



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA

ELAINE PRISCILA DE ANDRADE GARCIA

**Elaboração de Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) para
as atividades agropecuárias de Araras/SP, considerando as
características físico-químicas do solo do Município**

Campinas
2017



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA

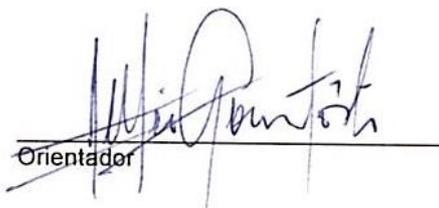
ELAINE PRISCILA DE ANDRADE GARCIA

**Elaboração de Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) para
as atividades agropecuárias de Araras/SP, considerando as
características físico-químicas do solo do Município**

Prof. Dr. SÉRGIO GOMES TÔSTO – orientador

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestra em Desenvolvimento Econômico, área de concentração Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA
ALUNA ELAINE PRISCILA DE ANDRADE
GARCIA E ORIENTADA PELO PROF. DR.
SÉRGIO GOMES TÔSTO**


Orientador

Campinas
2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CAPES
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6225-2674>

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Economia
Mirian Clavico Alves - CRB 8/8708

G165e Garcia, Elaine Priscila de Andrade, 1976-
Elaboração do Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) para as atividades agropecuárias de Araras/SP, considerando as características físico-químicas do solo do Município. / Elaine Priscila de Andrade Garcia. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Sérgio Gomes Tôsto.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia.

1. Sustentabilidade - Índices. 2. Solos. 3. Análise multicritério. I. Tôsto, Sérgio Gomes, 1957-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Elaboration of Environmental Sustainability Index (ISA) for the agricultural activities of Araras/SP, considering the physical-chemical characteristics of the soil of the municipality.

Palavras-chave em inglês:

Sustainability - Indexes

Soils

Multicriteria analysis

Área de concentração: Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente

Titulação: Mestra em Desenvolvimento Econômico

Banca examinadora:

Sérgio Gomes Tôsto [Orientador]

Ademar Ribeiro Romeiro

João Alfredo de Carvalho Mangabeira

Data de defesa: 22-02-2017

Programa de Pós-Graduação: Desenvolvimento Econômico



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA**

ELAINE PRISCILA DE ANDRADE GARCIA

**Elaboração de Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) para
as atividades agropecuárias de Araras/SP, considerando as
características físico-químicas do solo do Município**

Defendida em 22/02/2017

COMISSÃO JULGADORA


Prof. Dr. SÉRGIO GOMES TÔSTO
EMBRAPA


Prof. Dr. ADEMAR RIBEIRO ROMERO
Instituto de Economia / UNICAMP


Prof. Dr. JOÃO ALFREDO DE CARVALHO MANGABEIRA
EMBRAPA

A Ata de Defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no processo de vida acadêmica da aluna.

AGRADECIMENTOS

Pelo caminho em que passei, muitas pessoas ajudaram-me a redigir mais um capítulo da minha vida. Compartilho esta felicidade com todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, com a construção desta dissertação, da concepção a sua finalização.

Neste momento, é gratificante poder registrar os mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que me ajudaram com incentivo, vibrações positivas, compreensão e esclarecimentos técnicos. A colaboração de todos foi fundamental para a conclusão deste projeto. Muito obrigada!

Agradeço, imensamente,

À minha família por todo o apoio dado durante todos estes anos de idas e vindas, por tanta generosidade, bondade, desprendimento e amor e, em especial, ao meu marido, aos meus pais e minha sogra por nunca terem medido esforços para estar ao meu lado no caminhar desta jornada e ao meu pequenino filho que, em sua sabedoria infantil, sempre esteve ao meu lado auxiliando-me com seu amor incondicional.

À Universidade Estadual de Campinas, instituição responsável pelo aprimoramento dos meus conhecimentos, pela oportunidade da realização do curso.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro destinado ao desenvolvimento desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Ranulfo Paiva Sobrinho pela amizade e pelo apoio decisivo na operacionalização deste projeto, principalmente, no campo experimental.

Ao Prof. Dr. Sérgio Gomes Tôsto pela orientação e fornecimento dos dados técnicos.

Ao Prof. Dr. Ademar Ribeiro Romeiro pela atenção e ensinamentos durante anos.

Ao Prof. Dr. João Alfredo de Carvalho Mangabeira por todas as contribuições.

Aos demais membros da banca examinadora pelo apoio na execução desta pesquisa.

RESUMO

O Município de Araras/SP abarca há tempos extensas áreas de agricultura e pecuária intensiva devido às condições de relevo, solo e clima. O principal problema ambiental gerado por estas atividades é a degradação do solo. Esta condição preocupa, pois ela altera estruturas e funções ecossistêmicas, gerando sérios riscos à manutenção do solo e impondo limites à sua sustentabilidade. O presente trabalho elaborou o Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) utilizando o método MACBETH de apoio à decisão para cinco atividades agropecuárias do Município de Araras/SP, baseado nas características físico-químicas dos solos obtidas por amostras georreferenciadas e analisadas em 2010. O objetivo deste índice é tornar mais claras as informações, colaborando para o aumento da produtividade e melhora da condição ambiental. A hipótese levantada é que a elaboração de Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) utilizando o processo sociotécnico MACBETH proporciona análise detalhada do cenário, fornecendo dados relevantes que permitem antecipar as etapas da degradação, pois ele é uma abordagem multicritério construtivista que engloba a componente social e a técnica. A principal diferença do MACBETH para as demais abordagens multicritério é que este método utiliza os julgamentos de valores (objetivos e subjetivos) de um decisor (pessoa com informações relevantes) dentro de um contexto específico, ponderando os critérios e avaliando as opções em julgamentos qualitativos, aumentando a confiabilidade dos resultados. Os resultados desta pesquisa mostram que os índices para as culturas de Cana-de-açúcar crua, Cana-açúcar queimada e Café apresentam valores razoáveis, um pouco acima de 50 numa escala de zero a 100 e, portanto, tem potencial para melhora se observadas as recomendações de manejo para cada atividade. Já as culturas Citrus e Pastagem tiveram índices menores que 50, considerando a mesma escala, necessitando de significativos ajustes para o aumento da produtividade. Ao fazer a análise de um segundo cenário sem considerar a Matéria Orgânica (MO), critério considerado o mais importante pelo decisor, os índices apresentaram valores superiores a 50 para todas as culturas, comprovando que a estruturação do problema tem total influencia nos resultados. Portanto, conclui-se que a maior contribuição desta pesquisa, levando em consideração todos os aspectos metodológicos, é poder antecipar as etapas da degradação do solo, fornecendo dados para a tomada de decisão e possibilitando a implantação de políticas adequadas para promover o uso sustentado do solo, já que o processo sociotécnico MACBETH evidencia os critérios que podem ser potencializados ou evitados.

PALAVRAS-CHAVES: Índice, Sustentabilidade, Solos, Análise Multicritério

ABSTRACT

The Municipality of Araras/SP have long time been extensively involved in agriculture and intensive livestock production due to the relief, soil and climate conditions. The main environmental problem generated by these activities is soil degradation. This condition worries because it changes ecosystem structures and functions, leading to serious risks to soil management and imposing limits to its sustainability. The present work developed the Environmental Sustainability Index (ISA) using the MACBETH decision support method for five agricultural activities in the municipality of Araras/SP, based on physical-chemical characteristics of georeferenced soil samples analyzed in 2010. The purpose of this index is to make it clearer, collaborating to increase productivity and improve the environmental condition. The hypothesis raised is that the elaboration of the Environmental Sustainability Index (ISA) using the socio-technical process MACBETH provides detailed analysis of the scenario, providing relevant data to anticipate the stages of degradation, because it is a constructivist multicriteria approach that includes the social component and the technical aspects. The main difference of the MACBETH for the other multicriteria approaches is that this method uses the judgments of values (objective and subjective) of a decision maker (person with relevant information) in a specific context, weighing the criteria and evaluating the options in qualitative judgments, increasing the reliability of the results. The results from this research show that the indices for the crops of raw sugarcane, sugarcane burned and coffee have reasonable values, slightly above 50 on a scale of zero to 100 and therefore have potential for improvement if observed the management recommendations for each activity. However, Citrus and Pasture cultures had indices less than 50, considering the same scale, necessitating significant adjustments to increase productivity. When analyzing a second scenario without considering Organic Matter (OM), the criterion considered the most important criterion by the decision maker, the indexes presented values over 50 for all crops, proving that the structuring of the problem has a total influence on the results. Therefore, it is concluded that the greatest contribution of this research, taking into account all methodological aspects, is to be able to anticipate the stages of soil degradation, providing data for decision making and enabling the implementation of adequate policies to promote the sustainable use of the soil ground, since the socio-technical process MACBETH shows the criteria that can be potentiated or avoided.

KEYWORDS: Index, Sustainability, Soils, Multicriteria Analysis

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ARARAS	22
FIGURA 2. FASES DO PROCESSO MACBETH	30
FIGURA 3. ASPECTOS ENCONTRADOS NA ANÁLISE DO SOLO	37
FIGURA 4. MAPA COM OS CANDIDATOS A PVF	38
FIGURA 5. EXEMPLOS DE DESCRITORES DE IMPACTO	39
FIGURA 6. DETERMINAÇÃO DO PESO PELO MÉTODO SWING	39
FIGURA 7. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MÉTODO SWING	40
FIGURA 8. ÁRVORE DE CRITÉRIOS PARA AS CULTURAS DO ESTUDADAS	41
FIGURA 9. EXEMPLO DO NÍVEL DE PERFORMANCE NO M-MACBETH	42
FIGURA 10. EXEMPLO DE ESCALA CARDINAL GERADA PELOS JULGAMENTOS DO DECISOR ..	42
FIGURA 11. PONTUAÇÃO GERADA PELO SISTEMA PARA CANA-DE-AÇÚCAR CRUA.....	43
FIGURA 12. TERMÔMETRO GLOBAL PARA A CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR CRUA..	44
FIGURA 13. ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL ENCONTRADO	45
FIGURA 14. DESCRITORES DE IMPACTO PARA A CANA-DE-AÇÚCAR CRUA	46
FIGURA 15. DESCRITORES DE IMPACTO PARA A CANA-DE-AÇÚCAR QUEIMADA	47
FIGURA 16. DESCRITORES DE IMPACTO PARA O CAFÉ.....	48
FIGURA 17. DESCRITORES DE IMPACTO PARA O CITRUS	49
FIGURA 18. DESCRITORES DE IMPACTO PARA A PASTAGEM	50
FIGURA 19. ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL ENCONTRADO SEM MO.....	51
FIGURA 20. ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL (TÔSTO, 2010)	52

SUMÁRIO

RESUMO.....	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
SUMÁRIO.....	IX
INTRODUÇÃO.....	10
CAPÍTULO 1 – ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL (ISA)	13
1.1. DIFERENTES VISÕES PARA A CONSTRUÇÃO DE UM ISA.....	16
1.2. RELAÇÃO DO ISA COM O MÉTODO MACBETH.....	19
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS	22
2.1. APRESENTAÇÃO DA ÁREA E DADOS DE ESTUDO.....	22
2.2. O MÉTODO MACBETH.....	26
2.2.1. O PROCESSO SOCIOTÉCNICO MACBETH	30
2.2.2. CONCEITO DE INDEPENDÊNCIA ENTRE OS CRITÉRIOS.....	34
CAPÍTULO 3 – CONSTRUÇÃO DO ISA POR MEIO DO MACBETH.....	37
CAPÍTULO 4 – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	45
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXO 1 – DADOS TABULADOS DA ANÁLISE DO SOLO	62

INTRODUÇÃO

O clima, relevo e solo adequados à agricultura permitiram a ocupação de extensas áreas agrícolas em Araras/SP, modificando a cobertura vegetal natural do Município. A utilização de práticas agrícolas baseadas em uso intensivo de insumos com ampla mecanização e o excesso de desmatamento, inclusive, de áreas amparadas pela legislação ambiental, indicam a presença de sérios problemas ambientais. Estima-se que cerca de 50% das APPs (Área de Preservação Permanente) estão em grau avançado de degradação e o restante está ocupada por atividades agrícolas, sendo que a área destinada para Reserva Legal representa somente 5%, contrapondo o mínimo de 20% pela legislação ambiental (TÔSTO, 2010). Apesar disto, existem poucos registros de estudos sobre a sustentabilidade ambiental do uso das terras do Município.

O problema ambiental decorrente da intervenção humana origina vários objetivos conflitantes os quais devem ser tratados de forma coerente para não ocasionar mais prejuízos. Uma preocupação constante é com relação ao solo degradado originado pela atividade agropecuária, pois a expansão da área agricultável ou o aumento da produtividade das culturas resultam em alterações na estrutura e funções dos ecossistemas, acarretando sérios riscos à sua manutenção e impondo limitações à sua sustentabilidade.

É considerado solo degradado, segundo Lal & Stewart (1992), aquele que sofreu modificação em sua natureza (física, química ou biológica) causada por fatores naturais ou em decorrência de ação antrópica. A degradação provoca a diminuição da capacidade produtiva. Nos solos agrícolas, tal degradação pode ser provocada pela ação erosiva ou uso indevido. Se não houver a reposição dos nutrientes, estes solos passam a apresentar atributos físicos, químicos ou biológicos impróprios à agricultura. Assim, o reflorestamento de solos degradados e a sustentabilidade das espécies florestais dependem da reparação do nível de fertilidade do solo, sendo este fator fundamental para a recomposição do ecossistema.

A manutenção da capacidade produtiva dos solos está ligada ao teor de matéria orgânica, sendo responsável pelo aporte de energia e nutrientes ao sistema (ADAMS & ATTIWILL, 1986; SWIFT & WOOMER, 1993); melhoria das condições físicas, preservação do efeito tampão e enriquecimento de nutrientes à biota em geral (ANIÉTOT, 1983), o aumento da capacidade de troca catiônica (RAIJ, 1969; BEER, 1988), utilização de práticas conservacionistas como o plantio direto (TÔSTO, 2010), entre outros.

Historicamente, o meio ambiente tornou-se uma preocupação mundial a partir dos anos 70, quando, em meio à crise econômica, percebeu-se o elevado risco de esgotamento dos recursos naturais. O estudo “Limites de Crescimento” desenvolvido por Meadows et al. (1972)

e debatido pelo Clube de Roma, apresentou um cenário propício ao esgotamento dos recursos naturais, resultando em limitações ao crescimento econômico. A partir da realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano em Estocolmo no ano de 72, difundiu-se a abordagem ecodesenvolvimento, porém, estudos de maior importância ocorreram a partir de 80.

Com o passar do tempo, houve uma tendência em avaliar sistemas ecológicos e econômicos utilizando apenas a abordagem custo-benefício, ou seja, comparando os custos da atividade com os benefícios a serem gerados, mas Phillips (1984) acredita que esta abordagem precisa ser ampliada para ser mais completa, pois frequentemente aparecem outros critérios como ambientais, sociais e econômicos. Isto porque o sistema econômico, segundo Mueller (2007), é considerado com um organismo vivo e complexo que não atua de forma independente do sistema natural que lhe sustenta. O sistema econômico extrai recursos naturais (componentes estruturais do capital natural) e devolve resíduos, provocando impactos conhecidos como externalidades negativas (poluição). Devido a interação do sistema econômico com o meio ambiente ser, em geral, traumática, “existe a necessidade de ter medições disponíveis e sistematizadas que sejam capazes de transmitir informações sobre o grau de impacto do sistema econômico sobre o meio ambiente, bem como a qualidade deste últimos frente a estes impactos” (TÔSTO, 2010).

A Rio-92 confirmou a necessidade de se integrar meio ambiente e desenvolvimento para a formulação de política, sendo que a obtenção de dados ambientais confiáveis para estabelecer prioridades, construir política e avaliar de resultados por parte do governo e da sociedade civil tornou-se muito relevante. Portanto, a qualidade de informações ambientais e socioeconômicas disponíveis entraram em pauta para o desenvolvimento da política adequada. A ideia era definir padrões sustentáveis de desenvolvimento que incluíssem aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais, entre outros. Para isto, tornou-se necessário elaborar indicadores e índices que mensurassem e avaliassem o sistema em estudo, considerando todos estes aspectos. O propósito de desenvolver indicadores para avaliar a sustentabilidade está registrado na Rio-92, no “Capítulo 40 - informação para tomada de decisões” da Agenda 21 (MMA, 2016).

Portanto, um Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) pode medir, por exemplo, o estresse exercido pela intervenção antrópica (urbanização e principais atividades econômicas) sobre o sistema ambiental local, com atenção para seu potencial poluidor, ritmo de crescimento e concentração espacial.

Com isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um Índice de Sustentabilidade Ambiental para cinco atividades agropecuárias de Araras-SP, por meio do método MACBETH de apoio à decisão, utilizando dados de física e química dos solos do Município.

A hipótese levantada é que a elaboração de Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) utilizando o processo sociotécnico MACBETH proporciona análise detalhada do cenário, fornecendo dados relevantes que permitem antecipar as etapas da degradação, pois ele é uma abordagem multicritério construtivista que engloba a componente social e a técnica e evidencia os critérios em estudo que podem ser potencializados ou evitados. Ao ponderar os critérios e avaliar as opções em julgamentos qualitativos sobre a diferença de atratividade (cardinalidade) com rigor científico, ele aumenta a confiabilidade dos resultados e contribui com dados importantes para a melhora da condição ambiental e do aumento sustentado do uso do solo.

Esta dissertação é composta por 5 Capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma revisão bibliográfica sobre Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) com destaque para as diferentes interpretações sobre os termos índices e indicadores e a sua relação com o método MACBETH, o Capítulo 2 descreve os Materiais e Métodos utilizados, o Capítulo 3 detalha a construção do ISA por meio do MACBETH e o Capítulo 4 faz a discussão dos resultados e a análise de um segundo cenário, sem a utilização da Matéria Orgânica (MO), critério considerado o mais importante pelo decisor. As considerações finais e recomendações compõem o Capítulo 5.

CAPÍTULO 1 – ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL (ISA)

Antes de iniciar a construção de um Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA), objeto de estudo deste trabalho, é necessário compreender melhor a diferença entre índices e indicadores num sentido mais amplo. As definições e a terminologia associada a essa área ainda são confusas. Índice e indicador são, muitas vezes, considerados sinônimos.

Superficialmente, índice e indicador possuem o mesmo significado. Para pesquisadores como Siche et al. (2007), a diferença está em que um índice é o valor agregado final de todo um procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem.

Para Jannuzzi (2004), os índices são desenvolvidos pela agregação de dois ou mais indicadores simples, referidos a uma mesma ou diferente dimensão da realidade. Segundo Shields et al. (2002), um índice representa o estado de um sistema ou fenômeno. Prabhu et al. (1999) afirmam que um índice pode ser desenvolvido para analisar dados através da junção de um jogo de elementos com relacionamentos estabelecidos. Considera-se, ainda, que um índice é simplesmente um indicador de alta categoria (KHANNA, 2000).

Para Hammond et al. (1995), o termo indicador origina do latim *indicare* que significa anunciar, tornar público, estimar. Os autores afirmam que os indicadores podem comunicar ou informar sobre o progresso em direção a uma determinada meta, mas também podem ser entendidos como um recurso que deixa mais perceptível uma tendência ou fenômeno que não seja imediatamente detectável.

A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OECD (1993) argumenta que um indicador é um parâmetro ou valor derivado de parâmetros que fornecem informações sobre o estado de um fenômeno com uma extensão significativa.

Segundo Adriaanse (1993), os indicadores têm como objetivo simplificar, quantificar, analisar e comunicar e, por meio deles, os fenômenos complexos são quantificáveis e tornados compreensíveis por vários segmentos da sociedade.

Chevalier et al. (1992) e Gallopín (1996) relacionam um indicador como uma variável sendo esta uma representação operacional de um atributo (qualidade, característica, propriedade) de um sistema sendo que qualquer variável qualquer indicador descritivo ou normativo tem um significado próprio. Para ser representativo, o indicador tem que ser considerado importante pelos tomadores de decisão e pelo público (GALLOPÍN, 1996).

Bakkes et al. (1994) considera que um indicador deve apresentar propriedades como relevância prática e política, solidez analítica e mensurabilidade e devem ainda,

necessariamente, ser a representatividade de um fenômeno mais amplo e ter a comparabilidade com um objetivo específico ou valor de referência. Os indicadores devem ser construídos de forma a sintetizar uma grande quantidade de informações a uma única medida que contenha os significados essenciais para as questões levantadas na ocasião do estudo.

Este trabalho utiliza as definições sugeridas por Siche et al. (2007) que consideram o termo índice como um valor numérico que descreve a correta interpretação da realidade de um sistema simples ou complexo (natural, econômico ou social), utilizando bases científicas e métodos adequados para o seu cálculo. Eles argumentam que o índice pode auxiliar na tomada de decisão e é considerado um nível superior da junção de um jogo de indicadores ou variáveis. Para estes autores, o termo indicador é um parâmetro selecionado que serve para refletir sobre as condições do sistema em análise e pode ser considerado isoladamente ou em combinação com outros, sendo que um indicador é usado como um pré-tratamento aos dados originais.

Com estas considerações, nesta pesquisa os índices ambientais serão tratados com maior detalhe. Estes, segundo Gutiérrez-Espeleta (1998), podem ser criados em medidas físicas, químicas ou biológicas associadas com os aspectos ambientais de fatores socioeconômicos. Eles são ferramentas para a comunicação de informações sintéticas sobre o estado do meio ambiente aos formuladores de política e ao público e provém bases sólidas para a tomada de decisão em todos os níveis, contribuindo para melhorar a interação entre sistema econômico e meio ambiente.

Atualmente, existem três vertentes principais para a construção de índices ambientais e de sustentabilidade: a biocêntrica que consiste na busca por indicadores biológicos, físico-químicos ou energéticos de equilíbrio ecológico de ecossistemas; a econômica que faz avaliações monetárias do capital natural e do uso de recursos naturais e a que busca construir índices de sustentabilidade e qualidade ambiental que combinem aspectos do ecossistema natural com aspectos do sistema econômico e da qualidade de vida humana, sendo, em alguns casos, considerados aspectos dos sistemas político, cultural e institucional.

Os índices ambientais existentes são modelos de interação atividade antrópica com o meio ambiente que podem ser classificados, basicamente, em estado, pressão e resposta: os de estado descrevem a situação presente física ou biológica dos sistemas naturais, os de pressão tentam avaliar as pressões exercidas pelas atividades antrópicas sobre os sistemas naturais e os de resposta referem-se a qualidade das políticas e acordos formulados para minimizar os impactos antrópicos (HERCULANO, 1998; ISLA, 1998; ESI, 2002).

Os índices ambientais representam um modelo da realidade, mas não são a própria realidade. Segundo Hardi e Barg (1997), eles são sinais referentes a eventos e sistemas

complexos e devem ser analiticamente legítimos e construídos dentro de uma metodologia coerente de mensuração. São pedaços de informação que indicam as características dos sistemas, destacando o que está acontecendo. Seu objetivo é agregar e quantificar informações, tornando seu significado mais aparente.

Existem, basicamente, dois tipos de índice ambiental: retrospectivos e prospectivos. Os retrospectivos descrevem a implementação de políticas, avaliando seus resultados e impactos e os prospectivos apresentam previsões acerca do futuro e são utilizados na fase de planejamento da política. Segundo Bakkes et al. (1994), o mais relevante é conhecer em qual fase da política (planejamento, implementação, avaliação) ele deve ser apresentado.

Com relação a finalidade dos índices ambientais, a OECD divide os mesmos em três categorias: mensuração da performance ambiental; integração de preocupações ambientais às políticas setoriais e integração das questões ambientais no âmbito das políticas econômicas. Bakkes et al. (1994) sugere os índices ambientais podem ser classificados pelo seu uso, incluindo os objetivos de advertência prévia, desenvolvimento científico ou construção de política, pelo seu “tópico”, pois, em geral, eles descrevem um item do meio ambiente (elemento natural, poluição, etc.) e em função de sua posição dentro de uma cadeia de causalidade (indicadores de *stress* ambiental, indicadores de qualidade ambiental e indicadores de resposta).

Tunstall (1992) defende que os índices ambientais devem ser usados para avaliar condições e tendências, comparar lugares e situações, avaliar condições e tendências em relação às metas e aos objetivos, prever e projetar tendências futuras e fornecer informações prévias em caráter de advertência.

Com relação aos índices de sustentabilidade, estes possuem informações relativas às diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável (econômica, social, ambiental e institucional). É importante salientar que o conceito de sustentabilidade foi introduzido no encontro internacional The World Conservation Strategy (IUCN et al., 1980) e passou a ser empregado com maior frequência para embasar uma nova forma de desenvolvimento. O estudo realizado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente das Nações Unidas, conhecido como Relatório Brundtland, definiu sustentabilidade como sendo “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações em satisfazer suas necessidades” (WECD, 1987).

Atualmente, a palavra sustentabilidade é usada em muitas combinações diferentes: desenvolvimento sustentável; crescimento sustentável; comunidade sustentável; indústria sustentável; economia sustentável; agricultura sustentável; etc. Sustentabilidade vem do latim “sustentare” que significa sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir.

Dessa forma, sustentável é tudo aquilo que é capaz de ser suportado, mantido (SICHE et al., 2007). Portanto, o aspecto holístico da sustentabilidade é uma das grandes dificuldades para sua conceituação e a definição de seu escopo. O meio ambiente é um conjunto de interações no qual o homem tem papel fundamental. Refletir essa interação através de sistemas de indicadores torna-se uma tarefa complexa. Por consequência, é difícil encontrar índices que vislumbrem a complexidade do tema e sejam de fácil entendimento (BESSERMAN, 2003).

Uma das mais importantes contribuições ao uso de indicadores de sustentabilidade foi dada por Rees (1992) com o desenvolvimento da “Pegada Ecológica” ou EF (do inglês Ecological Footprint). A metodologia procurou construir uma matriz de consumo/uso de terra incluindo cinco categorias principais do consumo (alimento, moradia, transporte, bens de consumo e serviços) e seis categorias principais do uso da terra (energia da terra, ambiente (degradado) construído, jardins, terra fértil, pasto e floresta sob controle) visando estimar a área de terra necessária para a produção e a manutenção de bens e serviços consumidos por uma determinada comunidade (WACKERNAGEL; REES, 1996).

Os índices gerais de sustentabilidade mais conhecidos são o Dashboard of Sustainability (Painel de Controle de Sustentabilidade) e o Environmental Sustainability Index (Índice de Sustentabilidade Ambiental). A cada ano, eles sofrem alterações com o objetivo de refletir melhor os aspectos que envolvem a construção de um desenvolvimento baseado na qualidade de vida do homem e do meio ambiente (COLUMBIA UNIVERSITY; YALE UNIVERSITY, 2005)

1.1. DIFERENTES VISÕES PARA A CONSTRUÇÃO DE UM ISA

Quando se fala de índices de sustentabilidade ambiental, a discussão está no início, pois não há uma fórmula para verificar o que é sustentável ou não até este momento. Autores como Camino e Muller (1993) e Romeiro (2004) argumentam que um índice de sustentabilidade deve fazer referência aos elementos relativos a sustentabilidade de um sistema e explicitar seus objetivos, sua base conceitual e seu público usuário.

Devido a complexidade, os problemas do desenvolvimento sustentável requerem sistemas interligados, indicadores inter-relacionados ou a agregação de diferentes indicadores e, por isso, a agregação dos dados na formulação dos índices é um aspecto muito discutido.

Para o desenvolvimento de índices ambientais, Bossel (2001) afirma que um aspecto importante é a busca de indicadores adequados que agrupem informações vitais num conjunto compacto de sinais confiáveis para a gestão. Tais indicadores precisam verificar a

viabilidade de um sistema, sua performance e sustentabilidade, visando o desenvolvimento sustentável em todos os níveis. Ele propõe um método para a construção de indicadores focado em sistemas que descrevam o comportamento individual e a contribuição de cada subsistema para com outro sistema, incluindo um sistema participativo. Esta ideia refere-se ao fato que uma complexa rede de sistemas que se comunicam pode ser reduzida numa rede de sistemas individuais, cada um deles determinando sua própria trajetória e atingindo um ou mais sistemas.

Pela ótica da construção de índices pelo processo participativo, Reed et al. (2005) afirmam que vincular indicadores a visões e a objetivos comunitários pode tornar a própria comunidade mais ativa no processo de desenvolvimento e aplicação de indicadores. Os autores comentam que a abordagem apresentada em Bossel (2001) concentra as abordagens reducionistas e participativa para construção de indicadores com foco no desenvolvimento sustentável. A abordagem reducionista admite a necessidade de indicadores que quantifiquem as complexidades envolvidas na dinâmica dos sistemas, mas não enfatiza a variabilidade complexa das perspectivas dos usuários de recursos. A abordagem participativa enfatiza a necessidade do entendimento do contexto local e questiona a maneira com a qual os *experts* estabelecem objetivos e prioridades.

Gallopín (1996) argumenta que, na avaliação de programas de desenvolvimento sustentável, os indicadores devem ser selecionados em diferentes níveis hierárquicos de percepção. Diferentes tipos de indicadores podem ser relevantes em diferentes escalas e, para o autor, eles podem perder o seu sentido quando utilizados em escalas não apropriadas. Algumas vezes, os indicadores devem ser desenvolvidos a partir da agregação de dados ou variáveis de nível mais baixo.

Outro aspecto na construção dos índices relacionados a sustentabilidade refere-se ao tempo. Para Dahl (1997), os índices podem ser escalares ou vetoriais. Vetor é um número de indicadores apresentado simultaneamente, mas não agregado, que descrevem as condições ambientais, sendo que um vetor consiste na generalização da variável. Por outro lado, um índice escalar é um simples número gerado da agregação de dois ou mais valores. Os defensores das medidas vetoriais argumentam que a complexidade do sistema pode ser melhor percebida a partir das medidas vetoriais e os estudiosos dos índices escalares defendem que a simplificação é uma das maiores vantagens deste método.

De maneira geral, os índices agregados são um aperfeiçoamento, contudo o processo de transformar dados em índices agregados pode conter problemas de ordem estrutural, por exemplo, dando margem a diferentes interpretações. Um único indicador passa a informação de maneira fácil, contribuindo para sua internalização pela população. No entanto,

uma das críticas mais recorrentes feitas o uso de indicadores é que eles simplificam a realidade e não abrem possibilidades para analisar qual fator está mais precário. No entanto, Bossel (1999) e Van Bellen (2005) acreditam que indicadores com um certo nível de agregação são imprescindíveis para a sustentabilidade.

Em resumo, a literatura apresenta diferentes parâmetros para avaliar o desempenho de sistemas ambientais, os chamados “indicadores”. No entanto, existem dificuldades em agregá-los em um único parâmetro apropriado (índice) que mostre uma situação em números e aponte o sentido da sustentabilidade local ao tomador de decisão (VIEIRA; STUDART, 2009).

Um dos aspectos críticos de um índice de sustentabilidade é a metodologia adotada para sua determinação, leitura e interpretação. Independente da escolha, esta não deve deixar dúvidas sobre quais os princípios que estão na base do processo. Outro aspecto importante é que a sustentabilidade é determinada por um conjunto de fatores (econômicos, sociais e ambientais) e todos devem ser contemplados no cálculo do índice de sustentabilidade através dos correspondentes indicadores (BOUNI, 1996).

Ao discutir sustentabilidade e seus índices, é importante salientar que os julgamentos de valor estão sempre presentes nos sistemas de avaliação, nos diferentes níveis e dimensões existentes. Dentro do contexto do desenvolvimento sustentável eles podem ser implícitos ou explícitos. Os explícitos são aqueles tomados conscientemente e compreendem uma parte fundamental do processo de criação de indicadores. Já os de valor implícito provem de aspectos que não são facilmente observáveis, inconscientes e/ou relacionados a características pessoais e de uma determinada sociedade. É difícil mensurar a influência dos fatores implícitos, mas ela afeta o processo de criação dos indicadores.

Gallopín (1996) sugere que a participação em sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável é essencial. Ela constitui elemento fundamental e requerido na utilização de sistemas de indicadores, tanto nas políticas públicas quanto na sociedade civil, reforçando a legitimidade dos próprios sistemas, a construção do conhecimento e a tomada de consciência sobre a realidade ambiental. Portanto, a construção de indicadores de sustentabilidade depende da percepção das pessoas envolvidas no processo de construí-lo. Esta construção pode ser inadequada, dada as limitações do ser humano em tratar sistemas complexos como os sistemas sociológicos agrícolas, por exemplo (FORRESTER, 1968) e podem contribuir para decisões indesejadas como o descrito por Bell e Morse (2008).

Moldan e Bilharz (1997) abordam a importância dos índices a partir das fases do ciclo de tomada de decisão: identificação do problema, crescimento da consciência, formulação de política, implementação de política e avaliação.

Portanto, independente das diferentes interpretações do desenvolvimento sustentável, um consenso deve ser alcançado e isto deve levar a um grupo de prioridades, objetivos e sugestões de política. Isto reforça a necessidade que os índices de sustentabilidade precisam ser holísticos, incluindo múltiplos aspectos. Estas ideias corroboram com as premissas da análise multicritério.

A análise multicritério tem sua origem na análise de decisão, que surgiu da teoria da decisão na década de 60. Com o crescimento da Pesquisa Operacional (*Operations Research* - OR) na década de 70, os pesquisadores matemáticos usaram avançadas técnicas para obter soluções analíticas, passando de análise elementar dos problemas complexos e mal-estruturados para análise avançada de problemas bem-estruturados (RAIFFA, 2007). O marco teórico da metodologia multicritério foi o estudo de Keeney e Raiffa (1976) e, posteriormente, o de Roy (1986). Foi a partir do estudo de Keeney e Raiffa (1976) que a análise de decisão incorporou múltiplos critérios e passou a ser chamada de análise multicritério de decisão. A contribuição de Roy (1986) e de outros pesquisadores na década de 80, consolidou um corpo teórico prático para a construção de um procedimento analítico que incluísse a participação dos decisores, ou seja, das pessoas que são conhecedoras do problema em questão. Dessa forma, foram criadas as bases dos métodos multicritérios de apoio à decisão construtivista.

1.2. RELAÇÃO DO ISA COM O MÉTODO MACBETH

A elaboração de Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) pelo método sociotécnico MACBETH de apoio à decisão contribui para a análise mais estruturada do cenário porque utiliza os julgamentos de valores (objetivos e subjetivos) de um decisor (pessoa com informações relevantes) dentro de um contexto específico, ponderando os critérios e avaliando as opções em julgamentos qualitativos sobre a diferença de atratividade (cardinalidade), aumentando a confiabilidade dos resultados. É uma abordagem construtivista que engloba a componente social e a técnica.

O processo sociotécnico MACBETH permite, entre outras coisas, a estruturação do problema com a identificação dos pontos de vistas fundamentais (PFV), ou seja, os critérios que entrarão na composição do ISA. Os valores objetivos e subjetivos identificados relativos ao problema de decisão serão agrupados em temas que o decisor julgar relevante para a tomada de decisão. Cada tema é considerado um candidato a um objetivo fundamental (ou ponto de vista fundamental - PVF) o qual poderá ou não fazer parte da fase da avaliação.

Para cada ponto de vista fundamental serão criados descritores apropriados a fim de mensurar o impacto que cada alternativa exercerá sobre cada objetivo. Portanto, para o método MACBETH, mesmo que um indicador tenha sido construído de forma apropriada, ele só poderá fazer parte do processo da construção do ISA se for considerado um ponto de vista fundamental pelo decisor e atender os demais requisitos do processo. O método Macbeth está descrito com detalhe no Capítulo 3. Antes, porém, é importante conhecer o surgimento da análise de decisão que serviu de base para a construção deste método.

O termo análise de decisão (*Decision Analysis*) foi proposto, inicialmente, por Ronald A. Howard em 1966. A análise de decisão visa aplicar o conhecimento da teoria da decisão na solução de problemas reais e ela pode utilizar diferentes modelos, dependendo da natureza e tipo do problema (incertezas, objetivos conflitantes, entre outros). Segundo Howard (2007), a análise de decisão se baseia na análise de sistemas, teoria da decisão, probabilidade epidêmica e psicologia cognitiva.

Keeney (1992) afirma que os fundamentos da análise de decisão incluem a combinação da utilidade e da probabilidade subjetiva. Ramsey (1931) foi o primeiro a sugerir uma teoria da tomada de decisões com base nessas duas ideias sendo que dois séculos antes, em 1738, Bernoulli já havia escrito um artigo sobre a motivação para o conceito de utilidade e de uma forma possível para uma função de utilidade. Considerando a incerteza, De Finetti (1937) contribuiu para a estrutura de probabilidade subjetiva (KEENEY, 1992).

Baseado na teoria da análise de decisão, pode-se pensar uma decisão como uma escolha entre as alternativas que irão produzir futuros incertos para a qual existem preferências, já que as decisões não são encontradas na natureza, elas são criações da mente humana (HOWARD, 2007). A análise de decisão considera, explicitamente, a incerteza sobre os valores dos critérios. Posteriormente, monta-se uma árvore de decisão, considerando os níveis dos atributos selecionados como variáveis aleatórias nos quais estão associadas distribuições de probabilidades a cada nível. Por fim, faz-se o cálculo da utilidade esperada, isto é, a ponderação das probabilidades para cada nível.

Keeney e Raiffa (1976) aplicaram os conceitos da teoria da utilidade para analisar problemas envolvendo múltiplos objetivos, sendo que cada alternativa seria descrita por um conjunto de critérios e estaria associada a uma medida de valor, permitindo ordenar as preferências entre as alternativas.

Em vários casos, segundo Keeney e von Winterfeldt (2007), os modelos de valores envolvem múltiplos objetivos conflitantes. Eles criaram um modelo de valor chamado “modelo de valor prático” com o objetivo de criar um modelo de valor prático para resolver um problema

de decisão específico. Argumentam que o analista, ao encontrar um problema de decisão, precisa saber qual modelo precisa construir e para isto, eles acreditam que é preciso supor que tenha um conjunto de alternativas identificadas; que tenha sido identificado um conjunto de objetivos fundamentais e que tenha sido definido um critério apropriado para cada objetivo fundamental a fim de mensurar o impacto que cada alternativa exercerá sobre cada objetivo.

Segundo Keeney e von Winterfeldt (2007), a escolha por uma função de utilidade ou uma função de valor depende das características do problema. A função de utilidade é mais apropriada para o problema gerido por incertezas e a função de valor é mais usada quando o problema envolve a ponderação entre múltiplos objetivos e as incertezas não são tão relevantes.

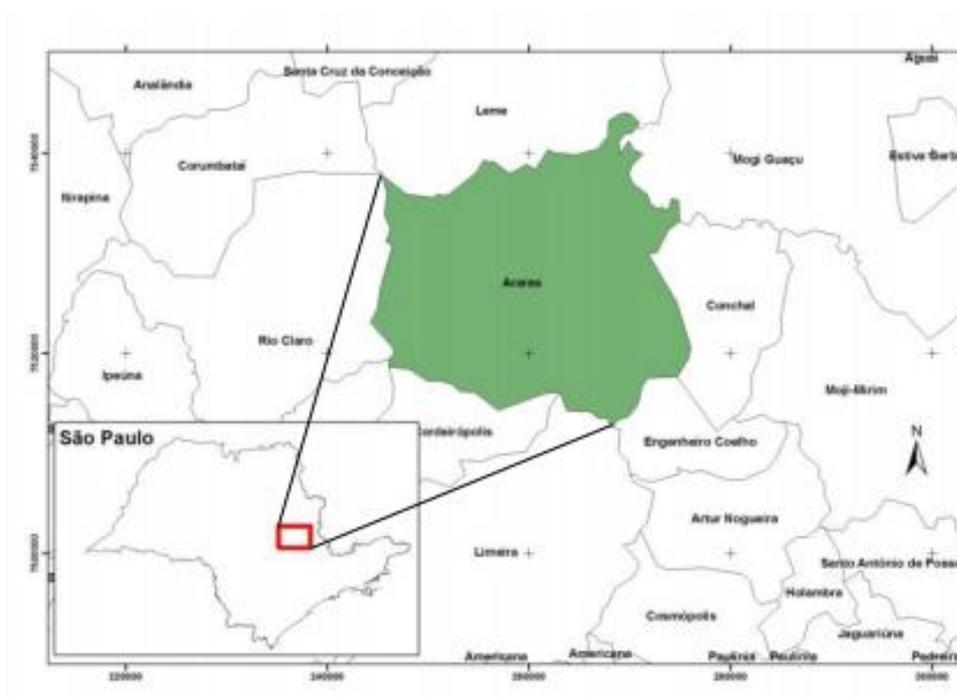
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a área de estudo e detalha o método MACBETH.

2.1. APRESENTAÇÃO DA ÁREA E DADOS DE ESTUDO

O Município de Araras/SP ocupa uma área de 64.341,60ha e localiza-se entre as longitudes de 47º15' e 47º30' a oeste de Greenwich e as latitudes de 22º10' e 22º30' no hemisfério Sul, a 174 km da capital do Estado de São Paulo (Figura 1).

Figura 1. Localização do Município de Araras



FONTE: TÔSTO (2010)

A sua ocupação iniciou-se no século XIX com o estabelecimento da cultura do café, devido a alta fertilidade natural das terras. Com o ciclo do café, italianos, portugueses, suíços e alemães se incorporaram à vida econômica. Apesar da importância da cafeicultura para a época, houve uma substituição gradual da sua exploração por cana-de-açúcar, fruticultura e pecuária.

Na década de 70, uma malha urbana contígua à metrópole e no sentido dos grandes eixos rodoviários beneficiou a região devido ao movimento de desconcentração das atividades econômicas e industriais. As políticas públicas implantadas neste período, especialmente o Programa Nacional do Alcool, ajudaram na definição dos contornos da paisagem, pois haviam

incentivos oferecidos à produção da cana-de-açúcar e ao fomento econômico de toda a sua cadeia produtiva.

Araras/SP é formada por morros arredondados classificados como colinas onduladas planas ou terrenos de ondulados a planos e possui drenagens dendríticas e lagoas interligadas com várias outras drenagens os quais perfazem o conjunto hidrológico do Município. Geologicamente, a área contém rochas sedimentares como arenitos (Formação Palermo), argilitos (Formação Corumbataí), argilitos, siltitos e calcários (Formação Iratí) e rochas basálticas (Formação Serra Geral). As idades destes sedimentos remontam ao Carbonífero Superior e vão até o Cretáceo Médio (MAGINI et al., 2003).

Seu clima é do tipo Cwa (mesotérmico com verões quentes e estação seca de inverno) pela classificação de Köppen, apresentando temperatura média anual de 21,4°C e precipitação anual em torno de 1.400 mm (ANGELOCCI et al., 2002).

Segundo Quintas et al. (2007), o Município tem 70% da água usada no abastecimento urbano proveniente da microbacias Ribeirão das Araras, localizada no norte do Município tendo a Barragem Tambury como seu principal reservatório e da microbacia do Ribeirão de Furnas, contendo os mananciais que abastecem a Barragem Hermínio Ometto. A rede de drenagem do município é composta, basicamente, pelos Córrego Barbosa, Ribeirão Ferraz, Ribeirão do cerrado e Rio das Araras e faz parte da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio Pardo pertencente à bacia do Alto Paraná.

Oliveira et. al. (apud TOSTO, 2010, p. 22) que realizou o estudo pedológico do Município de Araras/SP, classifica os solos da seguinte forma:

- a) Os latossolos são solos minerais não-hidromórficos, contendo minerais primários pouco resistentes ao intemperismo, com predominância de minerais do tipo 1:1 (caulita) na fração argila, em mistura com óxidos de alumínio e/ou de ferro.
- b) Latossolos roxos são originários de materiais provenientes do intemperismo de rochas básicas, constituídos no município por basalto e diabásio. Devido à presença de ilmenita, esses solos apresentam teores relativamente altos de dióxido de titânio (TiO_2), em geral, superiores, sendo também comum o manganês. Em decorrência do alto teor de magnetita, apresentam, quando secos e pulverizados, forte atração pelo ímã.
- c) Latossolos vermelho-escuros podem ter a sua cor idêntica à dos latossolos roxos, dificultando bastante a identificação no campo, já que podem ocorrer em condições fisiográficas semelhantes. Nesses casos, o uso de ímã pode auxiliar na identificação, pois a menor quantidade de magnetita existente nos latossolos vermelho-escuros se

reflete na menor quantidade de material que se adere. Os latossolos vermelho-escuros de textura argilosa são provenientes de intemperismo e retrabalhamento de sedimentos finos: argilitos e siltitos, com variada contribuição de rochas básicas. Esses materiais de cobertura estão representados por espessos mantos detríticos de vários metros de espessura, identificáveis como tal pelas frequentes linhas de seixos observáveis nos cortes mais profundos de estrada ou nas posições de meia encosta. Esses solos são, portanto, na maioria muito profundos.

- d) Latossolos vermelho-amarelos apresentam no horizonte B2 cores mais amareladas do que 3,5YR e relação valor/croma superior a 4/4. A saturação em alumínio dos solos existentes no território tem valor superior a 50%, fato que faz com que estes solos sejam álicos. Possuem baixo valor de pH, ou seja, são solos ácidos.
- e) Podzólicos vermelho-amarelos compreende solos com horizonte B textural, não hidromórficos, com individualização distinta de horizontes, decorrentes de acentuada diferença de textura, de cor e de estrutura, tendo sequência de horizonte A, Bt e C normalmente com transições claras ou abruptas do horizonte A para o Bt. São moderadamente profundos a profundos, com cores desde vermelho até amarelo no horizonte Bt. Apresentam gradiente textural alto.
- f) Solos glei são uma classe de alto nível categórico, cuja característica mais importante é a presença de horizonte glei a menos de 80 cm de profundidade. Esse horizonte, resultante de marcante processo de redução, decorrente de um regime hídrico áquico, apresenta cores neutras com ou sem mosqueamento proeminente distinto. Excluem-se dessa conceituação os vertissolos, os solos com horizonte B textural e as areias quartzosas hidromórficas.
- g) Solos litólicos têm como principal característica a pequena espessura do *solum*, inferior a 40 cm. Esses solos apresentam horizonte A fraco, moderado, proeminente ou chernozêmico assente diretamente sobre a rocha (A, R), sobre horizonte C de pequena espessura (A, C, R), ou horizonte B incipiente de apenas poucos centímetros (A, B, C, R). Apresentam teores relativamente altos de minerais primários menos resistentes ao intemperismo e de alta capacidade de troca de cátions da fração de argila. A textura é bastante variada e está estreitamente relacionada com a natureza do substrato. Os solos derivados de basalto e de argilitos são argilosos com significativa porcentagem de limo, enquanto os provenientes de siltitos apresentam textura barrenta e os originários do arenito apresentam uma textura arenosa.

- h) Terra roxa estruturada é originária de rochas básicas, apresenta presença de horizonte B textural argiloso ou muito argiloso; teores totais de Fe_2O_3 e TiO_2 relativamente elevados ao longo do perfil; capacidade de troca de cátions do horizonte $\text{B}_2 \leq 24$ e.mg/100g de argila após correção para carbono; cor mais vermelha que 3,5YR com relação valor/croma igual ou inferior a 3,5/5 no horizonte B_2 ; baixa relação textural; textura argilosa ou muito argilosa ao longo do perfil, podendo haver diminuição de argila no horizonte B_3 com correspondente acréscimo de limo; cerosidade comum e moderada ou mais destacada. Ocorre em relevo um pouco mais movimentado, ocupando, na paisagem, o terço médio ou inferior das vertentes, quando o declive se torna ligeiramente mais íngreme (7-10%).

O conhecimento do uso e cobertura das terras é essencial para a gestão territorial adequada, visando a sustentabilidade do agronegócio e a preservação ambiental. Os dados para a presente projeto faz parte da pesquisa realizada por Valladares et al. (2007), utilizados e cedidos por Tôsto (2010).

Segundo o mapeamento do uso e cobertura das terras em Araras/SP realizada em 2007 com base em imagem do satélite CBERS na escala 1:50.000 (VALLADARES et al., 2007), o Município apresenta uma grande zona denominada agropecuária, ocupando cerca de 77% do território total. Entre as seis classes de uso que compõem essa zona, a cana-de-açúcar foi a que apresentou a maior área ocupada (53% da área do Município) seguido pela fruticultura (18,6% da área total), representada em grande parte pela exploração comercial da citricultura. As outras classes desta zona são ocupadas por 2,3% de cultura anual (milho, mandioca, feijão e soja, principalmente), 2,1% de pastagem, 0,8% de uso misto (chácaras, com cultivos diversos) e 0,6% pela cafeicultura.

Foi realizada a verificação em campo utilizado um GPS para detalhar o mapa de uso e cobertura das terras. A área de estudo foi intensamente percorrida e mapeada, tendo as visitas de campo realizadas na maior parte do Município. Foi calculado o índice Kappa para verificação da acurácia conforme metodologia descrita por Lobão et al. (2007). Elementos como tonalidade, cor, textura, tamanho, sombra, altura, padrão e localização foram interpretados e digitalizados (SOARES; ZONTA, 1999).

2.2. O MÉTODO MACBETH

O método MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) de Bana e Costa e Vansnick (1997; 1999) é uma abordagem interativa de metodologia de apoio multicritério à decisão (MDCA) que tem como objetivo auxiliar na identificação/estruturação do problema e na construção das opções para a gestão de problemas complexos. Esta abordagem ajuda a descobrir qual é o problema, quais foram as causas do problema e se problema imediato era sintomático de um problema de longo prazo e serve também para identificar as partes interessadas e a extensão de seu poder e interesse pelo problema, para identificar as principais incertezas e para estabelecer os valores importantes considerando múltiplos critérios. Ela baseia a ponderação dos critérios e a avaliação das opções em julgamentos qualitativos sobre diferenças de atratividade.

De acordo com Belton e Stewart (2002), a análise multicritério representa modelos de medição de valor em que pontuações numéricas são construídas a fim de representar o grau ao qual uma opção de decisão pode ser preferida a outra. Tais resultados são desenvolvidos inicialmente para cada critério, e, em seguida, são sintetizados de modo a efetuar a agregação em níveis preferências.

Vincke (1992) afirma que a decisão multicritério ocorre quando avaliamos um conjunto de alternativas em uma família de critérios, desejando determinar um conjunto de ações que são consideradas as melhores para resolver determinado problema, dividir o conjunto em subconjuntos que atendam a normas preestabelecidas e ordenar as alternativas de forma crescente ou decrescente, considerando sua capacidade de solucionar determinado problema.

Para Bana e Costa (1993), após um intenso debate sobre o tema, surgiram três convicções fundamentais que guiam a prática do apoio multicritério à decisão:

1. A convicção da relação intrínseca e inseparável de elementos de natureza objetiva e subjetiva. O processo de decisão é um sistema de relações entre elementos de natureza objetiva (ligados às ações) e elementos de natureza subjetiva (ligado aos valores dos atores envolvidos). Portanto, a objetividade e subjetividade devem ser analisadas conjuntamente no processo de decisão e é este é o diferencial da abordagem MCDA das demais metodologias tradicionais que veem a decisão somente como um objeto técnico.
2. A convicção do construtivismo. Busca-se junto com os atores envolvidos construir um modelo que permita avançar no processo de apoio à decisão de maneira coerente com os objetivos e valores dos decisores.

3. A convicção da participação e aprendizagem. Os modelos de avaliação são construídos gradualmente, usando uma linguagem comum aos atores envolvidos (*stakeholders*) e ferramentas analíticas simples, resultando num processo interativo compartilhado por todos os atores envolvidos.

A MCDA, diferentemente dos métodos “monocritérios” da pesquisa operacional tradicional, busca incorporar múltiplos aspectos nesse processo além de auxiliar no processo de escolher, ordenar ou classificar as ações potenciais (ENSSLIN; MONTIBELLER, 1998). Em resumo, a abordagem MCDA vai além da escolha entre alternativas pré-selecionadas, pois ela permite aos decisores criarem alternativas mais adequadas à solução do problema a partir de seus valores, por ser uma metodologia construtivista (KEENEY, 1992; ENSSLIN, MONTIBELLER NETO e NORONHA, 2001).

A implementação do processo MCDA compreende, basicamente, em três fases: estruturação do problema, avaliação dos dados e recomendações.

1. A Fase de Estruturação permite que se estabeleça o contexto que se deseja avaliar identificando o problema, os envolvidos e o contexto de decisão. Nesta fase será identificado os valores dos responsáveis envolvidos no contexto, construindo a árvore de Ponto de Vista Fundamental¹ (PVF) e escalas ordinais e não ambíguas que permitam uma única interpretação dos níveis em análise no contexto. Assim, “um ponto de vista representa todo o aspecto da decisão real apercebido como importante para a construção de um modelo de avaliação de ações existentes ou a criar. Um tal aspecto, que decorre do sistema de valores e ou da estratégia de intervenção de um actor no processo de decisão, agrupa elementos primários que interferem de forma indissociável na formação das preferências desse actor” (BANA E COSTA, 1993).
2. Na Fase de Avaliação, depois de construídos os descritores do mapa cognitivo, avalia-se as ações potenciais mensuráveis, determinando as funções de valores para cada critério. A construção de descritores requer a identificação de um conjunto de níveis de impacto que representam, de forma não ambígua, os possíveis desempenhos de uma ação, ordenados em termos e preferência, segundo os sistemas de valores dos decisores (BANA E COSTA; SILVA, 1994). A função de valor refere-se a representação matemática da intensidade de

¹ O termo Ponto de Vista Fundamental (PVF) é correlato ao critério ou atributo.

preferência (diferença de atratividade) entre os níveis de impacto de um descritor (ENSSLIN; MONTIBELLER e NORONHA, 2001).

3. Na Fase de Recomendações, analisa-se o perfil de desempenho de cada ação potencial em relação a cada descritor construído, verificando a necessidade de implementação de ações de melhoria que possam alavancar o desempenho das ações avaliadas (ENSSLIN et al., 2007).

Após a obtenção das preferências dos envolvidos no processo decisório, parte-se para sua agregação, que é o que define o tipo de método multicritério de apoio à decisão (MCDA) a ser aplicado. Bana e Costa e Vincke (1995), com base no procedimento de agregação das preferências, classificam os MCDA em três tipos:

- a) Métodos de agregação a um critério único de síntese onde as preferências dos *stakeholder* podem ser representadas por uma função de utilidade ou de valor. Estes métodos adotam o princípio da transitividade (por exemplo, se A é preferível a B e B é preferível a C, então, A é preferível a C)
- b) Métodos de subordinação ou *outranking* em que compara os argumentos prós e contras à hipótese (a ação “a” é no mínimo tão boa quanto a ação “b” e isso equivale dizer que a é "não pior que" b)
- c) Métodos interativos que têm como base as técnicas de programação matemática computacional envolvendo conjuntos contínuos de alternativas com espaços contínuos de soluções.

Existem diversas metodologias multicritério que dão suporte à decisão (BELTON; STEWART, 2002) e estas podem ser divididas em dois grandes grupos: modelos compensatórios e modelos não-compensatórios. Segundo Lourenço (2002), no primeiro grupo “aceita-se que uma má prestação de uma alternativa num determinado critério possa sempre ser “compensada”, em termos de apreciação global, por uma boa prestação dessa alternativa em outro ou outros critérios distintos. Já no segundo, entende-se que uma má prestação de uma alternativa num determinado critério pode por em causa a sua avaliação global, podendo esta não ser “compensada” por bons desempenhos em outros critérios”. O mais utilizado é o modelo compensatório e dentro dele, o modelo aditivo de agregação simples, ou, simplesmente, modelo aditivo que tem grande aceitação por parte dos agentes de decisão.

O método MACBETH utiliza o modelo aditivo, porém com uma abordagem diferente da maior parte dos métodos, pois ao invés de solicitar ao decisor que expresse juízos quantitativos, ela pede somente para este se expressar em termos qualitativos, mantendo o rigor e a consistência científicos e facilitando o julgamento do decisor. Nela, inicialmente, aplica-se

de forma interativa, um protocolo de perguntas onde os elementos são comparados dois a dois, solicitando apenas um julgamento qualitativo. À medida que os julgamentos são introduzidos no software, este verifica automaticamente a sua consistência. Tendo por base os julgamentos do decisor, uma escala de pontuações é gerada. Através de um processo semelhante, os pesos são determinados para cada critério.

O significado dos pesos e como ponderá-lo corretamente é importante para evitar falsas interpretações. Autores como von Winterfeldt e Edwards (1986) e Lourenço (2002) discutem o assunto com bastante detalhe. Para Keeney (1992), o “erro crítico mais comum” refere-se a incorreta interpretação dos pesos intuitivamente segundo a noção de importância.

Lourenço (2002) comenta que para a determinação dos pesos, o método MACBETH exige somente que o decisor expresse juízos de valor qualitativos quanto à diferença de atratividade entre diferentes alternativas tomadas par a par e esta é uma grande diferença para as demais abordagens multicritério. Para cada critério, determina-se dois níveis de referência (neutro e bom). Na fase de avaliação, os pesos de cada critério são estipulados criando um número de alternativas fictícias igual ao número de critérios mais um e solicitado ao decisor que expresse a diferença de atratividade entre as alternativas previamente ordenadas, tomando-as par-a-par e assim, o método evita o erro crítico mais comum.

Em resumo, o método MACBETH auxilia na estruturação do processo de decisão medindo o grau de preferência de um decisor sobre um conjunto de alternativas e, dessa forma, permite verificar inconsistência nos juízos de valores com a possibilidade de revisão para elaboração das recomendações (Figura 2). Sua maior vantagem, portanto, é interatividade (BANA e COSTA et al., 2012). Ele utiliza uma série de categorias semânticas para determinar a função de valor através de modelos de Programação Linear, sendo que os decisores são questionados sobre a diferença de atratividade entre dois elementos par a par.

Figura 2. Fases do processo MACBETH



FONTE: BANA E COSTA ET AL. (2013)

Todo este empreendimento intelectual floresceu da teoria de decisão comportamental e da pesquisa comportamental de decisão sendo que um dos principais objetivos dos pesquisadores era compreender a natureza das preferências humanas e seus valores e desenvolver uma forma para a sua avaliação dado a complexidade, a quantidade e a natureza das informações (GREGORY et al., 1993).

2.2.1. O PROCESSO SOCIOTÉCNICO MACBETH

O processo sociotécnico MACBETH é composto por 4 etapas: identificação do problema contendo o contexto no qual a decisão se insere e os atores que participarão no processo; estruturação do problema com a identificação dos pontos de vistas fundamentais, descritores de impactos, objetivos meios e fins; estruturação do modelo multicritério aditivo de valor e avaliação das opções segundo este modelo e, por último, análise de sensibilidade do modelo e recomendações.

A fase da estruturação dos objetivos é a mais longa e a importante do método MACBETH. Ela prevê, pela ótica sócio-técnica MACBETH, a definição do problema e das pessoas (decisores) que participarão do processo sendo que esta seleção não é democrática, pois o convidado tem que ter conhecimento de causa sobre o problema em análise. Esta etapa prevê ainda, o levantamento dos fatos e valores e a fase sócio-técnica-científica.

Segundo Bana e Costa (1993), a estruturação do problema permite que um modelo decisório seja formalizado e aceito pelos atores do processo decisório, pois representa e organiza os elementos da avaliação, servindo de base à aprendizagem, investigação e discussão interativa entre os envolvidos neste processo. Inicialmente, o processo é desestruturado a fim

de incentivar o pensamento divergente. Durante a discussão, uma série de objetivos surgem naturalmente em diferentes formas de organização e estes são agregados em níveis de preferência para posterior avaliação.

A estruturação do problema pode ser individual ou em grupo. Quando envolve um grupo de decisores é feita, geralmente, por conferência de decisão. Ela promove a interação e a negociação entre os participantes. Durante a conferência serão obtidas as preferências dos envolvidos no processo decisório. A avaliação da sua utilidade é feita numa escala de nível do menor para o maior. O cálculo do valor total permite incorporar todos os valores objetivos e subjetivos identificados. A análise da sensibilidade envolve pequenos ajustes para incluir as diferenças de valores e trade-offs que possam surgir entre os decisores.

Portanto, utilizando um padrão técnico, os valores objetivos e subjetivos captados serão agrupados em temas que os decisores julgarem relevantes para a estruturação do problema e a tomada de decisão. Cada tema é considerado um candidato a um objetivo fundamental (ou ponto de vista fundamental, PVF) o qual poderá ou não fazer parte da fase da avaliação.

Estes temas serão elevados ao status de objetivo se atender a uma série de premissas científicas citadas abaixo e detalhado por KEENEY (1992). Estes objetivos serão categorizados como estratégico, meio, fim e de processo, cada um com sua especificidade. Se o objetivo fundamental atender a tais requisitos, além dos pertinentes à independência de julgamento, ele poderá compor o modelo aditivo de função de valor.

- Objetivos fundamentais: conhecidos também por objetivos fins são os valores mais importantes no processo de decisão, pois é a partir deles que as consequências das diferentes alternativas serão avaliadas.
- Objetivos meios: são importantes devido a sua influência para alcançar os objetivos fins.
- Objetivos de processo: representam a maneira como a decisão será feita.
- Objetivos estratégicos: representam todas as decisões feitas ao longo do tempo pelos responsáveis pela decisão.

Segundo Keeney (1992), um objetivo fundamental possui algumas propriedades, entre elas, ser controlável e essencial. Controlável refere-se a importância do objetivo no contexto de decisão sendo que para alcançá-lo não é necessário adotar qualquer outra ação que esteja fora do contexto de decisão e essencial significa que todas as alternativas apropriadas ao contexto de decisão devem ter influência no objetivo fundamental. É desejável ainda que o objetivo fundamental seja:

- a) Completo para incluir todos os aspectos fundamentais das consequências que derivam das alternativas do contexto de decisão.
- b) Mensurável para definir os objetivos de forma precisa e para especificar o grau para que eles possam ser alcançados.
- c) Operacional para fazer a coleta de informações necessária para uma análise razoável considerando o tempo e o esforço disponível.
- d) Não redundante para evitar dupla contagem de possíveis consequências
- e) Conciso para reduzir o número de objetivos necessários para a análise.
- f) Específico para que as consequências mais relevantes sejam claras e que os atributos possam ser prontamente selecionados ou definidos.
- g) Compreensível para facilitar a compreensão por qualquer indivíduo interessado entender o significado do objetivo.

Por ser um processo científico, toda a estruturação será feita em cima dos objetivos fim para os quais serão criados descritores de impacto para, com maior transparência, avaliar a atratividade de forma ordinal e cardinal e identificar se há mudança de julgamento por parte dos decisores (BANA E COSTA et al., 2012).

A construção do descritor de impacto para cada ponto de vista fundamental é a última etapa da fase de estruturação. Bana e Costa e Beinat (2011), Keeney (1992) e Keeney e Gregory (2005) fazem uma descrição detalhada sobre o tema mas, de maneira geral, um descritor de impacto para um dado ponto de vista fundamental é um conjunto ordenado constituído por níveis de impacto plausíveis que mede (quantitativa ou qualitativamente) em que medida o PVF é satisfeito; descreve o mais objetivamente possível os impactos das opções no PVF; estabelece um domínio de plausibilidade para os impactos (de um nível mais atraente para um nível menos atraente), verifica a independência ordinal do PVF correspondente. Segundo esses autores, ao construir um descritor de impacto, deve-se evitar a ambiguidade. Se não houver informação suficiente, o analista deve solicitar aos decisores que relatem as diferenças de níveis de impacto da forma mais clara possível, pictórica ou verbalmente.

As informações fornecidas pelos decisores são inseridas no software MACBETH, o qual gera uma escala determinando as funções de valor. Essa escala procura representar da melhor maneira possível os julgamentos dos decisores em relação às diferenças de atratividade entre dois elementos (BANA e COSTA e VANSNICK, 1997; ENSSLIN et al., 2001).

Segundo Paiva Sobrinho (2014, apud Bana e Costa, 2013), o método MACBETH utiliza as informações ordinal e cardinal para construir a escala numérica, ou seja, ele constrói valores qualitativos baseado em critérios quantitativos:

Basicamente, considerando X um conjunto finito de opções, medir ordinalmente a atratividade das opções x do conjunto X consiste em associar a cada x um número real $v(x)$ – em uma escala numérica que satisfaça as condições de preferência estrita (1), de indiferença (2) e de cardinalidade (3):

$$(1) \forall x, y \in X: [x \text{ é mais atrativa do que } y \text{ (} xPy \text{)} \leftrightarrow v(x) > v(y)]$$

$$(2) \forall x, y \in X: [x \text{ e } y \text{ são igualmente atrativas (} xIy \text{)} \leftrightarrow v(x) = v(y)]$$

$$(3) \forall x, y, w, z \in X, \text{ com } x \text{ mais atrativo que } y \text{ e } w \text{ mais atrativo que } z: \text{ o quociente } [v(x) - v(y) / v(w) - v(z)] \text{ mede a diferença de atratividade entre } x \text{ e } y \text{ quando a diferença na atratividade entre } w \text{ e } z \text{ é tomada como unidade de medida.}$$

Essa nova escala numérica $v: X \rightarrow \mathbb{R} : x \rightarrow v(x)$ pode ser definida posicionando as opções de X sobre um eixo vertical de forma que:

$\forall x, y \in X: x$ é posicionado acima de y se e somente se x é mais atrativa do que y (informação do valor ordinal)

As distâncias relativas entre as opções no eixo vertical reflitam as diferenças relativas de atratividade entre elas (informação de valor cardinal) (BANA e COSTA et al, 2013).

Após definir o conjunto de objetivos fundamentais e respectivos critérios, realiza-se a estruturação do modelo multicritério aditivo de valor. Para isto, é necessário criar uma estrutura que represente a relação de preferência entre os vários x 's. Para combinar os atributos em um modelo de valor, usa-se o conceito de independência entre os critérios.

Considerando par a par dois elementos sendo que um é mais preferido que o outro segundo o julgamento de um decisor em um dado momento, o método MACBETH questiona qual é a diferença de atratividade deste em relação ao segundo elemento a partir do elemento mais preferível. Para isso, o método MACBETH propõe sete categorias semânticas que auxilia a expressar a diferença de atratividade, sendo:

CO: nenhuma diferença

C1: diferença muito fraca

C2: diferença fraca

C3: diferença moderada

C4: diferença forte

C5: diferença muito forte

C6: diferença extrema

Conforme o decisor expressa seus julgamentos, o método verifica se existe consistência entre eles de modo a existir representação numérica na escala de intervalos. Havendo inconsistência, o método apresenta sugestões para corrigi-la.

Os algoritmos matemáticos para a verificação de consistências e para a construção da escala de intervalos consistente usando as categorias semânticas são apresentados detalhadamente em Bana e Costa et al. (2005; 2011). A escala de valores relativa à matriz de julgamentos semânticos existirá somente se tais julgamentos forem consistentes.

2.2.2. CONCEITO DE INDEPENDÊNCIA ENTRE OS CRITÉRIOS

Existem três conceitos principais sobre independência: independência de utilidade, independência preferencial e independência aditiva. Bana e Costa (2011) afirma que o não entendimento do conceito de independência preferencial é razão de vários praticantes dos métodos multicritérios cometerem equívocos ao associar a independência aditiva com independência estatística entre impactos.

Keeney e Raiffa (1976) citam que a independência em utilidade entre os atributos simplifica a determinação da função analítica da utilidade multicritério, auxiliando na estruturação do problema e nas análises finais de sensibilidade.

A independência preferencial verifica se todos os Pontos de Vista são mutuamente independentes (KEENEY; RAIFFA, 1976; KEENEY, 1992). Para isto, é necessário que os Pontos de Vista cumpram a propriedade “isolabilidade” (ROY, 1986), de forma que determinado desempenho de um descritor não afete a diferença de atratividade entre níveis de outro. Para que um Ponto de Vista seja considerado isolável, deve-se assegurar que as ações potenciais sejam avaliadas nele, de forma independente do desempenho dos demais pontos de vista (ENSSLIN et al., 2011).

A independência aditiva entre dois atributos pode permitir que a função utilidade adquira o formato de uma função aditiva (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Bana e Costa e Beinat (2011) argumentam que o modelo aditivo estabelece em que medida um impacto menos atrativo em um critério pode ser compensado por impactos mais atrativos em outros critérios, o que exige uma condição mais exigente de independência, a independência aditiva.

O modelo de valor utilizado neste trabalho é o modelo compensatório aditivo que possui a seguinte expressão (PAIVA SOBRINHO, 2014):

$V(a) = \sum_{j=0}^n w_j * v_j (a)$, em que $\sum_{j=0}^n w_j = 1$, e $0 < w_j < 1$ ($j=1, \dots, n$),

Sendo:

$V(a)$, o valor global da performance da alternativa “a” diante dos ‘n’ critérios.

$V_j(a)$, o valor da performance da alternativa “a” diante do critério ‘j’. Neste trabalho, utiliza-se o método MACBETH para a obtenção deste valor.

w_j , constantes de escalas ou coeficientes de ponderação dos ‘n’ critérios que permitem que as diferentes alternativas ‘a’ em cada critério sejam adicionáveis. Tais coeficientes são conhecidos por ‘pesos’ (LOURENÇO, 2002).

Certas condições precisam ser satisfeitas para que o modelo aditivo possa ser utilizado. Lourenço (2002) expõe que para Goodwin e Wright (1991) tais condições podem ser entendidas como os axiomas do método, sendo:

- 1) Capacidade de decisão: para cada critério, assume-se que o decisor é capaz de decidir qual de duas alternativas é que prefere, ou se é indiferente perante a escolha de qualquer uma delas.
- 2) Transitividade: se em um determinado ponto de vista a alternativa A é preferida à alternativa B e a alternativa B é preferida à alternativa C, então segundo este axioma terá de se preferir a alternativa A à alternativa C.
- 3) Aditividade: se o decisor preferir a alternativa A à alternativa B e a alternativa B à alternativa C, então a intensidade de preferência da alternativa A sobre a alternativa C terá de ser superior à intensidade de preferência da alternativa A sobre a alternativa B (ou da alternativa B sobre a alternativa C).
- 4) Monotonia: as funções que operacionalizam os pontos de vista ou são crescentes ou decrescentes.
- 5) Limites superior e inferior com valores finitos: quando se determinam valores para as alternativas segundo os vários pontos de vista, assume-se que a melhor alternativa não é tão boa e que a pior alternativa não é tão má que lhes possam ser atribuídos respectivamente valores de $+\infty$ ou de $-\infty$.

O modelo aditivo hierárquico proposto por Lourenço (2002) é uma composição de modelos aditivos simples adaptada a uma estrutura hierárquica de critérios. Nele, o cálculo do valor global de uma alternativa é feito de baixo para cima, agregando as pontuações ponderadas dessa alternativa nos critérios mais elementares. Estes valores servem para calcular as pontuações agregadas da alternativa nos critérios hierarquicamente superiores aos primeiros e

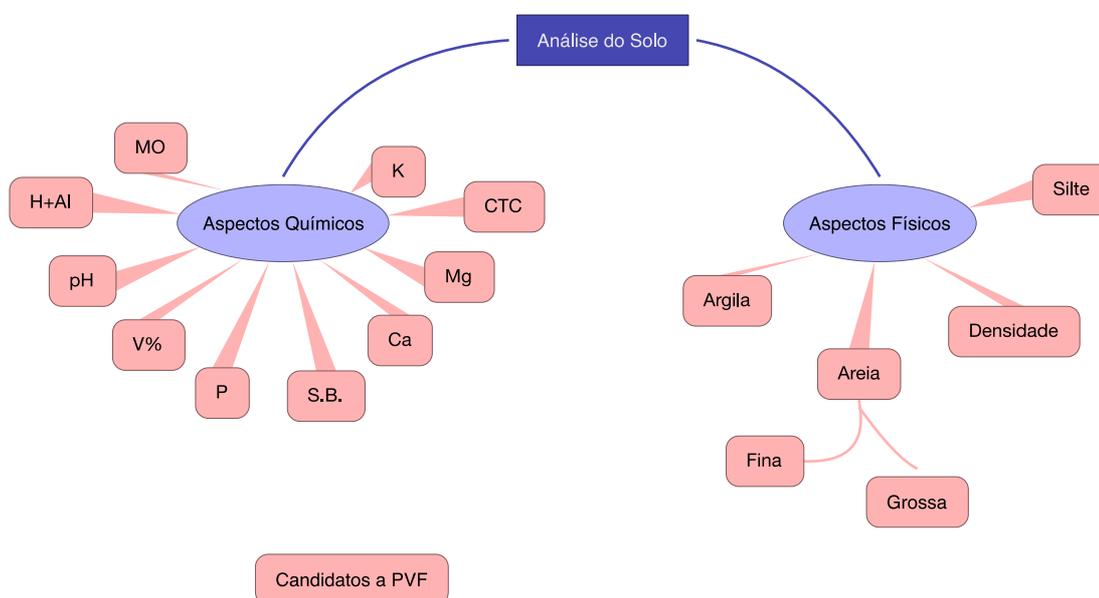
assim sucessivamente até se obter o valor global. Para aplicar o modelo aditivo é essencial que exista independência entre os critérios considerados (LOUREÇO, 2002).

A avaliação dos dados estruturados será realizada no software M-MACBETH (www.m-MACBETH.com) em que, ao final de todo o processo, indica o valor do Índice de Sustentabilidade Ambiental para cada cultura estudada, na escala de zero a 100.

CAPÍTULO 3 – CONSTRUÇÃO DO ISA POR MEIO DO MACBETH

Para testar o modelo proposto, a elaboração do Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) iniciou-se com a tabulação dos dados das amostras de solos de Araras/SP, contendo os aspectos físicos e químicos (Figura 3), para a identificação dos critérios que entrariam na composição deste índice. De tal tabulação também foram retiradas as médias simples agrupadas por cultura (Cana-de-açúcar crua, Cana-de-açúcar queimada, Café, Citrus e Pastagem) para obter o referencial encontrado em campo (Anexo 1).

Figura 3. Aspectos encontrados na análise do solo

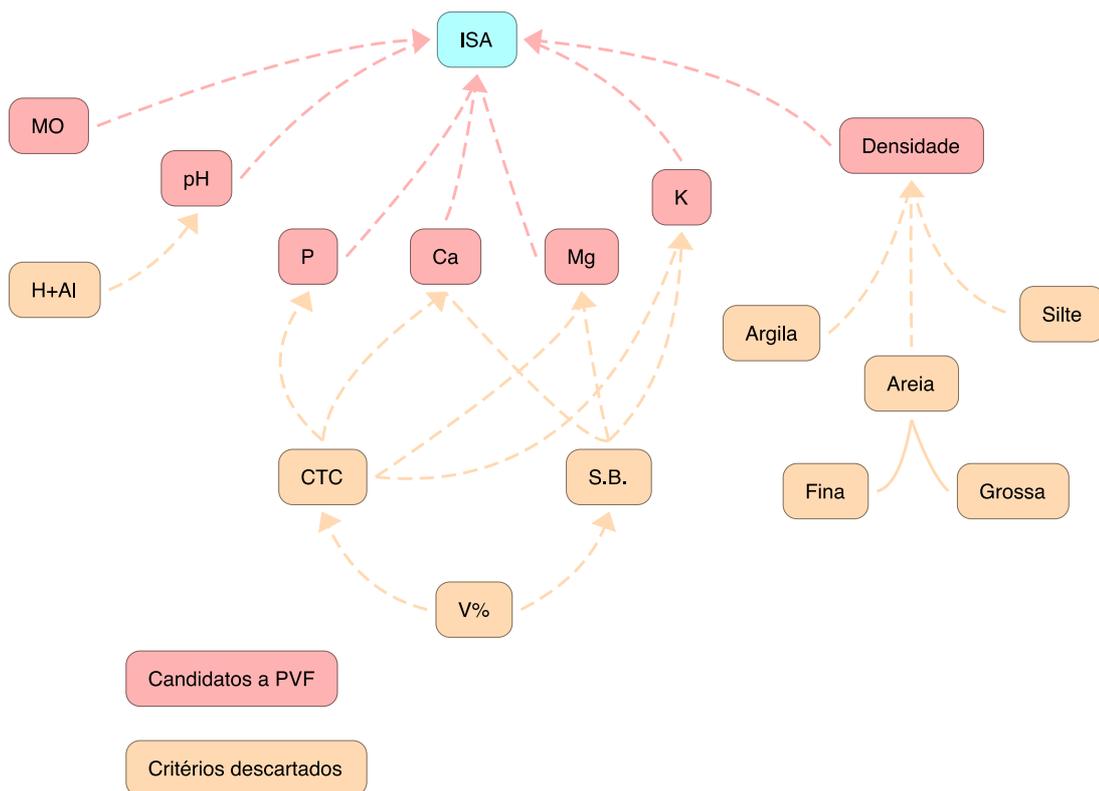


FONTE: DADOS DA PESQUISA

Na fase estruturação do método sócio-técnico MACBETH, a fim de eliminar as informações redundantes, foi perguntado ao decisor se algum dos aspectos químicos (pH, P, K, Ca, Mg, H+AL, SB, CTC, V%, incluindo a Matéria Orgânica - MO) e físicos (Areia grossa, areia fina, areia total, silte, argila, densidade) continham as mesmas informações. Pelo conhecimento e experiência do decisor, o mesmo eliminou vários aspectos, mantendo somente MO, pH, P, K, Ca, Mg e Densidade, conforme o mostrado na Figura 4. Como cada aspecto mantido pelo decisor é um candidato a ponto de vista fundamental (PVF), foi perguntando ao decisor porque cada um era importante dentro do contexto de Araras/SP até a exaustão. Em seguida, foi realizado o teste ordinal e cardinal para verificar se os critérios eram independentes entre si. Como não houve mudança no julgamento do decisor, tais testes mostraram que os

critérios possuem independência aditiva. Portanto, somente os critérios julgados como importantes por si só, independentes entre si, controláveis e essenciais foram considerados candidatos a PVF.

Figura 4. Mapa com os Candidatos a PVF



FONTE: DADOS DA PESQUISA

Seguindo o procedimento metodológico, a fase seguinte consistiu em definir os descritores para os critérios selecionados, bem como estabelecer a melhor e a pior performance dos descritores. Os descritores são ordenados de maior para menor preferência, conforme a Figura 5. Foram criados Descritores de Impacto para cada cultura estudada baseados no conhecimento do decisor, tendo como referência os dados da literatura existente (IAC, 1997), padronizando as unidades de medida. É importante ressaltar que, ao inserir posteriormente os níveis bom e mínimo aceitável no sistema M-Macbeth, foi observado que o sistema gerava uma escala com valores negativos. Para não trabalhar com escala negativa, optou-se por considerar somente os níveis “Bom” e “Indesejado”.

Figura 5. Exemplos de Descritores de Impacto

Fósforo (P)	Atua na formação do ATP (trifosfato de adenosina) que será a principal fonte energética da planta.
Valor de Campo	22,06 mg/dm ³
Bom	50 mg/dm ³
Mínimo aceitável	40 mg/dm ³
Indesejado	<40 mg/dm ³

Potássio (K)	De forma livre, regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, absorção de água do solo, síntese proteica, entre outros.
Valor de Campo	2,76 mmol/dm ³
Bom	5 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	3 mmol/dm ³
Indesejado	<3 mmol/dm ³

Cálcio (Ca)	Muito importante no desenvolvimento das raízes, atua na formação e na integridade das membranas da parede celular.
Valor de Campo	27,47 mmol/dm ³
Bom	25 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	7 mmol/dm ³
Indesejado	<7 mmol/dm ³

Magnésio (Mg)	Compõe a molécula de clorofila.
Valor de Campo	9,96 mmol/dm ³
Bom	15 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	7 mmol/dm ³
Indesejado	<7 mmol/dm ³

FONTE: DADOS DA PESQUISA

A próxima etapa determinou os pesos dos critérios. Para tanto, foi utilizado o método Swing (Figura 6 e Figura 7). Conforme as orientações de Lourenço (2002), o decisor, com a sua experiência e conhecimento, respondeu a primeira pergunta “Se fosse possível passar do pior nível para o melhor um único ponto de vista, qual era o ponto de vista que selecionaria para esta mudança?”. Neste caso, o decisor escolheu a MO. Fazendo a mesma pergunta, o decisor escolheu o pH e assim sucessivamente até finalizar todos os critérios (Figura 6). Segundo o decisor, a MO é essencial, uma vez que ela indica a fertilidade do solo e o pH é limitante, pois se não estiver numa escala adequada, ele não torna os outros elementos assimiláveis para a absorção dos nutrientes pelas raízes das plantas.

Figura 6. Determinação do peso pelo método Swing.

“Se fosse possível passar do pior nível para o melhor um único ponto de vista, qual era o ponto de vista que selecionaria para essa mudança?”

	melhor	melhor	melhor	melhor	melhor	melhor	melhor
							
	pior	pior	pior	pior	pior	pior	pior
PVF	P	K	Ca	Mg	pH	Dens	MO

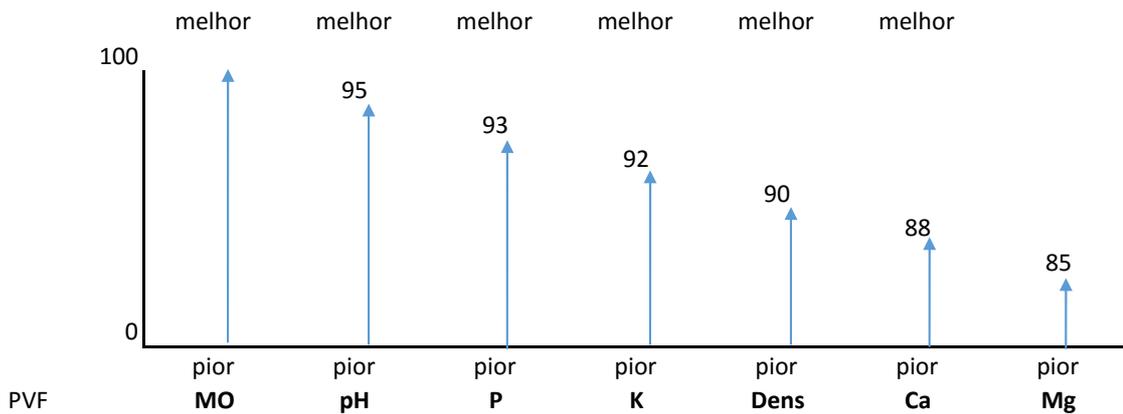
FONTE: DADOS DA PESQUISA

Com base na ordenação obtida na Figura 6, o decisor respondeu a segunda pergunta “Em quanto é que quantificaria uma passagem do pior nível para o melhor nível no ponto de vista PVy, sabendo que ao swing do pior nível para o melhor nível PVx foram atribuídos 100

pontos?” O decisor respondeu: “Para mim passar do pior nível para o melhor em pH é equivalente a 95% do swing em MO”. A mesma pergunta foi feita para todos os critérios. A Figura 7 apresenta a representação gráfica do valor atribuído à passagem (swing) do pior nível para o melhor nível em todos os critérios.

Figura 7. Representação gráfica do método Swing

“Em quanto é que quantificaria uma passagem do pior nível para o melhor nível no ponto de vista PVy sabendo que ao swing do pior nível para o melhor nível em PVx foram atribuídos 100 pontos?”



FONTE: DADOS DA PESQUISA

Na etapa final da determinação do peso pelo método Swing, segundo Lourenço (2002), procedeu-se à normalização dos coeficientes de ponderação obtidos na etapa precedente, para que a sua soma seja igual a 1, utilizando a expressão seguinte:

$$k_j = \frac{k'_j}{\sum_{j=1}^n k'_j}, \text{ com } (j=1, \dots, n)$$

Onde:

k'_j - é o coeficiente de ponderação não normalizado do ponto de vista j (obtido na segunda etapa);

k_j - é o coeficiente de ponderação normalizado do ponto de vista j .

Nesta pesquisa, foram obtidos os seguintes pesos:

$$k_{MO} = \frac{100}{100+95+93+92+90+88+85} = 0,1555$$

$$k_{pH} = \frac{95}{100+95+93+92+90+88+85} = 0,1478$$

$$k_P = \frac{93}{100+95+93+92+90+88+85} = 0,1447$$

$$k_K = \frac{92}{100+95+93+92+90+88+85} = 0,1430$$

$$k_{Dens} = \frac{90}{100+95+93+92+90+88+85} = 0,1400$$

$$k_{Ca} = \frac{88}{100+95+93+92+90+88+85} = 0,1369$$

$$k_{Mg} = \frac{85}{100+95+93+92+90+88+85} = 0,1321$$

Os pesos encontrados foram utilizados para todas as culturas. Após a determinação do peso, criou-se a árvore de critérios (Figura 8) para cada cultura estudada bem como os níveis de performance para cada critério (Figura 9) no sistema M-Macbeth.

Figura 8. Árvore de critérios para as culturas do estudadas



FONTE: DADOS DA PESQUISA

Figura 9. Exemplo do nível de performance no M-Macbeth

Propriedades de Potássio

Nome: Potássio

Nome abreviado: K

Comentários:
De forma livre, regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, absorção de água do solo, síntese proteica, entre outros.

Base de comparação:

as opções

as opções + 2 referências

níveis qualitativos de performance:

níveis quantitativos de performance:

critério

incerto

Referências:

Nome	Abreviado
Nível Bom estabelecido pelo decisor: 10 mmol/dm3	10mmol/dm3
Nível indesejado estabelecido pelo decisor: <4 mmol/dm3	<4mmol/dm3

FONTE: DADOS DA PESQUISA

Em seguida, o decisor fez os julgamentos de valor em relação a sua percepção de perda ao passar de um nível menor para um nível maior. Cada um dos intervalos de classe que compõe o descritor de um critério é chamado também níveis de impactos. O decisor revelou a sua preferência através de uma escala que varia de extrema à nula, gerando uma escala que varia de 100 a zero. Essa escala representa o quanto o decisor está disposto a se manter num determinado nível a passar para outro nível.

A Figura 10 expressa os julgamentos de valor do decisor realizados no sistema M-Macbeth, sendo que o próprio sistema gera os valores relativos às suas preferências (“Escala atual”) e emite, ao mesmo tempo, uma nota confirmando se os julgamentos estão consistentes ou não. Em caso negativo, foi solicitado ao decisor refazer os seus julgamentos. Tal procedimento foi realizado para todos os critérios por cultura avaliada.

Figura 10. Exemplo de escala cardinal gerada pelos julgamentos do decisor

Magnésio

15mmol/dm3	canacrua	<7mmol/dm3	Escala atual	extrema
15mmol/dm3	nula	forte	100	mt. forte
canacrua		nula	56	forte
<7mmol/dm3			0	moderada
				fraca
				mt. fraca
				nula

Julgamentos consistentes

	10mmol/dm3	canaqueim	<4mmol/dm3	Escala atual
10mmol/dm3		nula	mt. forte	100
canaqueim	nula		mt. forte	100
<4mmol/dm3			nula	0

Julgamentos consistentes

extrema
mt. forte
forte
moderada
fraca
mt. fraca
nula

FONTE: DADOS DA PESQUISA

O passo final foi obter o Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) para cada cultura estudada. Para isto, o sistema M-Macbeth utilizou os pesos determinados pelo método Swing multiplicado pela pontuação de cada critério, conforme o mostrado na Figura 11.

Figura 11. Pontuação gerada pelo sistema para cana-de-açúcar crua

Opções	Global	MO	pH	P	K	Dens	Ca	Mg
bom	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
canacrua	60.81	50.00	50.00	50.00	50.00	100.00	72.00	56.00
indesejável	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos:		0.1550	0.1480	0.1450	0.1430	0.1400	0.1370	0.1320

FONTE: DADOS DA PESQUISA

O Índice de Sustentabilidade Ambiental foi calculado da seguinte forma:

$$V(a) = w_1 * v_1(a) + w_2 * v_2(a) + w_3 * v_3(a) + w_n * v_n(a),$$

Onde:

$V(a)$ – Valor global da ação a $V_1(a)$, ..

$V_n(a)$ = Valor parcial da ação a nos critérios 1,2,...n

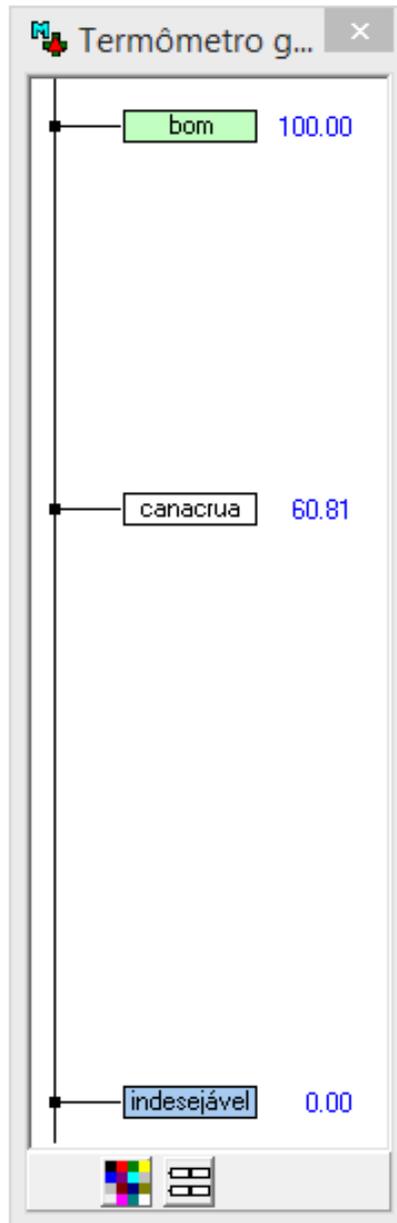
W_1, W_2, \dots, W_n = Pesos dos critérios 1,2,...,n

n = número de critérios do modelo

Assim, a agregação de todos os critérios gerou o Índice de Sustentabilidade Ambiental da Cana-de-açúcar Crua, conforme o apresentado na

Figura 12.

Figura 12. Termômetro global para a cultura de Cana-de-açúcar Crua



FONTE: DADOS DA PESQUISA

CAPÍTULO 4 – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os dados desta pesquisa mostram que o Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) para as culturas analisadas (Figura 13) podem ser melhorados. Com os mesmos procedimentos metodológicos citados no Capítulo 3 desta pesquisa, foram estabelecidos o ISA para as culturas, Cana-de-açúcar queimada, Café, Citrus e Pastagem.

Figura 13. Índice de Sustentabilidade Ambiental encontrado

Cultura	ISA
Cana-de-açúcar crua	61
Cana-de-açúcar queimada	58
Café	56
Citrus	45
Pastagem	44

FONTE: DADOS DA PESQUISA

O índice razoável da Cana-de-açúcar crua (61, numa escala que varia de zero a 100) está relacionado ao benefício de que a palhada deixada no solo pelo manejo da atividade. Este valor poderia ser maior se o nível de Matéria Orgânica (MO) estivesse dentro do desejado, conforme o Descritor de Impacto mostrado na Figura 14. Segundo o decisor, foi encontrado um nível baixo de MO, provavelmente, porque o material ainda não estava sedimentado no solo na época em que as amostras foram coletadas. O teor de MO expresso pelo C orgânico total e suas características são considerados relevantes na avaliação da qualidade do solo (CHAIN et al., 2001). Observa-se também que os níveis dos critérios P, K e pH também foram considerados indesejáveis pelo decisor, necessitando de ajustes. Apesar disso, a colheita mecanizada tem inúmeras vantagens. A palha remanescente da colheita protege a superfície do solo quanto ao processo erosivo e retorna ao solo quantidades significativas de nutrientes, em especial o potássio, resultando em possível economia de fertilizantes. Além disso, a colheita mecanizada da cana crua traz resultados positivos também na sua produtividade, pois diminui os riscos de erosão ao estruturar, impermeabilizar e compactar o terreno; melhora controle de plantas daninhas, reduz as perdas de água por evaporação e permite maior atividade biológica no solo. A colheita mecanizada ainda traz benefícios como a redução de emissão do gás carbônico para a atmosfera, minimizando o efeito estufa, resultados apresentados por pesquisadores da Unesp Jaboticabal e Esalq. Portanto, a interação entre os fatores químicos, físicos e biológicos do solo contribuem para este resultado.

Figura 14. Descritores de Impacto para a Cana-de-açúcar crua

Fósforo (P)	Atua na formação do ATP (trifosfato de adenosina) que será a principal fonte energética da planta.
Valor de Campo	22,06 mg/dm ³
Bom	50 mg/dm ³
Mínimo aceitável	40 mg/dm ³
Indesejado	<40 mg/dm ³

Potássio (K)	De forma livre, regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, absorção de água do solo, síntese proteica, entre outros.
Valor de Campo	2,76 mmol/dm ³
Bom	5 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	3 mmol/dm ³
Indesejado	<3 mmol/dm ³

Cálcio (Ca)	Muito importante no desenvolvimento das raízes, atua na formação e na integridade das membranas da parede celular.
Valor de Campo	27,47 mmol/dm ³
Bom	25 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	7 mmol/dm ³
Indesejado	<7 mmol/dm ³

Magnésio (Mg)	Compõe a molécula de clorofila.
Valor de Campo	9,96 mmol/dm ³
Bom	15 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	7 mmol/dm ³
Indesejado	<7 mmol/dm ³

pH	Influencia na capacidade da planta absorver nutrientes do solo.
Valor de Campo	4,82
Bom	6,5
Mínimo aceitável	5,5
Indesejado	<5,5 ou >6,5

Densidade	Fornecer indicações sobre a conservação do solo, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade desse solo aos processos erosivos.
Valor de Campo	1,35 g cm ⁻³
Bom	1,35 g cm ⁻³
Mínimo aceitável	1,2 g cm ⁻³
Indesejado	<1,2 e >1,35 g cm ⁻³

Matéria Orgânica (MO)	É a fonte primordial de Carbono. Constitui a principal fonte de energia e nutrientes para a atividade microbiana.
Valor de Campo	29,10 g/dm ³
Bom	55 g/dm ³
Mínimo aceitável	45 g/dm ³
Indesejado	<31 e > 60 g/dm ³

Nota-se pelos dados obtidos que a Cana-de-açúcar queimada (58) possui um ISA ligeiramente menor que a Cana-de-açúcar crua (61). Isto mostra que a forma de manejo interfere no resultado. Na análise da amostra do solo utilizada nesta pesquisa, foi encontrada um nível muito baixo de P (cerca de 7 mg/dm³), sendo que o decisor considerou como o mínimo aceitável para o bom desenvolvimento desta cultura 50 mg/dm³. Segundo os Descritores de Impacto da Cana-de-açúcar queimada (Figura 15), este foi o elemento que mais contribuiu para a queda do Índice de Sustentabilidade Ambiental, apesar que o critério Mg também necessita de ajustes. Esta cultura possui o melhor nível de Matéria Orgânica (33,5 g/dm³) e, segundo o decisor, isto se justifica pelo acúmulo de cinzas depositado no solo. Com o propósito de facilitar as operações de colheita, a queimada visa promover a limpeza das folhas secas e verdes que são

consideradas matéria-prima descartável. De maneira geral, tal queima provoca a eliminação de predadores naturais de algumas pragas; maior uso de herbicidas para controle de ervas daninhas que se desenvolvem rapidamente após a queima; agravamento do processo de erosão do solo pela falta de cobertura vegetal; diminuição do equilíbrio ecológico; aumento do efeito estufa pela liberação de grande quantidade de gases para a atmosfera, entre outros.

Figura 15. Descritores de Impacto para a Cana-de-açúcar queimada

Fósforo (P)	Atua na formação do ATP (trifosfato de adenosina) que será a principal fonte energética da planta.
Valor de Campo	7 mg/dm ³
Bom	50 mg/dm ³
Mínimo aceitável	40 mg/dm ³
Indesejado	<40 mg/dm ³

Potássio (K)	De forma livre, regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, absorção de água do solo, síntese proteica, entre outros.
Valor de Campo	10,15 mmol/dm ³
Bom	10 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	4 mmol/dm ³
Indesejado	<4 mmol/dm ³

Cálcio (Ca)	Muito importante no desenvolvimento das raízes, atua na formação e na integridade das membranas da parede celular.
Valor de Campo	17,50 mmol/dm ³
Bom	25 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	7 mmol/dm ³
Indesejado	<7 mmol/dm ³

Magnésio (Mg)	Compõe a molécula de clorofila.
Valor de Campo	5,50 mmol/dm ³
Bom	8 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	7 mmol/dm ³
Indesejado	<7 mmol/dm ³

pH	Influencia na capacidade da planta absorver nutrientes do solo.
Valor de Campo	4,6
Bom	8
Mínimo aceitável	4
Indesejado	<4 ou >8

Densidade	Fornecer indicações sobre a conservação do solo, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade desse solo aos processos erosivos.
Valor de Campo	1,22 g cm ⁻³
Bom	1,35 g cm ⁻³
Mínimo aceitável	1,2 g cm ⁻³
Indesejado	<1,2 e >1,35 g cm ⁻³

Matéria Orgânica (MO)	É a fonte primordial de Carbono. Constitui a principal fonte de energia e nutrientes para a atividade microbiana.
Valor de Campo	33,5 g/dm ³
Bom	55 g/dm ³
Mínimo aceitável	50 g/dm ³
Indesejado	<31 e > 60 g/dm ³

FONTE: DADOS DA PESQUISA

O Índice de Sustentabilidade Ambiental para a cultura do Café ficou em 56, numa escala que varia de zero a 100. Isto se deve, principalmente, porque os critérios P e pH que são os possuem os maiores pesos depois da MO determinados pelo método Swing, encontram-se com valores indesejáveis na análise do solo perante os níveis dos Descritores de Impacto do

Café determinados pelo conhecimento do decisor (Figura 16). A determinação destes níveis é importante para recomendação de calagem e adubação de implantação da cultura. O nível de MO está dentro do recomendado, segundo o decisor. Apesar do resultado encontrado, considera-se que há um manejo adequado para esta atividade. O café é uma atividade perene em que a movimentação de solo ocorre somente no início do plantio. O levantamento de dados de campo por Tôsto em 2010 constatou que é utilizado o terraceamento em desnível e o de capim entre as linhas de plantio os quais funcionam como amortecedor das águas de chuva, protegendo o solo contra a erosão. Há pouco uso de produtos fitossanitários.

Figura 16. Descritores de Impacto para o Café

Fósforo (P)	Atua na formação do ATP (trifosfato de adenosina) que será a principal fonte energética da planta.
Valor de Campo	27,1 mg/dm ³
Bom	60 mg/dm ³
Mínimo aceitável	45 mg/dm ³
Indesejado	<45 mg/dm ³

Cálcio (Ca)	Muito importante no desenvolvimento das raízes, atua na formação e na integridade das membranas da parede celular.
Valor de Campo	26,2 mmol/dm ³
Bom	40 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	14 mmol/dm ³
Indesejado	<14 mmol/dm ³

Potássio (K)	De forma livre, regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, absorção de água do solo, síntese proteica, entre outros.
Valor de Campo	6,01 mmol/dm ³
Bom	6 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	4 mmol/dm ³
Indesejado	<4 mmol/dm ³

Magnésio (Mg)	Compõe a molécula de clorofila.
Valor de Campo	9 mmol/dm ³
Bom	11 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	4,5 mmol/dm ³
Indesejado	<4,5 mmol/dm ³

pH	Influencia na capacidade da planta absorver nutrientes do solo.
Valor de Campo	4,82
Bom	6,5
Mínimo aceitável	5,5
Indesejado	<5,5 ou >6,5

Densidade	Fornecer indicações sobre a conservação do solo, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade desse solo aos processos erosivos.
Valor de Campo	1,31 g cm ⁻³
Bom	1,35 g cm ⁻³
Mínimo aceitável	1,2 g cm ⁻³
Indesejado	<1,2 e >1,35 g cm ⁻³

Matéria Orgânica (MO)	É a fonte primordial de Carbono. Constitui a principal fonte de energia e nutrientes para a atividade microbiana.
Valor de Campo	32,40 g/dm ³
Bom	50 g/dm ³
Mínimo aceitável	40 g/dm ³
Indesejado	<31 e > 60 g/dm ³

FONTE: DADOS DA PESQUISA

Nesta pesquisa, o Citrus obteve o valor de 45, um pouco maior que a Pastagem (44), cultura que teve menor índice. Segundo a análise do solo, esta cultura possui uma quantidade excedente de Ca e Mg, porém estes dois critérios são os que possuem menor peso determinado pelo decisor no método Swing. Além disto, também apresenta uma quantidade indesejada de K, pH e MO, conforme os níveis estabelecidos pelo decisor (Figura 17), contribuindo para o baixo índice encontrado nesta pesquisa. Na pesquisa realizada em 2010, Tôsto argumenta que esta cultura utiliza uma quantidade muito grande de fungicida para o controle da doença HLB (greening) e que, dado as informações pessoais dos técnicos do Grupo de Consultores em Citros – GCONCI em 2009, o avanço desta doença causa prejuízos econômicos e reduz a sustentabilidade do negócio da citricultura na região. Vale ressaltar que, quando se faz uma pulverização, pode levar à morte não somente a praga-alvo, mas outros organismos, entre os quais os inimigos naturais das pragas. Em virtude da sua mortalidade, podem ocorrer efeitos colaterais indesejáveis que, na maioria dos casos, levam a um aumento nos custos de produção. Os inimigos naturais das pragas atuam no equilíbrio biológico, retardando a ressurgência das pragas-chave, mantendo-as abaixo do nível de dano econômico, evitando os surtos de pragas secundárias e auxiliando na diluição da resistência das pragas aos produtos fitossanitários.

Figura 17. Descritores de Impacto para o Citrus

Fósforo (P)	Atua na formação do ATP (trifosfato de adenosina) que será a principal fonte energética da planta.
Valor de Campo	31,2 mg/dm ³
Bom	31 mg/dm ³
Mínimo aceitável	28 mg/dm ³
Indesejado	<28 mg/dm ³

Potássio (K)	De forma livre, regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, absorção de água do solo, síntese proteica, entre outros.
Valor de Campo	2,77 mmol/dm ³
Bom	4 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	3 mmol/dm ³
Indesejado	<3 mmol/dm ³

Cálcio (Ca)	Muito importante no desenvolvimento das raízes, atua na formação e na integridade das membranas da parede celular.
Valor de Campo	31,33 mmol/dm ³
Bom	8 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	7 mmol/dm ³
Indesejado	<7 mmol/dm ³

Magnésio (Mg)	Compõe a molécula de clorofila.
Valor de Campo	11,96 mmol/dm ³
Bom	9 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	8 mmol/dm ³
Indesejado	<8 mmol/dm ³

pH	Influencia na capacidade da planta absorver nutrientes do solo.
Valor de Campo	5,23
Bom	6
Mínimo aceitável	5,5
Indesejado	<5,5 ou >6

Densidade	Fornecer indicações sobre a conservação do solo, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade desse solo aos processos erosivos.
Valor de Campo	1,38 g cm ⁻³
Bom	1,35 g cm ⁻³
Mínimo aceitável	1,1 g cm ⁻³
Indesejado	<1,1 e >1,35 g cm ⁻³

Matéria Orgânica (MO)	É a fonte primordial de Carbono. Constitui a principal fonte de energia e nutrientes para a atividade microbiana.
Valor de Campo	25,41 g/dm ³
Bom	55 g/dm ³
Mínimo aceitável	50 g/dm ³
Indesejado	<31 e > 60 g/dm ³

FONTE: DADOS DA PESQUISA

Já a Pastagem possui o menor índice (44), muito provavelmente, pelas condições de manejo desta cultura. Comparando as análises do solo com os níveis estabelecidos nos Descritores de Impacto da Pastagem pelo decisor (Figura 18), os resultados mostram que os níveis encontrados no campo para todos os critérios são considerados indesejáveis, sendo que a MO possui o pior nível, contribuindo para o menor Índice encontrado entre as culturas analisadas nesta pesquisa. O decisor estabeleceu os níveis para a *Brachiaria brizantha* por considerar a gramínea mais comum na região estudada. Pesquisadores da Embrapa recomendam que depois de escolher a forrageira, ou seja, o tipo de planta que será semeada, o solo deve ser bem preparado para receber a semente de pastagem para protegê-lo da erosão. Também é preciso retirar a vegetação indesejada; fazer uma análise de solo para determinar o uso de corretivos; controlar os insetos e pragas; promover a distribuição do calcário e do fósforo; arar; gradear; distribuir potássio e nitrogênio; fazer uma gradagem niveladora e cuidar a umidade do solo. Contudo, estes cuidados nem sempre são cumpridos, tomando como base o ISA elaborado por esta pesquisa. A degradação de pastagens representa um grande obstáculo para o aumento da produtividade da pecuária, já que o pasto é a fonte de alimento mais barata para os animais. Alternativas de recuperação das pastagens degradadas de forma direta (métodos mecânicos e químicos) ou de forma indireta (utilização de culturas de grãos e pastos anuais) são viáveis, mas devem ser adequadas a cada sistema de produção para maximizar as inter-relações biológicas, econômicas e sociais (MACEDO, 1999).

Figura 18. Descritores de Impacto para a Pastagem

Fósforo (P)	Atua na formação do ATP (trifosfato de adenosina) que será a principal fonte energética da planta.
Valor de Campo	4,42 mg/dm ³
Bom	25 mg/dm ³
Mínimo aceitável	7 mg/dm ³
Indesejado	<7 mg/dm ³

Potássio (K)	De forma livre, regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, absorção de água do solo, síntese protéica, entre outros.
Valor de Campo	1,13 mmol/dm ³
Bom	50 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	30 mmol/dm ³
Indesejado	<30 mmol/dm ³

Cálcio (Ca)	Muito importante no desenvolvimento das raízes, atua na formação e na integridade das membranas da parede celular.
Valor de Campo	12,08 mmol/dm ³
Bom	25 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	15 mmol/dm ³
Indesejado	<15 mmol/dm ³

Magnésio (Mg)	Compõe a molécula de clorofila.
Valor de Campo	4,92 mmol/dm ³
Bom	20 mmol/dm ³
Mínimo aceitável	11 mmol/dm ³
Indesejado	<11 mmol/dm ³

pH	Influencia na capacidade da planta absorver nutrientes do solo.
Valor de Campo	4,48
Bom	6
Mínimo aceitável	5,5
Indesejado	<5,5 ou >6

Densidade	Fornecer indicações sobre a conservação do solo, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade desse solo aos processos erosivos.
Valor de Campo	1,50 g cm ⁻³
Bom	1,35 g cm ⁻³
Mínimo aceitável	1,1 g cm ⁻³
Indesejado	<1,1 e >1,35 g cm ⁻³

Matéria Orgânica (MO)	É a fonte primordial de Carbono. Constitui a principal fonte de energia e nutrientes para a atividade microbiana.
Valor de Campo	24,08 g/dm ³
Bom	55 g/dm ³
Mínimo aceitável	50 g/dm ³
Indesejado	<31 e > 60 g/dm ³

FONTE: DADOS DA PESQUISA

Com o objetivo de verificar o impacto que o critério Matéria Orgânica (MO) tem nas análises, sendo este critério considerado o mais importante pelo decisor, um segundo cenário foi analisado, não incluindo a MO aos demais critérios avaliados. Com exceção do Café, os índices encontrados tiveram valores diferentes do encontrado anteriormente, conforme o mostrado na Figura 19:

Figura 19. Índice de Sustentabilidade Ambiental encontrado sem MO

Cultura	ISA sem MO
Cana-de-açúcar ¹ crua	62
Cana-de-açúcar ¹ queimada	59
Café	56
Citrus	54
Pastagem	52

FONTE: DADOS DA PESQUISA²

² Cana-de-açúcar crua corresponde a cana-de-açúcar mecanizada em Tôsto (2010).

Ao analisar os índices encontrados na Figura 19 com os da Figura 20, os resultados mostram-se próximos aos da pesquisa realizada por Tôsto (2010), exceto para as culturas de Café e Citrus, apesar do mesmo considerar outros critérios em sua análise.

Figura 20. Índice de Sustentabilidade Ambiental (TÔSTO, 2010)

Tabela 15 - Índices de Sustentabilidade Ambiental para os usos das terras

USO DAS TERRAS	ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL
Cana-de-açúcar mecanizada	65
Cafeicultura	68
Citricultura	40
Cultura anual (soja + milho)	40
Floresta secundária	70
Mata ciliar	70
Pastagem	50
Reserva Legal*	70

*adotou-se o mesmo valor utilizado para floresta secundária

Fonte: Dados gerados pela pesquisa.

FONTE: TÔSTO (2010)

Portanto, a inclusão da Matéria Orgânica (MO) na análise foi fundamental para obter um cenário mais detalhado e realista, já que ela fornece nutrientes para que o solo desempenhe as suas funções. A matéria orgânica é formada por resíduos em decomposição de origem vegetal e animal depositados no solo, possuindo cerca de 50% de C (carbono), em média. Esse carbono torna-se fonte de energia usada pelos microrganismos que o disponibiliza ao solo, decompondo-se em gás carbônico e água (CERRI et al., 1992). O carbono é fixado via fotossíntese pelas plantas na forma de carboidratos, lignina, proteínas, lipídeos e outros compostos orgânicos. O teor da MO serve para indicar a textura do solo como agregação, porosidade, retenção hídrica, potencial de infiltração e lixiviação, resistência à erosão, entre outros. Um solo pobre em matéria orgânica é pouco produtivo e muito suscetível à desertificação. Por outro lado, um alto nível de matéria orgânica no solo pode significar má drenagem ou acidez elevada (IAC, 2017). As duas condições acarretam prejuízos na fertilidade do solo e, por consequência, na sua produtividade. Como em áreas degradadas ocorre a quebra do equilíbrio ecológico que compromete a quantidade de matéria orgânica disponível no solo, diferentes métodos para a análise de MO são criados ou aprimorados ano a ano, sendo o seu nível considerado como o mais importante atualmente para medir a qualidade ambiental do solo e fornecer subsídios para a implantação de políticas para a sua recuperação.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostra a importância da elaboração de um Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) com o objetivo de antecipar as etapas da degradação do solo originada pela atividade agropecuária. A maneira correta de construir um Índice de Sustentabilidade Ambiental é fundamental para melhorar a percepção do cenário e aumentar a confiabilidade dos resultados.

Existem diferentes índices, cada um com seus objetivos e particularidades. A estratégia aqui utilizada foi criar um Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) por meio de uma abordagem de análise multicritério de apoio à decisão (método MACBETH) que fosse reconhecida devido ao seu rigor e consistência científica e que pudesse ser replicada para qualquer área ou região, desde que respeitadas as suas especificidades (problema, *stakeholders*, fatos e valores). Como o processo sociotécnico MACBETH apresenta detalhes do contexto em estudo, o ISA criado por meio dele permite uma análise individualizada dos critérios incorporados ao processo, destacando o que está acontecendo, podendo inclusive, ajudar na redução do custo de produção. Isto porque, com este ISA foi possível perceber para cada cultura analisada qual critério estava fora dos níveis estabelecidos pelo decisor, baseado na literatura e no seu conhecimento e experiência, fornecendo dados para melhorar a produtividade local.

As características químicas e físicas das amostras de solo no processo de elaboração do Índice de Sustentabilidade Ambiental apresentam a condição *in loco* de anos do uso intensivo do solo. O entendimento do processo de degradação do solo para a antecipação de suas etapas e a utilização de índices construídos de maneira coerente e robusta evitam situações de quebra da sustentabilidade da produção das culturas, contribuindo para o desenvolvimento econômico local. Além disso, possibilita a melhora na condição ambiental. Saber explorar o solo de forma sustentável é extremamente importante, principalmente, para países cuja economia é extremamente dependente do solo, como o Brasil.

Os índices obtidos nesta pesquisa refletem a forma de manejo de cada cultura. Por exemplo, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua diminui os riscos de erosão ao permitir melhor estruturação do terreno, aumentando sua produtividade. Já a alta temperatura durante a queima da palha da cana-de-açúcar interfere na atividade biológica do solo e na sua fertilidade. As condições de manejo, portanto, diferencia a disponibilidade de nutrientes no solo, influencia no armazenamento de água, determina o custo de adubação para cada cultura, influencia no uso de herbicidas, altera o equilíbrio ecológico, entre outros. A importância de analisar a qualidade do solo também é estimulada pelo aumento da consciência de que ele é um componente

importante da biosfera, já que o solo tem a capacidade de produzir bens e serviços econômicos e de regular o ambiente.

Nesta pesquisa e seguindo a tendência de muitos países, a Matéria Orgânica (MO) foi o critério considerado mais importante pelo decisor e isto se deve pelo fato dele ser um parâmetro relevante para analisar a qualidade ambiental do solo. Uma grande diversidade de indicadores associados à matéria orgânica do solo (MOS) vem sendo sugerida na literatura, mas eles podem gerar resultados diferentes, dependendo do enfoque e do procedimento usado para a sua caracterização. Isto acontece porque existem muitas possibilidades de isolamento e fracionamento da matéria orgânica do solo, provocando várias interpretações. Em áreas degradadas ocorre ruptura do equilíbrio do solo, havendo alterações na estabilização, distribuição e na preservação da matéria orgânica. Por isto, a MO na composição do Índice de Sustentabilidade Ambiental é um critério importante que fornece subsídios para o fomento de políticas públicas para a recuperação do solo degradado seja, por exemplo, via fertilizantes, integração lavoura-pecuária-floresta, adubação verde (prática agroecológica que pode reduzir ou até eliminar o uso de fertilizantes minerais nitrogenados, baixando os custos de produção), entre outros.

Seguindo as orientações dadas por diferentes autores citados ao longo desta pesquisa sobre os cuidados necessários que devem ser observados ao atribuir os pesos aos critérios, optou-se por utilizar o método Swing para realizar tal ponderação por ser um método pragmático, ou seja, de fácil entendimento e que permite quantificar os fatores de escala dos critérios. Para isto, foram comparados os incrementos (swings) do pior nível para o melhor nível em cada um dos pontos de vista com o swing do pior nível para o melhor num ponto de vista de referência ao qual foi atribuído 100 pontos, conforme o detalhado no Capítulo 3.

Conclui-se, então, que a grande contribuição do Índice de Sustentabilidade Ambiental por meio do processo sociotécnico MACBETH utilizando as características físico-químicas do solo, além de melhorar o entendimento do cenário em estudo dentro de um contexto específico por agregar diferentes critérios na análise, é a antecipação das etapas da degradação, fornecendo dados para a tomada de decisão e possibilitando a implantação de políticas adequadas para promover o uso sustentado do solo. Por ser um processo participativo, quanto mais pessoas puderem colaborar com informações relevantes para a estruturação do problema e quanto mais precisos forem os dados inseridos nas análises, maior será a confiabilidade dos resultados e a eficácia da metodologia proposta. Contudo, é preciso avaliar até que ponto o custo de incluir uma gama de *stakeholders* e a maneira como serão obtidas as análises de solo são viáveis economicamente ao processo.

Tal método atende o seu principal propósito que é fornecer dados para a tomada de decisão, porém não permite simular cenários futuros. Por isso, recomenda-se que sempre sejam utilizados dados atualizados da análise de solo para elaborar o ISA conforme o proposto nesta pesquisa, pois o método evidencia para o contexto em estudo as características que podem ser potencializadas ou evitadas; que os resultados sejam imediatamente apresentados aos tomadores de decisão para a formulação de políticas e aos interessados em melhorar o manejo do solo para a inclusão de novas práticas e que, se possível, todo o processo (da análise do solo até a avaliação dos critérios) seja reaplicado algum tempo depois da implantação das novas diretrizes para revalidação dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, M. A.; ATTWILL, P. M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalyptus forests in southeastern Australia: I. Nutrient cycling and nitrogen turnover. **Plant and soil**, 92:319-339. 1986

ADRIAANSE, A. **Environmental policy performance indicators**. General of Environment of the Dutch Ministry of Housing, VROM, The Hague, 1993.

ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA, A. R.; SENPELHAS, P. L. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

ANIÉTOT, N. Les Fertilizants Organiques A.D.A.S. - Sciences et Techniques de L'An 2000. Paris-France: Le courrier du Livre, 1983. 124 p.

BANA E COSTA, C. A. As três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão. **Revista Pesquisa Operacional**, v. 13, n. 1, 1993.

_____. **Processo de apoio à decisão: Problemáticas, actores e acções**, Palestra apresentada no Curso “Ambiente: Fundamentalismos e Pragmatismos”, Seminário Pedro Nunes, Convento da Arrábida, 1993.

_____. The MACBETH approach: Basic ideas, software and an application, in N. Meskens; M. Roubens (eds.), **Advances in Decision Analysis**, Kluwer Academic Publishers, 1999, p. 131-157.

BANA E COSTA, C.A.; ANGULO-MEZA, L.; OLIVEIRA, M. D. O Método MACBETH e aplicação no Brasil. **ENGEVISTA**, V. 15, n. 1. p. 3-27, abril 2013

BANA e COSTA, C.A.; BEINAT, E. Estruturação de Modelos de Análise Multicritério de Problemas de Decisão Pública. In: S. Costa, P. Nijkamp, T.P. Dentinho (eds.), **Compêndio de Economia Regional**. Volume II: Métodos e Técnicas de Análise Regional, Capítulo 20 (611-645), 2011.

BANA E COSTA C.A.; DE CORTE J. M.; VANSNICK, J.C. “**MACBETH - User manual**”, 1997.

_____. On the mathematical foundations of MACBETH. In: Figueira J, Greco S, Ehrgott M, editors. **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**. New York: Springer. p. 409–442, 2005.

_____. **International Journal of Information Technology & Decision Making** Vol. 11, No. 2, 2012

BANA e COSTA, C.A.; SILVA, F. N. Concepção de uma ‘boa’ alternativa de ligação ferroviária ao porto de Lisboa: uma aplicação da metodologia multicritério de apoio à decisão e à negociação. **Investigação Operacional** v. 14 p. 115-131, 1994.

BANA E COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. A theoretical framework for Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH), In J. Clímaco (ed.) **Multicriteria Analysis**, Springer-Verlag, 1997, p. 15-24.

BANA e COSTA, C. A.; VINCKE, P. **Measuring credibility of compensatory preference statements when trade-offs are interval determined** Theory and Decision, 1995

BAKKES, J. A. et al. **An overview of environmental indicators: state of the art and perspectives**. Unep/EATR. Nairobi: Environmental Assessment Sub- Programme; Unep, 1994.

BEER, J. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. **Agrofor Systems**, 7:103-114, 1988.

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach**. Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, 2002.

BESSERMAN, S. Indicadores. In: TRIGUEIRO, A. A. (org.). **Meio ambiente no século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento**. Rio de Janeiro: Sextante, 2003. p. 91-106.

BOSSEL, H. **Indicators of sustainable development: theory, method, applications: a report to the Balaton Group**. Winnipeg: IISD, 1999.

_____. Assessing viability and sustainability: a systems-based approach for deriving comprehensive indicators sets. **Conservation Ecology**, v. 5, n. 12, 2001

BOUNI, C. Indicateurs de développement durable: l'enjeu d'organiser une information hétérogène pour préparer une décision multicritère. In: **Colloque International, Abbay De Fontevraud - Indicateurs De Développement Durable**, Paris, 1996. Livro de Trabalhos. Paris: Application des Sciences de l'Action (AScA), 1996. 14 p.

CAMINO, V. R.; MULLER, S. **Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura/ Proyecto IICA/GTZ., 1993.

CERRI, C. C.; ANDREAUX, F.; EDUARDO, B. P. O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Coord.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1992. p.73-90.

CHAIN, K.Y. & DALAL, R.C. **Soil organic matter in rainfed cropping system of the Australian cereal belt**. Austr. J. Soil Res., 39:435-465, 2001.

CHEVALIER, S. et al. **User guide to 40 Community Health indicators**. Ottawa: Community Health Division, Health and Welfare Canada, 1992.

COLUMBIA UNIVERSITY E YALE UNIVERSITY (org.). 2005 **Environmental Sustainability Index: benchmarking national environmental stewardship**. Disponível em: <http://iwlearn.net/abt_iwlearn/events/workshops/ouagadougou/readingfiles/yale-esi2005.pdf>. Acesso em: 15 de set 2016.

DAHL, A. L., The big picture: comprehensive approaches. In: MOLDAN, B.; BILHARZ, S. **Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1997.

DE FINETTI, B. **Foresight: its Logical Laws, Its Subjective Sources**, 1937 Disponível em: <http://www.socsci.uci.edu/~bskyrms/bio/readings/bruno_definetti_subjective_probability.pdf> Acesso em: 08 jul de 2016.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G. N. **Mapas Cognitivos no Apoio à Decisão**. Anais do XVIII ENEGEP, Niterói/RJ, 21-25 de Setembro, 1998a.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G. N. **Quais Critérios Deve-se Considerar em uma Avaliação?** Anais do XVIII ENEGEP, Niterói/RJ, 21-25 de Setembro, 1998b.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G.N.; NORONHA, S.M. **Apoio à Decisão: Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas**. Insular, Florianópolis, 2001.

ESI - Environmental Sustainability Index. **An Initiative of the Global Leaders of Tomorrow Environmental Task Force**. (In collaboration with: Yale Center for Environmental Law and Policy Yale University and Center for International Earth Science Information Network Columbia University), 2002.

GALLOPIN, G. C., Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. **Environmental Modelling & Assessment**, n. 1, p. 101- 117, 1996.

Goodwin, P.; Wright, G. **Decisions Analysis for Management Judgement**, John Wiley & Sons, 1991.

GREGORY, R.; LICHTENSTEIN, S.; SLOVIC, P. Valuing environmental resources: A constructive approach. **Journal of Risk and Uncertainty**, 7, 177–197, 1993.

GUTIÉRREZ-ESPELETA, E. E. **Designing environmental indicators for decision makers**. International Statistical Institute. 1998.

HAMMOND, A. et al. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Baltimore: World Resources Institute Publications, 302p., 1995.

HARDI, P.; BARG, S. **Measuring sustainable development: principles in practice**. Winnipeg: IISD, 1997.

HERCULANO, S. A qualidade de vida e seus indicadores. In: **Ambiente & Sociedade**. Ano I, no 2, 1o semestre/1998.

HOWARD, R. A. The foundations of decision analysis revisited. In: EDWARDS, W.; MILES, J.R.F., WINTERFELDT, D.V. (eds.). **Advances in Decision Analysis**. New York, NY: Cambridge University Press; p. 32–56, 2007.

IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Boletim Técnico 100**. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, por B van Raij, H. Cantarella, J. A. Quaggio & A.M.C. Furlani, 2.ed.rev.atual. Campinas, Instituto Agrônomo / Fundação IAC, 1997, 285p.

_____. **Informação Sobre Interpretação de Análise de Solo**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>> Acesso em: 03 jan de 2017.

ISLA, M. A review of the urban indicators experience and a proposal to overcome current situation. The application to the municipalities of the Barcelona province. **Paper to World**

Congress of Environmental and Resource Economists. Isola de San Giorgio, Venice, Italy: June 25-27, 1998.

IUCN; UNEP; WWF. **The World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development.** International Union for Conservation of Nature (IUCN), United Nations Environment Programme (UNEP) and World Wide Fund for Nature (WWF), Gland, Switzerland, 1980.

JANNUZZI, P. M. **Indicadores sociais no Brasil: conceitos, fontes de dados e aplicações.** Campinas: Alínea, 2004.

KHANNA, N. Measuring environmental quality: an index of pollution. **Ecological Economics**, v. 35, n. 2, p. 191-202, nov. 2000.

KEENEY, R. L. **Value-Focused thinking: A path to creative decision making.** Cambridge, MA: Harvard University Press, 1992

KEENEY, R.L.; GREGORY, R.S. Selecting attributes to measure the achievement of objectives. **Operations Research**, 53 (1): 1-11, 2005

KEENEY, R. L. & RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs.** New York: John Wiley, 1976.

KEENEY, R.L. e von WINTERFELDT, D. Practical value models. In: EDWARDS, W.; MILLES JR, R.F.; von WINTERFELDT, D., **Advances in decision analysis: from foundations to applications.** Cambridge University Press, Cambridge, p.232-252, 2007

LAL, R.; STEWART, B.A. **Need for land restoration.** Adv. Soil Sci., 17:1-11, 1992.

LOBÃO, S. B.; ROCHA, W. J. S. F.; SILVA, A. B. **Aplicação dos Índices KAPPA e PABAK na validação da classificação automática de imagem de satélite em Feira de Santana-BA** Disponível em: <<http://mar.te.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.14.18/doc/1207.pdf>>. Acesso em: 08 jul de 2016.

LOURENÇO, J.C. Modelo Aditivo hierárquico: exemplo de métodos de ponderação e problemas associados. **Artigo de investigação no 13/2002**, CEG-IST, Lisboa, 2002.

MACEDO, M.C.M. Degradação de pastagens; conceitos e métodos de recuperação In: **“SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL”**. Anais..., Juiz de Fora. 1999. P.137-150.

MAGINI, C.; CHAGAS, R. L. Microzoneamento e Diagnóstico Físico-Químico do Ribeirão das Araras, Araras – SP. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 22, n. 2, p. 195-208, 2003.

MEADOWS, D.H.; MEADOWS, D.L.; RANDERS, J.; BEHRENS, W.W. **The Limits to Growth.** Universe: New York, 1972

MMA - Ministério do Meio Ambiente Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/destaques/item/720>> Acesso em: 18 mar de 2016

MOLDAN, B.; BILHARZ, S. **Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development.** Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1997.

MUELLER, C. C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente.** Brasília: Editora UnB, 2007.

MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. **Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT - OECD., **Organization for Economic Cooperation and Development: core set of indicators for environmental performance reviews; a synthesis report by the group on the state of the environment**. Paris: OECD, 1993.

PAIVA SOBRINHO, R. **Apoio à decisão em sistemas socioecológicos complexos: uma proposta metodológica aplicada na avaliação ex-ante de políticas públicas utilizando moeda complementar**. Tese (Doutorado)–Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil, 2014.

PHILLIPS, L. D. A theory of requisite decision models. *Acta Psychologica*, 56, 29–48, 1984.

PRABHU, R., COLFER, C. J. P., DUDLEY, R. G. **Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable forest management**. Toolbox Series, n. 1. Indonesia: CIFOR, 1999.

QUINTAS, D. A. C.; STOLF, R.; CASAGRANDE, J. C. **Recuperação de Matas Ciliares na Microbacia do Ribeirão das Furnas no Município de Araras – SP**. Disponível em: <[http://www.cca.ufscar.br/drnpa/hprubismar_ARTIGOS/85._Recuperacao_de_matas_ciliares_na_micro_bacia_do_Ribeirao_das_furnas_no_Municipio_de_Araras_\(Stolf,R.\).pdf](http://www.cca.ufscar.br/drnpa/hprubismar_ARTIGOS/85._Recuperacao_de_matas_ciliares_na_micro_bacia_do_Ribeirao_das_furnas_no_Municipio_de_Araras_(Stolf,R.).pdf)> Acesso em: 08 jul de 2016

RAIFFA, H. Decision Analysis: A Personal Account of How It Got Started and Evolved. In: EDWARDS, W.; MILES, J.R.F., WINTERFELDT, D.V. (eds.). **Advances in Decision Analysis**. New York, NY: Cambridge University Press; p. 57–70, 2007.

RAIJ, B. V. A Capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. *Bragantia*, 28(8):85-112. 1969.

RAMSEY, F. P. 1926. Truth and Probability. In R. B. Braithwaite, (Ed.). F. P. Ramsey. **The foundations of mathematics and other logical essays**. London: Routledge and Kegan Paul, 1931.

REED, M.; FRASER, E. V. G.; MORSE, S.; DOUGILL, A. Integrating methods for developing sustainability indicators to facilitate learning and action. *Ecology and Society*, v. 10, n.1, 2005 [on line]. Disponível em <<http://www.ecologyandsociety.org/articles/1296.html>>. Acesso em: 08 jul de 2016.

REES, W. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economies leaves out. *Environment and Urbanization*, v. 4, n. 2, p. 121-130, 1992.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1986,167p.

ROMEIRO, A. R. (Org.). **Avaliação e Contabilização de Impactos Ambientais**. Campinas (Brasil): Editora UNICAMP, 2004. 400 p.

SHIELDS, D.; SOLAR, S.; MARTIN, W. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. *Ecological Indicator*, v. 2, n. 1-2, p. 149-160, nov. 2002.

SICHE, R. et al. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente e Sociedade**, Campinas v. X, n. 2, p. 137-148, jul.-dez. 2007.

SOARES, A. F.; ZONTA, M. **Produtos iconográficos e cartográficos gerados pela Embrapa Monitoramento por Satélite**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, nov. 1999.

SWIFT, M. J.; WOOMER, P. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: Definition and measurement. In: Mulongoy, K.; Merckx, R. (Ed.). **Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture**. IITA/K.U.Leuven, 1993. p 3-18.

TUNSTALL, D., Developing environmental indicators: definitions, framework, and issues. In: **WORKSHOP ON GLOBAL ENVIRONMENTAL INDICATORS**, Washington, DC: World Resources Institute, p. 7-8, Dec., 1992.

TÔSTO, S. G. **Sustentabilidade e valoração de serviços ecossistêmicos no espaço rural do Município de Araras, SP**. 217 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas, 2010.

VALLADARES, G. S. et al. **Índice de qualidade dos solos do Nordeste do Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2007. 16 p., il. (Circular Técnica, 13).

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 1.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2005, 256 p.

VIEIRA, P. M. S.; STUDART, T. M. C. Proposta Metodológica para o Desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidro - Ambiental de Áreas Serranas no Semiárido Brasileiro - Estudo de Caso: Maciço de Baturité, Ceará. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.14, n.4, p. 125-136, out/dez, 2009.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**, Nova York: John Wiley, 1992.

von WINTERFELDT, D., e EDWARDS, W. **Decision analysis and behavioral research**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1986

WACKERNAGEL, M.; REES, W., **Our ecological footprint**. Gabriola Island, BC and Stony Creek, CT: New Society Publishers, 1996.

WALL R.; OSTERTAG, K.; BLOCK, N., **Synopsis of selected indicators systems for sustainable development. Report of the research project**. Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, 1995.

WCED, World Commission on Environment and Development. **Our Common Future**. Oxford, U.K.: Oxford University Press, 1987. 383 p.

ANEXO 1 – DADOS TABULADOS DA ANÁLISE DO SOLO

Amostra	Identificação da Cultura	Média das 2 profundidades (0-15cm e 15-30 cm)						g cm-3 Densidade
		g/dm3 MO	mg/dm3 P	mmolc/dm3 K	mmolc/dm3 Ca	mmolc/dm3 Mg	pH	
A3	Café	35	47	5,1	12,5	6,5	4,25	1,15
A26	Café	34	35	2,5	31,5	12	5,1	1,39
A27	Café	34,5	8,5	5,6	42,5	11,5	5,25	1,52
A76	Café	26,5	21	8,35	26	10,5	4,85	1,26
A77	Café	32	24	8,5	18,5	4,5	4,65	1,23
Média = Valor de campo		32,40	27,10	6,01	26,20	9,00	4,82	1,31
A7	Cana crua	35	21	4,25	24	7	4,6	1,29
A56	Cana crua	30	6,5	1,15	20,5	6	4,55	1,39
A58	Cana crua	26	20,5	4,35	34,5	8	5,1	1,39
A64	Cana crua	29,5	77	0,65	25,5	7,5	4,9	1,41
A65	Cana crua	28,5	17,5	5,65	25	7,5	5,15	1,42
A71	Cana Crua	42	17	4,05	25	10,5	4,8	1,44
A72	Cana crua	34	53,5	2,9	36	6,5	4,85	1,05
A100	Cana crua	29,5	55,5	2,8	27,5	7,5	4,85	1,16
A106	Cana crua	30,5	11	7,6	29	12	5,2	1,28
A114	cana crua	32	19	1,4	14	7	4,25	1,49
A1	Cana de Açúcar	35	17,5	0,95	20	11	4,7	1,35
A2	Cana de Açúcar	32,5	39	2,1	33	11	4,85	1,41
A13	Cana de Açúcar	26,5	21,5	5,9	49	14	5,6	1,53
A14	Cana de Açúcar	23,5	60	1,65	18	7,5	4,7	1,30
A20	Cana de Açúcar	22,5	12	1,6	22	4,5	4,9	1,52
A28	Cana de Açúcar	13,5	9	1,4	91,5	45,5	6,7	1,44
A31	Cana de Açúcar	21	15,5	1,5	22,5	6	4,95	1,38
A32	Cana de Açúcar	17,5	26	1,05	4,5	1	3,85	1,44
A35	Cana de Açúcar	21,5	3,5	0,8	5,5	2,5	4,05	1,44
A38	Cana de Açúcar	25,5	4	0,55	18,5	8	4,7	1,17
A40	Cana de Açúcar	20	12,5	1,05	14,5	6	4,55	1,50
A43	Cana de Açúcar	31,5	5	1,35	29	17	4,6	1,33
A45	Cana de Açúcar	31,5	10,5	2,65	7,5	3	3,9	1,31
A46	Cana de Açúcar	33,5	28,5	5,25	39	13	5	1,34
A50	Cana de Açúcar	21,5	2	1,65	23,5	9	4,3	1,56
A52	Cana de açúcar	23	1	7,45	17,5	6,5	4,15	1,27
A54	Cana de Açúcar	33	27	3,45	24,5	10	4,65	1,11
A60	Cana de Açúcar	35	6,5	1,15	37,5	12	4,25	1,18
A62	Cana de Açúcar	27,5	18	4,35	14,5	5	4,5	1,41
A63	Cana de Açúcar	34,5	28,5	4,3	41	11,5	5,15	1,38
A66	Cana de Açúcar	35	103	4,25	44	15,5	5,2	1,19
A67	Cana de Açúcar	32	18	4,65	23,5	8	4,65	1,18
A70	Cana de Açúcar	32	8,5	1,55	18	6	4,6	1,15
A75	Cana de Açúcar	27	55	1,65	71,5	29	6,3	1,23
A82	Cana de Açúcar	35	18	8,35	21,5	9	4,5	1,22
A84	Cana de Açúcar	37,5	33	3,2	36	8,5	5,1	1,28
A87	Cana de Açúcar	19,5	12	3,75	27,5	12,5	5,15	1,46
A89	Cana de Açúcar	27,5	5,5	2,25	27	11	4,9	1,31
A90	Cana de Açúcar	28,5	6,5	1,1	12,5	5,5	4,35	1,30
A92	Cana de Açúcar	27	38,5	2	27,5	9	4,85	1,49
A93	Cana de Açúcar	27	13	2,35	38,5	12,5	5,5	1,33
A95	Cana de Açúcar	24,5	6	5,1	24,5	8	5,35	1,45
A98	Cana de Açúcar	20,5	10	1,2	23	8,5	5,05	1,57
A101	Cana de Açúcar	28	36,5	0,85	40	18	5,35	1,34
A104	Cana de Açúcar	54,5	12,5	1,5	8	3	3,95	1,19
A109	Cana de Açúcar	29,5	27,5	1,5	37,5	13	5,4	1,35
A111	Cana de Açúcar	25,5	7,5	1,5	25,5	10	5,05	1,53
A112	Cana de Açúcar	23,5	9,5	1,15	6	1,5	3,85	1,63
A9	Cana de Açúcar	45	14,5	1,15	40	16	4,85	1,23
Média = Valor de campo		29,10	22,06	2,73	27,47	9,96	4,82	1,35

Amostra	Identificação da Cultura	Média das 2 profundidades (0-15cm e 15-30 cm)						
		g/dm ³ MO	mg/dm ³ P	mmolc/dm ³ K	mmolc/dm ³ Ca	mmolc/dm ³ Mg	pH	g cm-3 Densidade
A49	Cana queimada	33,5	7	10,15	17,5	5,5	4,6	1,22
Amostra = Valor de campo		33,5	7	10,15	17,5	5,5	4,6	1,22
A4	Citrus	30	34,5	2,2	55,5	20	5,6	1,30
A8	Citrus	29,5	17	1,35	15,5	6,5	4,45	1,21
A16	Citrus	17,5	45	0,6	11	2,5	4,25	1,46
A19	Citrus	21,5	36,5	1,45	30,5	15	5,55	1,55
A22	Citrus	23,5	57	3,7	25	7	4,95	1,44
A23	Citrus	21	6,5	2,1	22	9,5	5,2	1,47
A24	Citrus	22,5	33,5	2	14	3	4,4	1,44
A29	Citrus	15,5	7,5	0,9	24,5	12,5	5,55	1,43
A33	Citrus	15	12	2,8	25,5	9	5,45	1,41
A34	Citrus	17	15,5	3,6	22,5	11	5,3	1,41
A36	Citrus	30,5	30	3,4	34,5	19,5	5,4	1,33
A41	Citrus	24,5	33	1,75	35	23	5,5	1,25
A68	Citrus	29,5	8	5,4	39,5	15	5,2	1,24
A78	Citrus	29,5	57,5	7,85	50,5	15,5	5,65	1,37
A80	Citrus	33,5	64	3,75	60,5	19	5,9	1,27
A85	Citrus	35	15,5	1,35	30,5	13	5,05	1,32
A88	Citrus	21,5	50,5	3,75	30	8	4,8	1,42
A91	Citrus	19,5	32	1,65	30,5	13,5	5,8	1,51
A94	Citrus	22,5	3,5	0,75	22	15	5,25	1,52
A96	Citrus	26	6	1,85	33,5	15	5,5	1,41
A99	Citrus	28	14,5	2,65	19,5	5,5	4,65	1,34
A105	Citrus	34	51,5	7,35	42	11	5,25	1,39
A107	Citrus	30	48	2	25,5	11,5	4,95	1,22
A108	Citrus	30	13,5	1,1	16,5	6,5	4,5	1,43
A110	Citrus	31,5	105,5	2,15	55	12,5	5,9	1,16
A113	Citrus	26,5	31,5	3,15	52	18	6,2	1,48
A115	Citrus	21	13	4,15	23	5,5	5,05	1,51
Média = Valor de campo		25,41	31,20	2,77	31,33	11,96	5,23	1,38
A15	Pastagem	33	7	1	16	8	4,65	1,48
A17	Pastagem	19	4,5	0,5	13,5	4	4,85	1,58
A18	Pastagem	16,5	2,5	1,15	10	2,5	4,3	1,63
A42	Pastagem	31	6	1,3	12	6,5	4,4	1,33
A44	Pastagem	24,5	2,5	1,05	10,5	5	3,95	1,45
A53	Pastagem	20,5	4	1,75	10,5	3,5	4,7	1,53
Média = Valor de campo		24,08	4,42	1,13	12,08	4,92	4,48	1,50