Gerais



Fonte: Gerencia de Recursos Hídricos de Pouso Alegre- MG, Secretaria de Governo, 2015

4.2.3 Resposta

Este parâmetro corresponde a evolução das áreas de conservação na bacia nos últimos 5 anos. Não houve variação. Portanto a pontuação é de **0.5**.

As únicas áreas de conservação na sub-bacia são: Parque Natural Municipal de Pouso Alegre e Reserva Biológica Municipal de Pouso Alegre, estabelecidos em 1998 pelas Leis Municipais 3411 e 3412 respectivamente. O parque Natural Municipal de Pouso Alegre ocupa uma área de 204 ha, já a reserva biológica ocupa uma área de 186 há, segundo informações do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. Totalizando, assim uma área de 3,9 km².

Ao compararmos esse valor com a área total da sub-bacia, é possível observar que essas áreas de conservação representam apenas 0,78% da área total. Ou seja, menos de 1% da área da

sub-bacia do Rio Mandu tem suas áreas protegidas e salvaguardadas pelo governo. Apesar do resultado ter atingido uma pontuação intermediária, o contexto da sub-bacia revela que as áreas de preservação permanentes são quase que inexpressivas na região.

4.3 Vida (L)

4.3.1 Pressão

Este parâmetro corresponde a variação do PIB per capita na bacia nos últimos 5 anos, porém com os dados disponíveis, este período foi alterado para 4 anos (2010-2014). Calculou-se a variação média do PIB per capita na sub-bacia do Rio Mandu (Tabela 13), o que resultou em uma no valor de 61,19%, o que corresponde a uma pontuação de **1,00**.

Houve um aumento substancial do PIB no período, entretanto, o indicador não aponta questões sobre como ocorre a distribuição dessa riqueza aos diversos grupos sociais que se encontram na sub-bacia do Rio Mandu. Portanto, o enriquecimento na sub-bacia não implica em aumento da renda da população.

Tabela 12. Evolução do PIB nos municípios de Pouso Alegre e Borda da Mata, MG

Ano	PIB per capita	
	Pouso Alegre	Borda da Mata
2010	23.915,64	9.392,16
2014	41.742,99	13.886,98
Variação (%)	74,54	47,83

Fonte: Adaptado do IBGE, 2017.

4.3.2 Estado

Este parâmetro corresponde ao valor IDH da bacia, que no caso da sub-bacia do Rio Mandu, corresponde a média do IDH (Município de Pouso Alegre e Borda da Mata). De acordo com a tabela 14, a média do IDH na sub-bacia foi de 0,7825, resultando assim em uma pontuação de: **0,75**. Essa alta pontuação aponta para uma situação confortável em termos de qualidade de vida na sub-bacia no ano do estudo.

Tabela 13. Histórico do IDHM em Pouso Alegre e Borda da Mata, MG

Ano	IDHM	
	Pouso Alegre	Borda da Mata

1992	0,577	0,507
2000	0,690	0,615
2010	0,774	0,730
2015 *	0.805	0,76

Fonte: Adaptado do IBGE. *Estimativa a partir do IDH 2015 do Brasil

4.3.3 Resposta

Este parâmetro corresponde a evolução da variação do IDH os últimos 5 anos. A variação média do IDH na sub-bacia do Rio Mandu no período estudado (ver tabela 14) foi de 40,5%, e pontuação correspondente é **1,00**. Portanto, pode-se inferir que a qualidade de vida na sub-bacia tem aumentado consideravelmente, ou seja, a população tem desfrutado de melhores condições em termos de renda, educação somando-se a isso, um aumento da longevidade.

4.4 Política (P)

4.4.1 Pressão

Este parâmetro corresponde a variação do IDH educação na bacia nos últimos 5 anos. Em Pouso Alegre houve um aumento de 4,12%, quanto que em Borda da Mata o aumento foi de 4,06%. Portanto a variação média do IDH educação foi de 4,09%, o que resulta em uma pontuação de **0,75** (tabela 15). Essa pontuação elevada aponta um aumento do nível educacional na população da sub-bacia, podendo inferir que esta também tornou-se mais participativa em termos de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos, precisando assim os tomadores de decisão.

Entretanto é importante ressaltar que para a fomentação de uma consciência ambiental e uma atuação participativa nas decisões de cunho ambiental por parte da população, são necessários investimentos em educação ambiental na sub-bacia.

Tabela 14. Evolução do IDH-Educação nos municípios de Pouso Alegre e Borda da Mata, MG

Ano	IDH- Educação	
	Pouso Alegre	Borda da Mata
1991	0,369	0,282
2000	0,558	0,443
2010	0,704	0,640
2015*	0,733	0,666

Fonte: Adaptado do Atlas Brasil, 2010. *estimativa

4.4.2 Estado

Este parâmetro corresponde a capacidade legal e institucional em termos de gestão integrada dos recursos hídricos. Portanto, esse parâmetro contém um maior grau de subjetividade.

Na sub-bacia existem alguns exemplos de legislações ambientais que favorecem a gestão dos recursos hídricos e que direta ou indiretamente incentivam práticas de proteção, conservação e mitigação de poluição (apêndice A).

Entretanto, apesar da existência de legislações que estimulem uma adequada gestão integrada dos recursos hídricos, a falta de fiscalização implica em dificuldades na aplicação dessas legislações. Essa situação foi apontada no processo de elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico do Município (2014).

Em 2014, ano em que todo o território nacional sofreu as consequências de um período de grande estiagem, foi o período em que legislações e ações foram criadas voltadas para a conservação dos recursos hídricos, porém, com o término da estiagem, algumas dessas ações foram interrompidas, inclusive na sub-bacia do Rio Mandu. Exemplo disso foi o programa Nosso Rio Mandu (2014). O programa foi desenvolvido com apoio da prefeitura de Pouso Alegre- MG e outras parcerias, com o objetivo de melhorar a qualidade e quantidade do Rio Mandu. Porém, até o período da realização deste estudo, não foram mais encontradas informações sobre esse projeto.

Ponderando as considerações citadas anteriormente, a pontuação foi de **0,5**.

4.4.3 Resposta

Esse parâmetro corresponde a evolução dos gastos com gestão integrada na sub-bacia nos últimos 5 anos. Em 2014, acrescentou-se na lei municipal, uma porcentagem de destinação mínima para projetos relacionados a recuperação e conservação dos recursos hídricos:

Parágrafo único. Será destinado, no mínimo, um percentual de 25% (vinte e cinco por cento) da receita do Fundo Municipal do Meio Ambiente aos projetos direcionados à recuperação e conservação dos recursos hídricos, conforme aprovação do Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente COMDEMA (LEI MUNICIPAL DE POUSO ALEGRE, 5.333/2013.Art 47, parágrafo único).

Com esse aumento da evolução dos gastos com gestão na bacia, a pontuação inferida é **0,75**.

4.5 Resultados Finais

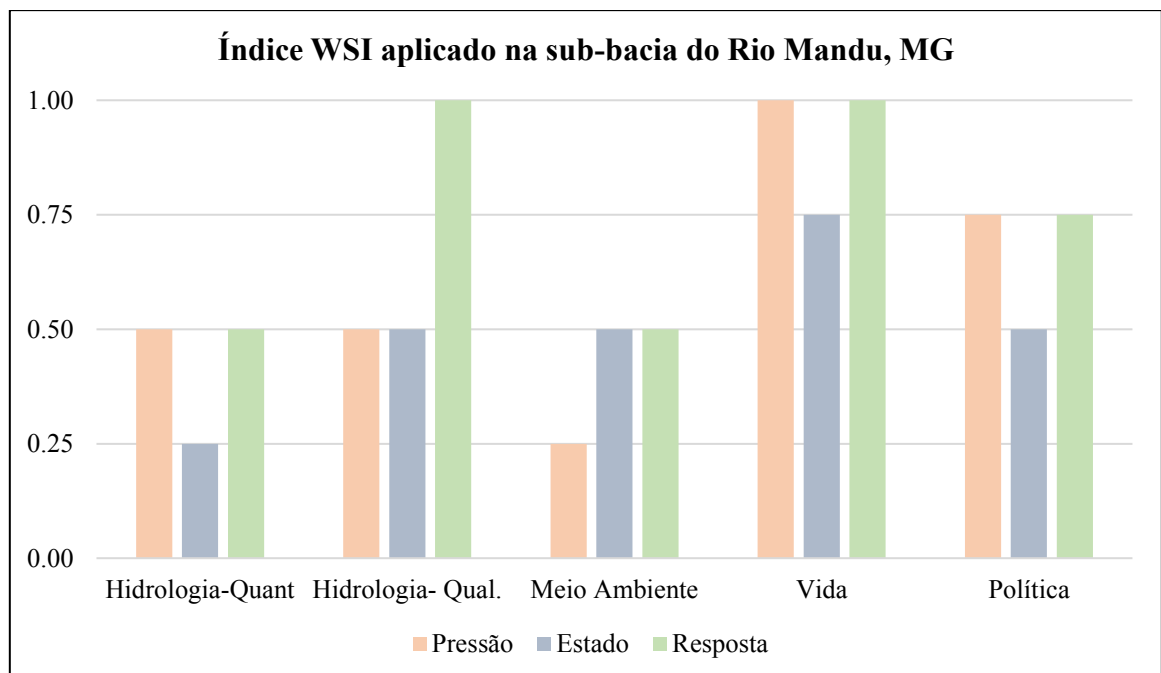
Considerando os valores atribuídos a cada indicador (HELP), aplicados nos três parâmetros (PER), obteve-se por meio da equação 1 o valor de **0,64** para o índice WSI aplicado na sub-bacia do Rio Mandu, MG (tabela 16 e gráfico 2).

Tabela 15. Resultados dos indicadores do índice WSI aplicados a sub-bacia do Rio Mandu

Indicadores		Parâmetros			Total
		Pressão	Estado	Resposta	
Hidrologia	Quantidade	0,5	0,25	0,5	0,55
	Qualidade	0,5	0,5	1,00	
Meio Ambiente		0,25	0,5	0,5	0,42
Vida		1,00	0,75	1,00	0,92
Política		0,75	0,5	0,75	0,67
Média		0,63	0,50	0,69	0,64

Fonte: autor

Gráfico 2. Índice WSI aplicado na sub-bacia do Rio Mandu, MG



Fonte: autor.

O valor de 0,64 aponta para uma situação intermediária em termos de sustentabilidade da sub-bacia hidrográfica. Ou seja, analisando a sub-bacia do Rio Mandu com uma visão integral, incorporando não só a questão ambiental, mas também social e econômica, por meio dos indicadores analisados no índice WSI (hidrologia, ambiente, vida e política), foi possível chegar a um valor que apresenta de forma simplificada, qual o nível de pressão que a sub-bacia vem sofrendo, qual é o seu estado e o que vem sendo feito diante disso. Portanto o índice funciona como uma primeira estimativa da saúde da bacia, para posteriormente serem feitos diagnósticos mais aprofundados nos indicadores e parâmetros que apresentaram valores mais significativos, pontuações baixas, e até mesmo aqueles que não puderam ser muito bem avaliados devidos a falta de dados e informações disponíveis no período do estudo.

No caso da sub-bacia do Rio Mandu, apesar do valor do índice apresentar uma situação mediana, uma análise nos resultados intermediários do índice pode revelar informações importantes para maior compreensão das potencialidades e fraquezas na sub-bacia.

Analisando os parâmetros e indicadores com resultados mais significativos (tabela 16), temos que o indicador que apresentou uma menor pontuação foi o indicador meio ambiente (E). Essa pontuação baixa se deve ao parâmetro Pressão, que calculou o EPI da bacia. Áreas destinadas a agropecuária, em especial, culturas temporárias, tiveram um grande aumento no período de 2013 a 2016. Além disso, áreas de vegetação nativa (ou florestas, como referido no mapa temático de 2013) sofreram uma redução significativa, representando assim um impacto ambiental a ser levado em consideração pelas autoridades responsáveis, uma vez que a essa pressão sobre a vegetação nativa tem relação direta com processos erosivos, com a qualidade dos corpos hídricos, com quantidade de água subterrânea e com a biodiversidade local.

Outro indicador que pode ser destacado é o indicador hidrológico. Apesar de apresentar um valor intermediário, é possível notar que no parâmetro Estado, em relação a quantidade, a situação encontra-se próxima ao estresse hídrico. Esse é um resultado muito preocupante visto que 70% da água para abastecimento público no município de Pouso Alegre e 100% da água para abastecimento público em Borda da Mata é captada no Rio Mandu, ou Ribeirão Mandu.

Tendo essa enorme importância para a população dos municípios de Pouso Alegre e Borda da Mata, são necessárias formas não só de aplicar um uso da água mais eficaz, mas além disso, pensar em estratégias de proteção dos corpos d'água da sub-bacia do Rio Mandu.

A busca por um cenário hídrico confortável deve envolver investimentos na recuperação da mata ciliar do Rio Mandu. A mata ciliar, ausente em diversos trechos da sub-bacia, pode contribuir para uma melhoria na qualidade e quantidade do Rio Mandu e seus componentes. Pra tal, se faz necessária a fiscalização a fim de cumprir as legislações ambientais na sub-bacia.

5 CONCLUSÃO

A aplicação do índice WSI na sub-bacia do Rio Mandu permitiu uma primeira apuração sobre quais são as principais pressões exercidas sobre a sub-bacia, em que estado ela se encontra e como esse cenário tende a ser com relação a hidrografia, ambiente, vida e política. Porém, este panorama é uma versão simplificada de uma realidade complexa, portanto, não é uma medida precisa.

Por meio dos resultados obtidos, conclui-se que a bacia enquadra-se em uma situação regular, intermediária em termos de sustentabilidade, e que medidas conservacionistas e mitigadoras precisam ser tomadas a fim de garantir sua sustentabilidade para os próximos anos, principalmente porque pela tendência de crescimento da população na sub-bacia, o que implica em maiores impactos sobre a sub-bacia do Rio Mandu. Portanto, é necessário o investimento em planejamento ambiental e gestão integral da bacia buscando conciliar o desenvolvimento com a sustentabilidade.

Como parâmetros mais significativos destacam-se a hidrologia e meio ambiente, medidos pelos parâmetros disponibilidade hídrica per capita e o índice EPI respectivamente. Nota-se que são necessários investimentos para garantir a integridade de áreas com vegetação nativa, assim como fazer cumprir-se legislações como o código florestal e suas implicações sobre a mata ciliar e APP. Além disso, investimentos em eficiência do uso da água se tornam cruciais para uma melhor gestão das águas.

É necessário fazer uma avaliação mais profunda desses parâmetros de valores significativos, assim como uma investigação detalhada sobre suas causas para que assim sejam traçadas medidas adequadas para garantir um conforto hídrico a população para os anos subsequentes.

Para pesquisas futuras, se faz necessária uma apuração maior acerca dos indicadores que não puderam ser medidos de forma direta. No caso da disponibilidade hídrica, e da DBO do Rio, constatou-se grande dificuldade na obtenção dos dados. Além disso, outro obstáculo é a descentralização de informações sobre a sub-bacia, o que dificultou o processo de pesquisa.

Uma dificuldade em relação ao método diz respeito a valoração dos indicadores subjetivos ou que requerem diversas fontes para inferir uma pontuação, como foi o caso dos parâmetros Resposta aplicado no indicador Hidrológico-quantidade (eficiência no uso da água) e, Estado

aplicado no indicador Política (capacidade legal e institucional em termos de GIRH). Em ambos, a dificuldade apresentou-se sobre a escolha dos melhores parâmetros que poderiam ser levantados para avaliá-los.

Por fim, conclui-se que tratando-se de bacia hidrográfica, é necessário uma ação conjunta entre os municípios que compõe a bacia, comitê de bacia hidrográfica, população e demais partes interessadas para que sejam atingidos níveis de sustentabilidade cada vez mais satisfatórios. Pois em um sistema integrados, as ações devem também ser integradas, observando-se as esferas sociais, econômicas e ambientais com participação pública nas tomadas de decisões.

Além disso, a visão mitigadora, em que as ações são voltadas para a solução de problemas ambientais, deve ser substituída por uma visão de conservação e prevenção, que visa ações a médio e longo prazo buscando evitar situações de impactos ambientais especialmente no que se refere aos recursos hídricos. Isso é possível por meio de ações de planejamento ambiental. Por essa razão, espera-se que este trabalho sirva como uma ferramenta ao processo de planejamento, auxiliando os tomadores de decisão a avaliarem o contexto da sub bacia do Rio Mandu e seus principais pontos de fragilidade.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Agencia Nacional das Aguas (ANA). 2015. Bacia hidrográfica do Rio Grande. Diagnostico preliminar. Disponibilidade hídrica. Disponível em: <http://pirhgrande.ana.gov.br/Arquivos/2.Diagnostico_Preliminar/NT_Disponibilidade%20H%C3%ADrica%20-%20Revisada.pdf>. Acesso em: 26 maio 2017.
- Agencia Nacional das Aguas (ANA). 2005. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2017.
- ARAÚJO, L. E. de. et al. 2009. A Bacias Hidrográficas e Impactos Ambientais. Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/view/399/366>>. Acesso em: 21 de fev. 2017.
- ARAÚJO, G. C. et al.. 2006. Sustentabilidade Empresarial: Conceitos e Indicadores. Disponível em: <http://www.convibra.org/2006/artigos/61_pdf.pdf>. Acesso: 17 abr. 2017.
- ATLAS BRASIL. Atlas do desenvolvimento Humano do Brasil. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/>>. Acesso em: 16 maio 2017.
- BERNARDI, E. C. et al. Bacia Hidrográfica como unidade de gestão ambiental. Revista Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012. Disponível em: <<http://sites.unifra.br/Portals/36/Tecnologicas%202012-2/04.pdf>>. Acesso em: 26 de jan. 2017.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2017.
- BRASIL. Lei 9433, de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 26 de jan. 2017.
- BRASIL. Lei 13199, 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>>. Acesso em: 26 de jan. 2017.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 7 abril 2017.
- CARVALHO, R. G. As Bacias Hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.36, Volume Especial, p. 26-43, 2014. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3172/2656>>. Acesso em: 26 jan. 2017.
- CATANO, N. et al. 2009. Development and Validation of the Watershed Sustainability Index (WSI) for the Watershed of the Reventazón River. Disponível em: <<https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-121609-171302/unrestricted/UNESCO-COMCURE.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2017.

CORTÉS, A. E. et al. 2012. Application of the Watershed Sustainability Index to Elqui river basin, North-Central Chile. Disponível em: < <http://www.scielo.cl/pdf/oyp/n12/art05.pdf> >. Acesso em: 2 maio 2017.

COSTA E SILVA, Danilo. et al. 2015. Análise da sustentabilidade da sub bacia hidrográfica brasileira costeira do baixo piranhas a partir do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas. Disponível em: < http://www.aprh.pt/ZonasCosteiras2015/pdf/5B4_Artigo_005.pdf >. Acesso em: 15 maio 2017.

CHAVEZ, Henrique; ALIPAZ, Suzana. 2007. An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/226814925_An_Integrated_Indicator_Based_on_Basin_Hydrology_Environment_Life_and_Policy_The_Watershed_Sustainability_Index>. Acesso em: 3 maio 2017.

FILHO, G. M. Ecodesenvolvimento e desenvolvimento sustentável: conceitos e princípios. Disponível em: < <https://periodicos.ufsc.br/index.php/economia/article/view/6645>>. Acesso em: 1 abr. 2017.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). Geomorfologia e meio ambiente. 11.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil: 2015/ IBGE. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

Instituto Estadual de Florestas (IEF). Unidades de conservação municipais. Disponível em: < http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/Plano_de_Manejo/Rio_preto/anexos/anexo_1.01c.pdf> . Acesso em: 24 maio 2017.

JACOBI, P. O complexo desafio da sustentabilidade. In: Fundação Prefeito Faria Lima- Cepam. O município no século XXI: cenários e perspectivas. ed. especial. São Paulo, 1999. p. 175-183.

KRONEMBERGER, D. M. P. et al. 2004. Indicadores de Sustentabilidade em Pequenas Bacias Hidrográficas: Uma Aplicação do “Barômetro da Sustentabilidade” à Bacia do Jurumirim (Angra dos Reis/RJ). Disponível em: < <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/geobras/article/view/10216> >. Acesso em: 27 abr 2017.

Comitê de Bacias Hidrográficas. Legislações. Disponível em: <<http://www.cbh.gov.br/Legislacao.aspx>>. Acesso em: 26 de jan. 2017.

LIMA, W. Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>>. Acesso em: 26 de jan. 2017.

MALHEIROS, T.F.; JUNIOR, A. P.; COUTINHO, S. M. V. 2008. Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/sausoc/article/view/7556>>. Acesso em: 12 abr 2017.

MARANHÃO, N. 2007. Sistema de Indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas. Disponível em: <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/ArtigosCientificosDiversos/Analise_Ambiental/NAGEA/Teses_Dissertacoes/MARANHAO_N_07_t_D_int.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2017.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. Agenda 21 Global. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>. >. Acesso em: 12 abr. 2017.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. Indicadores. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-urbano/item/8055> >. Acesso em: 20 maio 2017

OLIVEIRA, G. B. de. 2012. Uma discussão sobre o conceito de desenvolvimento. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/249313650_Uma_discussao_sobre_o_conceito_de_desenvolvimento>. Acesso em: 27 abr. 2017.

PORTAL BRASIL. Saiba mais sobre água, consumo consciente e recursos hídricos no Brasil. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2010/10/agua-e-consumo-consciente>>. Acesso em: 2017

PREFEITURA MUNICIPAL DE POUSO ALEGRE - MG. Legislação Municipal. Disponível em: < <http://legislador.diretriznet.com.br:8080/legisladorweb.asp?WCI=LeiParametro&ID=122>>. Acesso em: 2 abr. 2017.

RANZINI, M . Balanço Hídrico, Ciclagem Geoquímica de Nutrientes e Perdas de Solo em Suas Microbacias Reflorestadas com *Eucalyptus saligna* Smith, no Vale do Paraíba, SP. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11142/tde-20042016-113241/en.php> >. Acesso em: 21 de fev. 2017.

REIS, A. L. Q. 2010. Índice de sustentabilidade aplicado á bacia do Rio Cuiá- João Pessoa (PB). Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/4590/1/parte1.pdf> >. Acesso em: 27 abr. 2017.

RIBEIRO, A. dos S.. 2014. Vulnerabilidade Ambiental da Sub bacia Hidrográfica do Rio Mandu, Sul de Minas Gerais. Disponível em: < <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/551>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

SIENA, O. 2008. Método para avaliar desenvolvimento sustentável: técnicas para escolha e ponderação de aspectos e dimensões. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132008000200012 >. Acesso em: 12 abr. 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Série Histórica. Municípios. Disponível em: < <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 22 maio 2017.

SOUZA, E. R. de; FERNANDES, M. R. . 2000. Sub bacias hidrográficas unidade básica para o planejamento e gestão sustentáveis das atividades rurais. Disponível em: < http://deg.ufla.br/setores/engenharia_agua_solo/disciplinas/eng_170/Bacias%20-%20Artigo%20Informe%20Agropecuario.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2017.

STREETEN, P. 1995. Human Development: Means and Ends. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.904.7724&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

TEIXEIRA, G. C. 2016. Zoneamento Geoambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, sul de Minas Gerais. Disponível em: < <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/803> >. Acesso em: 17 maio 2016.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. Human Development Report 2016. Disponível em: <http://hdr.undp.org/sites/default/files/2016_human_development_report.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2017.

VEIGA, J. E. da. Indicadores de sustentabilidade. Disponível: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0103-40142010000100006&script=sci_arttext>. Acesso em: 2 maio 2017.

VILLAÇA, M. F. et al. Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: O estudo de caso do Ribeirão Conquista no município de Itaguara- MG. Disponível em: <http://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/070.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2017.

VIDA MEIO AMBIENTE. 2010. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí - Compatibilização. Disponível em: <<http://www.cbhsapucaia.org.br/cbh/public/files/FASEB-Compatibilizacao.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2017.

APÊNDICE A – LEGISLAÇÕES NA SUB-BACIA DO RIO MANDU (2010- 2015)

Legislações	Ementa
Lei Ordinária nº 5540/2014 de 16/12/2014	Estabelece política e normas para o ecocrédito no município de Pouso Alegre, e dá outras providências
Lei Ordinária nº 5533/2014 de 05/12/2014	Institui o programa municipal de conservação, uso racional e reaproveitamento das águas e dá outras providências.
Lei Ordinária nº 5333/2013 de 13/08/2013.	Dispõe sobre a política de proteção, conservação e controle do meio ambiente e da melhoria da qualidade de vida no município de Pouso Alegre MG e revoga as leis n 1775/80 e 2.520/91.
Decreto nº 4465/2015 de 24/11/2015.	Reconhece a urgência para a execução de atividade desassoreamento e de limpeza no Rio Mandu, que passa pela zona urbana de Pouso Alegre, nos termos do art. 8 e parágrafo 3 da lei federal n 12.651/12, alterada pela lei 12.727/12.

Fonte: Adaptado dos dados da Prefeitura Municipal de Pouso Alegre, 2017

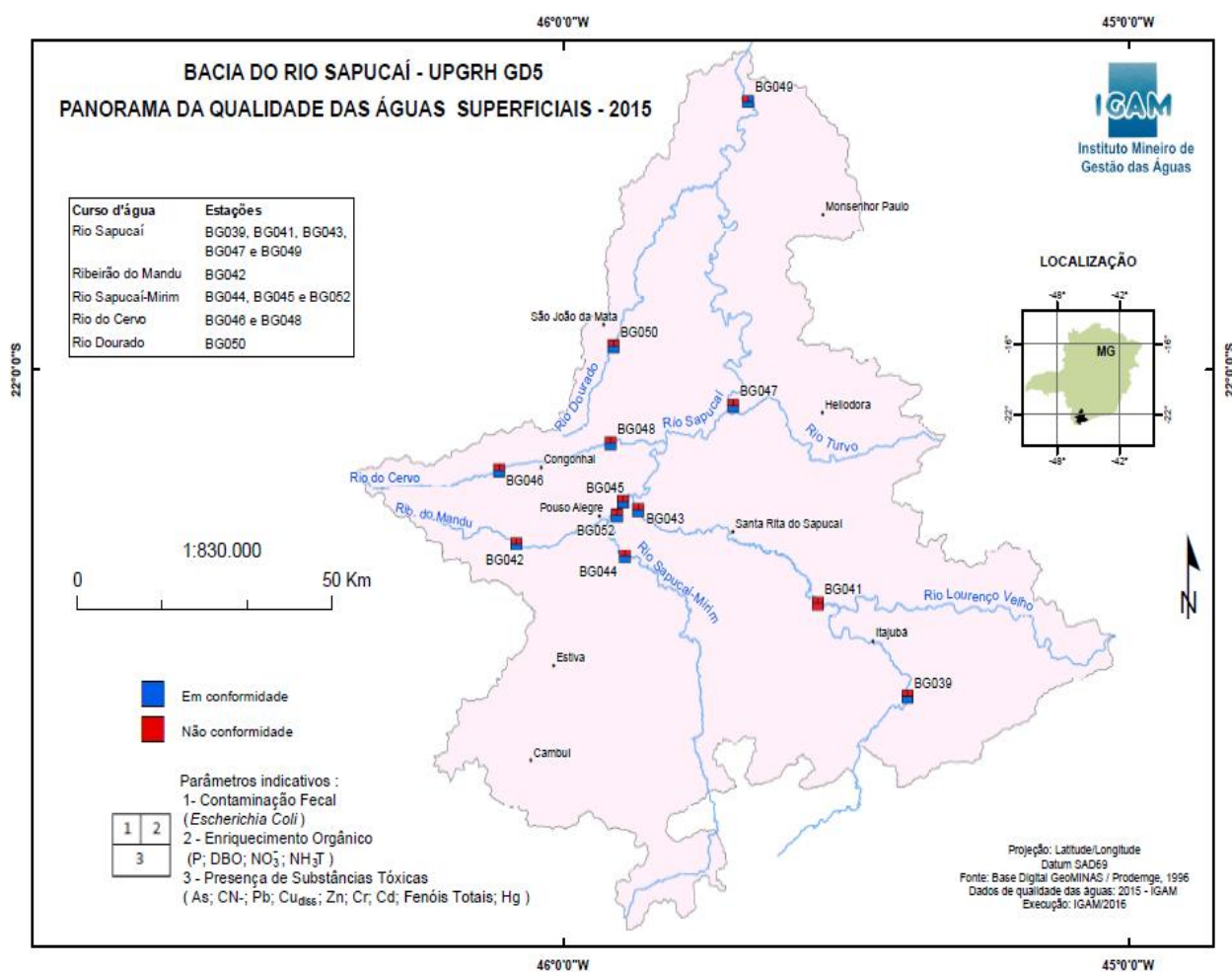
ANEXO A – DADOS DE QUANTIDADE E QUALIDADE DO RIO MANDU, MG

Tabela 16. Vazões características da Estação Fluviométrica no Rio Mandu, MG.

Estação	Qmlt	qmlt	Q95	q95	Q7,10	q7,10
61380000	9,7	25,0	1,99	5,1	1,29	3,31

Fonte: ANA(2015).

Figura 10. Localização das estações de monitoramento do IGAM na sub-bacia do Rio Sapucaí, Minas Gerais



Fonte: IGAM, 2010

Tabela 17. Demanda de água e disponibilidade hídrica no ponto 8 do Rio Mandu, MG.

Rio Mandu		Demanda Outorgada (m³/s)				Disponibilidade Hídrica (m³/s)		IDD(%) = Demanda / 30% Q 7, 10		
Usos	Q.	2009	2010	2015	2020	Q7,10	30% Q7,10	2010	2015	2020
Abastecimento Público	2	0,400	0,418	0,5621	0,649	-	-	-	-	-
Aquicultura	2	0,001	0,001	0,001	0,001	-	-	-	-	-
Irrigação	2	0,014	0,015	0,020	0,026	-	-	-	-	-
Dessedentação de animais	1	0,0001	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-	-
Consumo industrial	3	0,030	0,031	0,035	0,040	-	-	-	-	-
Total	7	0,445	0,465	0,57	0,72	1,5	0,45	104,3	129,4	160,7

Fonte: Adaptada de Vida Meio Ambiente (2010).

Tabela 18. Violações de limites da DN Copam/CERH nº1/2008 ocorridas em Borda da Mata, MG (BG042): Rede Básica, no ano de 2010

Trimestre	Parâmetro	Porcentagem de violação do parâmetro
1º	Cor Verdadeira	176%
	Fosforo Total	10%
	Manganês total	81%
	Sólidos em Suspensão Totais	58%
	Turbidez	22%
2º	Coliformes termotolerantes	130%
3º	Coliformes termotolerantes	70%
	Ferro Dissolvido	6%
4º	Coliformes termotolerantes	400%
	Fosforo Total	10%

Fonte: Adaptada do IGAM (2010).

Tabela 19. Violações de limites da DN Copam/CERH nº1/2008 ocorridas em Borda da Mata, MG (BG042): Rede Básica, no ano de 2015

Trimestres	Parâmetro	Porcentagem de violação do parâmetro
1º	Aluminio dissolvido	46%
	Cor verdadeira	12%
	Escherichia Coli	3773%
	Ferro dissolvido	210%
	Fosforo Total	40%
	Manganês total	158%
2º	Escherichia coli	105%
3º	Escherichia coli	446%
	Ferro Dissolvido	126%
	Fosforo total	80%
4º	Fosforo Total	120%

Fonte: Adaptada do IGAM (2015).