

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA DE MUNICÍPIOS – APLICAÇÃO EM CAMBARÁ DO SUL E CRISTAL

André Luis Bianchi^{1 4}; Sérgio Souza Dias²; Fábio Adriano Berlitz²; Gilnei Carvalho Ocácia^{3 4}

RESUMO

A visão de desenvolvimento e qualidade de vida dos dias de hoje, requerem que isto ocorra de forma sustentada em todas as suas dimensões. Pensando nisto, fica claro que para auxiliar nas tomadas de decisão para definir as melhores formas de se gerar e utilizar a energia é necessário se estabelecer critérios técnicos objetivos para diferentes escalas de comunidades. A relevância deste trabalho está, justamente, em sua proposta de criar subsídios que apoiem a tomada de decisão, orientando o planejamento e mostrando as potencialidades de cada fonte e definindo indicadores para o uso sustentável da energia. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar e aplicar uma série de indicadores para caracterizar o nível de autossuficiência energética e orientar ações de comunidades visando à sustentabilidade. Esta caracterização é realizada através de indicadores que levaram em consideração: ações da sociedade, o uso da energia; os tipos de fontes energéticas disponíveis nas localidades e uma avaliação econômica para determinar o investimento ou não em gerações locais. Assim, foram criados indicadores que avaliam e orientam a construção de modelos regionalizados mais sustentáveis. Também foram definidas ações que se aplicadas tornariam a localidade mais autossustentável. A fim de validar a ferramenta, foram feitas duas avaliações em municípios do Rio Grande do Sul. O resultado evidenciado foi a facilidade de aplicação da ferramenta, bem como a considerável mudança nos índices se as ações de melhoria fossem aplicadas.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Indicadores, Energia Renovável.

ABSTRACT

The vision of development and quality of life of today require that this happens in a sustainable manner in all its dimensions. Knowing this, it is clear that to help in decision-making to define the best ways to generate and use energy is necessary to establish objective criteria and techniques of the different scales of communities. The relevance of this work is precisely in its proposal for grants to support decision making, guiding the planning and shows the potential of each one through of the indicators for the sustainable use of energy. This work was developed in order to present and implement a range of indicators to characterize the level of energy self-sufficiency activities and directly to the sustainability of communities. This characterization is done through indicators that take into account: the shares of energy use, the types of energy sources available in the towns and an economic evaluation to determine whether or not investment in local generation. Thus, indicators have been developed to evaluate and guide the construction of more sustainable models regionalized. They also defined the actions that if implemented would make the town more self sufficient. In order to validate the tool, the evaluations are conducted in two municipalities of Rio Grande do Sul. The result shown is the ease of application of the tool and the significant change in rates, if the improvement actions have been implemented.

Keywords: Indicators of Sustainability, Renewable Energies.

¹ Automação Industrial / Faculdade Senai de Tecnologia de Porto Alegre – FATEC, Porto Alegre (Brasil)

² Companhia Estadual de Energia Elétrica – CEEE, Porto Alegre (Brasil)

³ Engenharia Elétrica / Universidade Católica de Pelotas, Pelotas (Brasil)

⁴ Engenharias / Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, Canoas (Brasil)

1 INTRODUÇÃO

Até a revolução industrial as fontes renováveis de energia como a biomassa, a solar direta, a energia hidráulica e eólica, eram muito utilizadas e a partir de então foram substituídas pelo carvão. Em meados do século XX, o petróleo passou a ser utilizado em larga escala, vindo a constituir o principal energético usado pela humanidade. Estas trocas impulsionaram o desenvolvimento, porém, devido a serem energéticos fósseis não renováveis trouxeram grandes prejuízos ambientais.

Além disso, por terem seus reservatórios concentrados e por serem consideradas baratas e inesgotáveis, não sendo sua finitude motivo de preocupação, motivaram o desenvolvimento dos modelos atuais de assentamentos urbanos, constituindo metrópoles e megalópoles, que cresceram de forma desordenada e caótica [1].

Qualidade de vida e desenvolvimento são tradicionalmente associados a crescentes consumos de energia. A atual visão de desenvolvimento requer que isto ocorra de forma sustentada em todas as suas dimensões. Dificuldades são encontradas, por isso, é necessário se estabelecer critérios técnicos objetivos, que auxiliem nas tomadas de decisão para definir as melhores formas de se gerar e utilizar a energia, isto para diferentes escalas de comunidades. A relevância deste trabalho está, justamente, em sua proposta de criar subsídios que apoiem a tomada de decisão, orientando o planejamento e mostrando as potencialidades de cada fonte e definindo indicadores para o uso sustentável da energia.

Assim, o presente trabalho trata do ajuste, aplicação e avaliação de uma ferramenta elaborada para “Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Energética em Municípios” e que teve como estudo de caso os municípios de Cambará do Sul e Cristal. O resultado do trabalho foi a validação de uma série de indicadores de sustentabilidade energética tendo como base para o trabalho, dados públicos. As ações de melhoria propostas foram aplicadas de forma hipotética e o resultado obtido foi uma alteração do indicador de sustentabilidade atual.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos dias de hoje a questão energética é tema central nas discussões mundiais sobre a alteração climática, isto devido ao fato de o mundo ser extremamente dependente de combustíveis fósseis, ou seja, fontes não renováveis [2]. Práticas que visem à sustentabilidade são cada vez mais urgentes, a fim de que não haja no futuro um colapso energético devido ao esgotamento das fontes.

O conceito de sustentabilidade segundo a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento é “o desenvolvimento ocorrer suprindo as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades”, ainda pode-se agregar a isto a ideia da Agenda 21 que conceitua o termo como o “desenvolvimento com perspectivas de longo prazo, integrando os efeitos locais e regionais da mudança global no processo e utilizando os melhores conhecimentos científicos e tradicionais disponíveis” [2] [3]. Conforme SACHS [4] [5] a sustentabilidade pode ser obtida respeitando cinco dimensões.

As cinco dimensões da sustentabilidade são especificadas como segue:

1. Sustentabilidade Social: construir uma civilização com maior equidade na distribuição de renda, de modo a melhorar os direitos e as condições de amplas massas de população e a reduzir a distância dos padrões de vida classes sociais.

2. Sustentabilidade Econômica: locação e gestão mais eficientes dos recursos e por um fluxo regular de investimento público. A eficiência econômica deve ser avaliada considerando critérios mais macro-sociais do que somente por meio de critérios de lucratividade empresarial.

3. Sustentabilidade Ecológica: é obtida com a limitação do uso de combustíveis fósseis e de outros recursos facilmente esgotáveis e ambientalmente prejudiciais. Para isso, necessita-se aumentar a utilização das fontes renováveis de energia e reduzir o volume de resíduos através do incremento do uso racional dos recursos naturais e da reciclagem, além de intensificar as pesquisas e a definição de regras e instrumentos de garantia para proteção ambiental.

4. Sustentabilidade Espacial: propõe uma configuração rural e urbana mais equilibrada e uma melhor distribuição territorial de assentamentos humanos e das atividades econômicas.

5. Sustentabilidade Cultural: trata-se da utilização de sistemas rurais integrados de produção, devendo propor mudanças culturais que introduzam os conceitos de eco desenvolvimento e que respeitem as especificidades de cada ecossistema, de cada cultura e de cada sociedade.

Segundo WRI [6], bons indicadores devem atender às seguintes características:

- Representatividade: representar com relevância o produto ou processo identificado;
- Comparabilidade: ser comparáveis tanto no espaço como no tempo;

- Coleta de dados: fontes confiáveis deverão existir para suprir os dados;
- Clareza e síntese: transmitir a informação de modo simples sendo a síntese do identificado;
- Previsão e metas: prever problemas visando soluções e ser instrumento para definição de metas.

Na definição dos indicadores e quanto sua importância, os agentes tomadores de decisão, geralmente, possuem pontos de vista conflitantes e diferentes juízos de valores, assim é necessário que estas diversidades sejam integradas [7]. Para a definição da importância de cada indicador em relação aos demais, os métodos multicritérios de apoio a decisão (MMAD) aparecem como uma opção para consecução desse propósito [8].

O MMAD AHP (Analytic Hierarchy Process), segundo Barbarosoglu e Pinhas (*apud* [8]), é aplicado para sistematizar a uma ampla gama de problemas de decisão nos contextos: econômico, político, social e ambiental. Este método baseia-se na capacidade de a informação e a experiência para estimar magnitudes relativas através de comparações par a par (pairwise comparisons). Seu uso é indicado para situações que envolvam priorização através da avaliação de um conjunto de critérios [8]. A aplicação do método AHP pode ser dividida em duas fases: estruturação e avaliação.

A estruturação, trata da decomposição do problema em uma estrutura que apresente os critérios que exprimem os objetivos e sub-objetivos, e as alternativas que envolvem a decisão. Já a avaliação caracteriza-se pela definição do tipo de problema a ser adotado, determinando assim se os critérios serão: a) analisados de forma relativa ou absoluta; b) ordenadas ou escolhidas, c) aceitas ou rejeitadas [8].

3 METODOLOGIA

As etapas do trabalho foram: verificar o potencial energético de cada localidade, bem como as demandas energéticas locais; avaliar as alternativas de fontes energéticas por município, verificando os potenciais de troca de sistemas convencionais, por fontes renováveis, considerando alterações nos padrões de consumo, através de ações de uso racional de energia; realizar a ponderação dos resultados a serem obtidos através de indicadores sócio-econômicos, energéticos e ambientais, estabelecendo o índice geral de sustentabilidade do município pesquisado; definir e simular a aplicação de ações que visem à melhoria desse índice; e, por fim, a avaliação da ferramenta desenvolvida, que consiste em

uma série de indicadores bem como das ações a serem desenvolvidas, com o intuito de melhorar a sustentabilidade energética dos municípios.

O objetivo na definição dos indicadores foi relacionar o conceito de sustentabilidade às características que devem orientar a seleção de bons indicadores e as dimensões da sustentabilidade conforme Ignacy Sachs [4].

Foram definidos os indicadores a serem utilizados baseados nos cinco pilares da sustentabilidade e buscando ser subsidio para o apoio na tomada de decisão em prol da sustentabilidade. A proposta dos indicadores contemplou parâmetros relacionados com ações da sociedade, com relação à utilização racional da energia; com o tipo de fonte energética, com o rendimento e a alteração ambiental que as fontes utilizadas geram; com o uso da energia e estão relacionados à viabilidade econômica de se alterar a matriz energética.

Inicialmente, foram criados trinta indicadores distribuídos nas cinco dimensões estabelecidas por Sachs [4]: social; econômica, ambiental, espacial e cultural. Estes indicadores foram submetidos a uma consulta MMDA AHP a 25 profissionais, de áreas cujas atividades estivessem relacionadas com o tema energia a fim de determinar a importância de cada indicador, resultando em um peso individual. Esses profissionais avaliadores atuam em empresas de produção, transmissão, distribuição e regulação de energia, em universidades e prefeituras, sendo: sete (7) engenheiros eletricitas, cinco (5) engenheiros mecânicos, quatro (4) engenheiros civis, três (3) administradores de empresas, três (3) biólogos, dois (2) agrônomos e um (1) químico.

A análise MMDA consistiu em uma entrevista onde o profissional avaliou todos os indicadores, um em relação ao outro e pontuou qual seria o indicador mais significativo no confronto par a par. Por exemplo, o indicador 1 frente ao 2 se mais importante receberá 1 ponto, após o 1 frente ao 3 e assim sucessivamente, o mesmo ocorre com todos os outros. Aqueles indicadores que tiveram um peso inferior a 1% de significância no escopo total foram descartados e os pesos redistribuídos.

Como meio de avaliar a eficiência dos indicadores, duas cidades situadas no estado do Rio Grande do Sul, sul do Brasil, foram utilizadas como referenciais, ou seja, estudos de caso, onde se aplicou o questionário definido anteriormente. Os resultados foram um diagnóstico energético e a apresentação de possíveis medidas, ou ações de melhoria, a serem aplicadas nas duas cidades. Sempre visando o uso sustentado da energia.

As duas comunidades avaliadas foram os municípios de Cambará do Sul e Cristal, o primeiro localizado no norte do Estado do Rio Grande do Sul, em uma região de serra, o

segundo localizado na região centro-leste. São pequenos municípios, em termos de economia, mas com características peculiares em função de suas estruturas, tipos de relevo e vocações econômicas diferenciadas, assim como potenciais para algum tipo de fonte energética disponível, como, por exemplo: a biomassa, a eólica, hídrica, etc.

Tal escolha se deu devido à alta dependência das duas cidades de energia externa, ou seja, a produção local não supre as necessidades, tendo assim, balanços energéticos negativos. Os dados utilizados são dados públicos. A caracterização dos municípios de Cambará do Sul e Cristal se dá no sentido de avaliação energética, analisando o consumo de energia, compreendendo a eletricidade, combustíveis líquidos como o álcool, a gasolina e o diesel, além destes, o uso de GLP. Avaliam-se também os potenciais energéticos na agropecuária, com um apanhado dos principais cultivos locais, sejam temporários ou permanentes, com possibilidade de geração de energia, também o potencial eólico, solar e hídrico. Também foram feitas simulações das possibilidades de geração de energia de forma local, visando à sustentabilidade energética do município.

4 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA E AÇÕES DE MELHORIA

Na definição de indicadores para sistemas energéticos é importante levar em consideração as ações da sociedade relacionadas ao uso racional da energia, as fontes de energia disponíveis localmente e que tenham um potencial de uso interessante tecnicamente, avaliando seu rendimento e a alteração ambiental que suas utilizações geram. Além de avaliar se economicamente tal exploração é viável. Os indicadores avaliam a situação atual e para que uma situação futura mais sustentável seja alcançada, ações de melhoria foram determinadas para a busca da sustentabilidade.

Onze indicadores de sustentabilidade energética restaram da avaliação MMDA, para facilitar o uso, divididos em três áreas. A primeira é referente às Ações da Sociedade e Uso da Energia, trata da relação municipal com a energia, que diz respeito a programa de incentivo ao uso consciente da energia, a relação da energia consumida localmente, se é renovável ou não e se há planejamento em relação a zoneamento e projetos ambientais para o município. A segunda área se refere ao potencial de produção de energia local, se há nos municípios alguma fonte de energia que possa ser explorada, tal avaliação tem um cunho técnico, levando em conta as questões físicas e ambientais da localidade. Uma avaliação

econômica da geração de energia local também se faz necessária e a terceira área discorre justamente sobre isto, avaliando se há necessidade em função de desenvolvimento e se o investimento na geração de energia não será difícil devido a falta de tecnologia e/ou mão-de-obra.

Os indicadores foram submetidos a avaliação dos profissionais ligados ao ramo da energia e isto resultou em um peso para cada indicador. Este peso é um multiplicador que será aplicado ao resultado obtido nas avaliações. Tais resultados obtidos para cada indicador no estudo de sustentabilidade energética sempre será: +1 (mais um), 0 (zero) ou -1 (menos um). Isto é feito para tornar a ferramenta de fácil aplicação.

Na aplicação dos indicadores, aqueles sobre a Sociedade e o Uso da Energia (IA) são avaliadores da localidade, portanto aparecem apenas uma vez no escopo final. Já os indicadores de Fontes de Energia e Economia (IB), avaliam as fontes de energia da localidade de forma individual, somando-se os resultados no final, ou seja, se a localidade possuir 5 (cinco) fontes de energia aproveitáveis, serão aplicados os indicadores para cada uma das fontes e os resultados somados. O produto da soma pelo peso resultará no valor do indicador. As equações 1 e 2 apresentam o cálculo dos índices.

$$I_A = V_{INDICADOR} \cdot P_{INDICADOR} \quad (1)$$

$$I_B = \left(\sum_1^n V_{IND_FONTE} \right) \cdot P_{INDICADOR} \quad (2)$$

Onde: IA e IB são os resultados dos indicadores, VINDICADOR e VIND_FONTE são os valores dos indicadores (+1, 0 ou -1) e PINDICADOR o peso do indicador.

A Tabela 1 apresenta a organização dos indicadores que a seguir serão comentados de forma individual.

4.1 – Indicadores relacionados à Sociedade e Uso da Energia

A seguir são descritos os indicadores 1, 2 e 3.

1. Programa de incentivo ao uso consciente da energia – indica se a comunidade estimula a informação e o conhecimento sobre a necessidade do uso racional e eficiente das energias. Se há programas locais o valor do indicador é 1 (mais um), caso na cidade só existam os informativos estaduais ou nacionais o valor é 0 (zero), ou se não houver nenhum tipo de informativo ou campanha o valor é -1 (menos um).

2. Relação Energia Renovável x Não Renovável – indica a proximidade dos padrões desejados de consumo energético, ou seja, o uso de energia proveniente de fontes renováveis. Se a energia consumida localmente tiver um percentual maior proveniente de fontes renováveis o valor do indicador é 1 (mais um), se for a metade, 50%, o valor é 0 (zero), ou se percentual maior de energia proveniente de fontes não-renováveis o valor é -1 (menos um).

Tabela 1: Indicadores de Sustentabilidade Energética

Área	Indicadores	Peso	
Sociedade e Uso da Energia	1. Programa de incentivo ao uso consciente da energia	11,69%	
	Local = 1		
	Nacional / Estadual = 0		
		Não tem = -1	
	2. Relação Energia Renovável x Não Renovável	Renovável Maior = 1	7,36%
		Iguais = 0	
		Não Renovável Maior = -1	
	3. Comitê Gestor - Zoneamento e Projeto Ambiental	Zoneamento e Projeto Ambiental = 1	3,19%
		Zoneamento = 0	
Nenhum = -1			
Fontes de Energia	4. Potencial Local - Se é renovável	10,22%	
	Renovável = 1		
	Não renovável = 0		
		Não tem = -1	
	5. Características Geofísicas - Possibilidade de Esgotamento	Solo, terreno, material – suficientemente disponível no local = 1	16,91%
		Solo, terreno, material – disponível regionalmente = 0	
		Solo, terreno, material – possível esgotamento = -1	
	6. Geração de Resíduos	Balanço positivo = 1	5,62%
		Balanço zero = 0	
		Balanço negativo = -1	
	7. Impacto Ambiental	Aceitável, benefícios ambientais maiores = 1	5,62%
		Agressivo, com benefícios ambientais = 0	
Agressivo, sem benefícios ambientais = -1			
Economia	8. Demanda Atual	7,78%	
	Geração local atende toda a demanda atual = 1		
	Geração local não atende toda a demanda = 0		
		Não há Geração local = -1	
	9. Tecnologia	Local ou Regional = 1	8,82%
		Nacional = 0	
		Importada = -1	
	10. Custo Marginal de Expansão (Instalação) – CME	Baixo (tecnologia e MO disponível) = 1	11,63%
		Moderado (MO disponível) = 0	
		Alto (tecnologia e MO indisponíveis) = -1	
	11. Custo Marginal de Operação – CMO	Baixo (tecnologia e MO disponível) = 1	11,16%
Moderado (MO disponível) = 0			
Alto (tecnologia e MO indisponíveis) = -1			

3. Zoneamento e Projeto Ambiental – este indicador busca avaliar organização municipal em relação a zonas urbanas, comerciais, industriais e rurais e isto irá refletir no desenvolvimento de projetos e ações que visem o uso sustentado da energia nas localidades. A questão ambiental também é contemplada, pois sem ela é impossível pensar em sustentabilidade. Existindo projetos de zoneamento e projetos ambientais municipais o valor do indicador é 1 (mais um), se existir apenas um projeto local de zoneamento, o valor é 0 (zero), ou não existir projetos de zoneamento e ambiental o valor é -1 (menos um).

4.2 – Indicadores relacionados Fontes de Energia

Como é possível que existam mais de um potencial interessante tecnicamente nas localidades, os indicadores 4, 5, 6, 7,8, 9, 10 e 11 deverão ser repetidos para cada tipo de fonte energética. Por exemplo, se existirem potenciais de geração a carvão e com soja, os indicadores acima citados serão empregados duas vezes. A seguir seguem as descrições dos indicadores 4, 5, 6 e 7.

4. Potencial Local – avalia se existe potencial energético local passível de exploração, ou sendo explorado. Este indicador não leva em conta apenas os potenciais renováveis, mas sim qualquer potencial. Se o potencial local referido é renovável o valor do indicador é 1 (mais um), caso o potencial seja não renovável o valor é 0 (zero), se não houver ou não estiver sendo explorado o valor é -1 (menos um). Considera-se menos um, pois o balanço energético local continuará negativo, ou seja, não haverá sustentabilidade.

5. Características Geofísicas – O indicador avalia se no município há condições de ter a geração de energia com o potencial local, seja ela através de solo adequado para o plantio, área disponível para a planta geradora – espaço e autorização ambiental, além do material necessário para geração, se este não irá se esgotar com o uso. Se as características são suficientemente disponíveis no local o valor do indicador é 1 (mais um), caso haja a necessidade de buscar apoio nos municípios vizinhos o valor do indicador é 0 (zero) e se houver a possibilidade do esgotamento do energético o valor é -1 (menos um), ou seja, não haverá sustentabilidade.

6. Geração de Resíduos (sólidos, NO_x, SO_x, CO₂, lixo tóxico e radioativo, etc.) – indica o impacto da geração de energia no efeito estufa, chuva ácida, emissão de material particulado

na atmosfera, etc.. Se existe a geração de resíduos sem o tratamento adequado (filtragem ou reciclagem) o balanço é negativo e o valor será -1 (menos um), caso exista o tratamento adequado ou não houver geração de energia local o valor será 0 (zero) e se não houver resíduos o valor é 1 (mais um).

7. Impacto Ambiental – se o balanço de carbono é positivo, a captura de carbono no processo de geração de energia é maior que a emissão, ou se a instalação energética não invade áreas utilizadas por plantações ou comunidades já instaladas, pode-se dizer que o impacto ambiental é aceitável, que os benefícios ambientais são maiores que os prejuízos. Assim o valor do indicador é 1 (mais um). Se existir um impacto razoável, com prejuízos a comunidade, porém há um retorno maior para o meio ambiente, o indicador tem valor 0 (zero). Caso o impacto da geração local traga problemas sociais e não tenha um retorno ambiental satisfatório, -1 (menos um) é o valor do indicador.

4.3 – Indicadores relacionados à Economia

8. Demanda Atual – o indicador avalia se o investimento em fontes energéticas locais estabelece um balanço positivo em termos energéticos, ou seja, possibilite a sustentabilidade energética do município. Se a geração local atender toda a demanda atual o valor do indicador é 1 (mais um). Caso a geração local atender parcialmente a demanda o valor é 0 (zero). Não sendo possível ou não existindo a geração local o indicador tem valor igual a -1 (menos um).

9. Tecnologia – o indicador trata da facilidade encontrada para a aquisição dos equipamentos necessários para implantação das novas gerações energéticas. Caso os equipamentos possam ser encontrados na própria localidade ou dentro do estado o valor do indicador é 1 (mais um). Sendo um equipamento de fabricação nacional ou não existindo geração o valor é 0 (zero). O indicador tem valor -1 (menos um), quando o equipamento necessário tem que ser importado.

10. Custo Marginal de Expansão - CME – indica a viabilidade econômica do investimento na geração de energia elétrica. Isto por que o foco do trabalho e da CEEE é a geração de eletricidade. O CME é o custo por MWh de referencia estipulado pela Aneel [9] para investimentos em geração de energia elétrica. Se o custo do empreendimento for inferior ao CME o valor do indicador será 1 (mais um), caso o custo seja superior ao CME, o valor é 0 (zero). Não havendo possibilidade de geração local o valor do indicador é -1 (menos um).

11. Custo Marginal de Operação - CMO – indica a viabilidade econômica do investimento

quanto a manutenção e operação. Isto por que o foco do trabalho e da CEEE é a geração de eletricidade. O CMO é o custo por MWh de referencia estipulado pela Aneel [9] para manutenção e operação de empreendimentos em geração de energia elétrica. Se o custo de manutenção e operação do empreendimento for inferior ao CMO o valor do indicador será 1 (mais um), caso o custo seja superior ao CMO, o valor é 0 (zero). Não havendo possibilidade de geração local o valor do indicador é -1 (menos um).

4.4 - Ações de melhoria para o uso sustentado da energia

1. Investir em campanhas educacionais locais que visem a utilização racional da energia. Por exemplo: o uso quando necessário dos equipamentos elétricos, a utilização de transporte coletivo, manutenção de equipamentos elétricos (ex.: troca da borracha da porta da geladeira), automotores (ex.: regulagem do motor), etc.
2. Campanhas de conscientização quanto ao uso de equipamentos com melhor rendimento energético. Por exemplo: eletrodomésticos com selo A do Procel, carros com melhor rendimento, motores de alto rendimento, etc.
3. Incentivo fiscal para produtos com melhor rendimento energético. Produtos com selo A do Procel, com maior eficiência energética ou com menor geração de resíduos que os modelos comerciais similares devem ter uma taxa fiscal diferenciada para incentivar o uso pelos consumidores e o desenvolvimento por parte dos fabricantes.
4. Instituição de uma ou mais comissões locais que visem o desenvolvimento e avaliação de projetos e programas objetivando a sustentabilidade. Seja no âmbito social, industrial, comercial ou público. Como uma estrutura multidisciplinar, que represente todos os seguimentos de interesse local como indústria, comércio, poder público e sociedade, esta (s) comissão (ões) deve (m) ter autonomia para propor e vetar projetos municipais ou regionais.
5. Investir na utilização de geração local com base em fontes renováveis. O uso de fontes renováveis deve levar em consideração, principalmente, o impacto ambiental, seguido pelo social e por fim o econômico. Ou seja, sendo a substituição de um tipo de fonte não renovável ou com geração distante da localidade, deve-se observar o impacto ambiental local e regional antes de tudo. Caso o impacto seja considerável o seu uso deve ser descartado.

6. Programa de apoio à substituição de insumos energéticos não renováveis por fontes renováveis. Por exemplo, a substituição de óleo em caldeiras por biomassa ou biodiesel, o aquecimento de água por painéis solares, etc.
7. Desenvolvimento de programas de incentivo ao uso dos resíduos que tenham potencial energético, dentro da mesma instalação geradora, seja ela: residencial, comercial ou industrial. Por exemplo, utilizar a casca do arroz como fonte de calor no processo ou dentro da planta, utilizar os resíduos orgânicos como adubo, etc.

5 CARACTERIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS

Através da caracterização dos municípios de Cambará do Sul e Cristal, se evidenciou que o potencial energético é bastante pronunciado (por exemplo: com biomassa e hídrica) e isto faz com que se tenha a expectativa de que com o aproveitamento das fontes locais o balanço energético seja positivo.

A cidade de Cambará do Sul fica localizada a norte do Estado, tem uma área pouco superior a 1200 km² e uma população de 6550 habitantes [10]. Sua economia está baseada na agropecuária e turismo. Ainda existe na cidade uma grande indústria de celulose. O município de Cristal fica localizado na região centro leste do Estado, tem uma área de 681,2 km² e uma população de 7280 habitantes. Sua economia está baseada na agropecuária [10].

A tabela 2 apresenta o consumo energético do município de Cambará do Sul e Cristal no ano de 2008.

Tabela 2: Consumo de energia em Cambará do Sul e Cristal em tep no ano de 2008.

	Cambará do Sul	Cristal
Energia Elétrica *		
Comercial / Serviços	185,07	186,87
Industrial**	7030,41	32,16
Residencial	253,52	159,27
Rural	41,19	421,65
Combustíveis Líquidos		
Etanol	46,44	61,02
Óleo Diesel***	2306,45	3080,78
Gasolina****	862,01	739,20
Gás		
GLP	668,65	665,93
Biomassa		
Lenha	642,02	29,76
Total	12035,79	5376,66

* A eletricidade usada no Rio Grande do Sul é 86.4% proveniente de fontes renováveis [11].

** Em Cambará do Sul existe uma grande empresa que produz a eletricidade que consome com base em PCH e biomassa. Sua geração em 2008 foi de 6439.68 tep;
 *** Em 2008 todo óleo diesel usado no País possuía 2% de biodiesel B100 em seu volume [11];
 **** Em 2008, a gasolina usada no País tinha 25% de etanol em seu volume [11].

Em termos de sustentabilidade é importante observar a parcela da energia consumida nas localidades provenientes de fontes não-renováveis e renováveis. Em Cambará do Sul existe uma distorção no consumo da energia em função da companhia de celulose instalada na cidade e que provem sua própria energia elétrica. Esta energia significa 53.5% de toda energia consumida no município. A Figura 1 apresenta a relação entre a energia consumida proveniente de fontes renováveis versus não-renováveis.

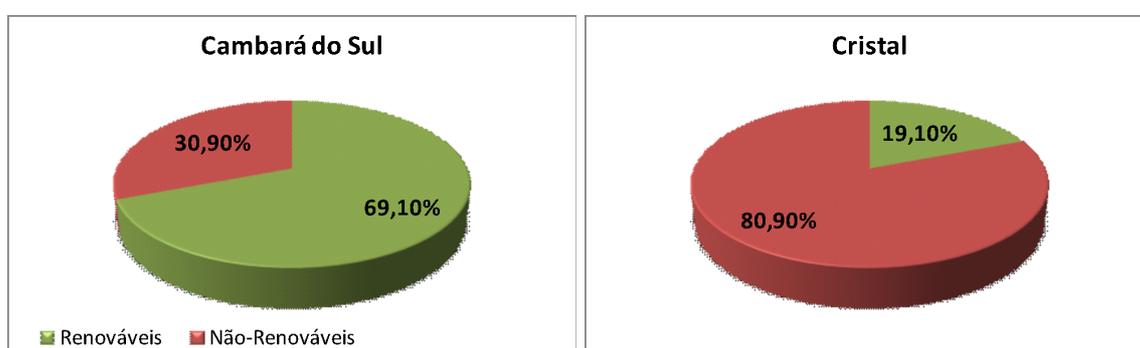


Figura 1: Relação entre consumo de energia proveniente de fontes Renováveis x Não-Renováveis.

Excluída a produção de energia da empresa de celulose existente em Cambará do Sul, no município a relação teria 33,5% de renováveis e 66,5% não-renováveis. Em Cristal há um grande consumo de óleo diesel devido a agricultura e a auto-estrada que cruza o município. Esta estrada conecta a capital do estado ao porto de Rio Grande.

Desconsiderando o uso já existente em Cambará do Sul, o potencial energético evidenciado nas duas cidades sugere que se pode ter um aumento considerável de energia proveniente de fontes renováveis. A Tabela 3 mostra que a energia potencial da cidade de Cambará do Sul e Cristal são superiores a consumo local apresentados na Tabela 2.

Tabela 3: Potencial Energético de Cambará do Sul e Cristal em tep

Potencial Energético	Cambará do Sul	Cristal
Energia elétrica		
Hídrico*	3477,42	6671,49
Térmico – Biomassa**	24825,05	2573,29
Eólica***	44,49	32,21
Combustíveis Líquidos		
Biodiesel (soja)		0,21

Energia Térmica		
Biomassa**	24825,05	2573,29
Solar****	0,18	0,01
	28347,14	9277,21

* O rio Camisa foi avaliado em Cambará do Sul e o rio Camaquã em Cristal;

** Em Cambará do Sul o recurso disponível é madeira e em Cristal é de madeira e casca de arroz. A biomassa é contabilizada apenas uma vez para a eletricidade ou calor;

*** A velocidade média do vento na altura 50m é de 6,0 ms⁻¹, em Cambará do Sul e 5,4 ms⁻¹ em Cristal. As turbinas eólicas usadas são de 330kW;

**** Assumindo que o uso de 1% da área municipal. Radiação global 14 MJ / m². Tempo de sol diário: 5,4 horas.

Fontes: [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17].

6 APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM CAMBARÁ DO SUL E CRISTAL

Embora a escala sócio-econômica das duas cidades seja semelhante e também em ambos os casos a economia fortemente dependente da agricultura e pecuária, o fato de Cambará do Sul ter uma geração local baseada em fontes renováveis faz com que o município tenha Índice de Sustentabilidade Energética - Ise superior ao de Cristal. A Tabela 4 apresenta os resultados dos indicadores aplicados para os municípios.

Tabela 4: Índice de Sustentabilidade Energética de Cambará do Sul e Cristal no ano de 2008.

Área	Indicadores	Peso (%)	Cambará do Sul	Cristal
Sociedade e Uso da Energia	1. Programa de incentivo ao uso consciente da energia	11,69	-1	-1
	2. Relação Energia Renovável x Não Renovável	7,36	+1	-1
	3. Zoneamento e Projeto Ambiental	3,19	0	0
Fontes de Energia	4. Potencial Local	10,22	+2	-2
	5. Características Geofísicas	16,91	+4	+4
	6. Geração de Resíduos	5,62	+2	0
	7. Impacto Ambiental	5,62	+3	+5
Economia	8. Demanda Atual	7,78	+1	+1
	9. Tecnologia	8,82	+3	+5
	10. Custo Marginal de Expansão (Instalação) - CME	11,63	+3	+2
	11. Custo Marginal de Operação - CMO	11,16	+3	+1
	Índice de Sustentabilidade Energética (Ise)	100,00	5,64	3,75

A lista de indicadores referentes a ações das sociedades demonstra que a preocupação com a utilização racional da energia ainda não é realidade nas duas localidades, pelo menos no que diz respeito a atitudes provenientes de suas administrações. Quanto aos indicadores relacionados com o tipo de fonte, a taxa de Cambará do Sul é melhor, devido ao fato de que uma grande porção do seu consumo ser produzido localmente e usando fontes renováveis (biomassa e hidro). Isso se reflete diretamente no Ise com Cristal tendo uma proporção 35%

menor que Cambará.

Os resíduos sólidos produzidos nas gerações de energia atuais não estão trazendo grande prejuízo para o meio ambiente, devido ao fato de que em todos os sistemas envolvidos existem filtros para os poluentes. Mas sobre a produção de CO₂, Cristal tem uma taxa de zero, devido ao fato de que quase metade da energia consumida no local não é de origem renovável (óleo diesel) e, ao contrário de Cambará do Sul, não há uso de fontes renováveis para produção de energia suficiente para fazer este indicador ficar positivo.

Operação algumas mudanças nos perfis de energia das duas cidades, bem como propor ações que visem à eficiência no consumo de energia, pode-se obter um aumento significativo nos índices de sustentabilidade energética de Cambará do Sul e Cristal.

Utilizando a tabela 5 podem ser observadas alterações nesses indicadores, devido às ações propostas, discutidas a seguir.

Tabela 5 – Simulação dos Indicadores de sustentabilidade energética para Cambará do Sul e Cristal, ano 2008, aplicando ações de melhoria

Área	Indicadores	Peso (%)	Cambará do Sul	Cristal
Sociedade e Uso da Energia	1. Programa de incentivo ao uso consciente da energia	11,69	+1	+1
	2. Relação Energia Renovável x Não Renovável	7,36	+1	+1
	3. Zoneamento e Projeto Ambiental	3,19	+1	+1
Fontes de Energia	4. Potencial Local	10,22	+4	+6
	5. Características Geofísicas	16,91	+4	+5
	6. Geração de Resíduos	5,62	+4	+6
	7. Impacto Ambiental	5,62	+3	+4
Economia	8. Demanda Atual	7,78	+1	+1
	9. Tecnologia	8,82	+3	+5
	10. Custo Marginal de Expansão (Instalação) - CME	11,63	+3	+2
	11. Custo Marginal de Operação - CMO	11,16	+4	+3
	Índice de Sustentabilidade Energética (Ise)	100,00	7,47	8,76

Em relação às atitudes da sociedade, a situação hipotética é que a comunidade e o Governo se engajem em ações e incentivos que visem a sustentabilidade energética e ambiental. Incentivando o uso de energia renovável e organizando-se para prever aumentos na demanda de energia e habilitando projetos sustentáveis.

A partir dos indicadores relacionados a fontes de energia, se identificou que o potencial para a produção local de eletricidade e suprimento térmico, seja industrial, comércio ou residencial, é interessante utilizando o potencial hídrico do Rio Camisa e da madeira

produzida na região para a cidade de Cambará do Sul. Estes potenciais de energia já tem um uso parcial, mas além deste existe ainda um bom potencial para outros empregos, soma-se a isto a utilização da energia solar para aquecimento de água e usar o vento para gerar eletricidade. Em Cristal, pode-se trabalhar com geração hidrelétrica, aquecimento solar, o uso do vento, o uso de biomassa para aquecimento ou geração de energia elétrica (madeira e casca de arroz) e obtenção de biodiesel (soja).

No que diz respeito a economia, é normal que o custo da energia gerada tenha um valor mais elevado após as alterações, isto é devido às plantas geradoras de pequeno porte, o que aumenta o custo de instalação, operação e manutenção. No entanto, o fato de que a madeira nas duas cidades analisadas ter um impacto significativo quando ela é tratada como energia, os valores dos indicadores não têm tido grande variação. Em Cambará do Sul o potencial de madeira corresponde a mais que o dobro da energia usada atualmente na localidade, o impacto de Cristal é menor, mas significativo, somando-se a madeira com a casca de arroz produzida na cidade chega-se a um potencial ligeiramente inferior 50% do consumo de energia de corrente. Toda a tecnologia utilizada para geração de energia com biomassa é obtida localmente e os custos da CME e CMO são baixos.

Ao fim se observou que houve significativa diferença nos índices de sustentabilidade global da situação atual em relação ao obtido na simulação com ações de melhoria, em função da mudança de atitudes relacionadas ao uso energético e aplicação de geração local, fazendo o balanço energético ficar positivo nas duas localidades, ou seja, produzir mais energia do que consomem. Nos dados reais Cambará do Sul tem um índice de 5,64 e com a implementação de ações de melhoria, hipoteticamente alcançaria 7,47, um aumento de 32%. Já na cidade de Cristal, a mudança do índice global seria muito mais significativa, de 3,75 para 8,76, um aumento percentual de 233%.

6.1 Resultados

Os resultados foram o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade energética e as ações de melhoria para usar na busca da sustentabilidade e consolidação. Isso ocorre porque as alterações feitas na versão atual contra a anterior, uma vez que esta ferramenta foi inicialmente desenvolvida e aplicada pela primeira vez em cinco locais que tinham algum tipo de potencial muito acentuado. A Tabela 6 mostra os indicadores de sustentabilidade desenvolvidos e A Tabela 7 apresenta as ações de melhoria propostas.

Com a implementação das melhorias a relação do consumo local de energia a partir de

fontes renováveis em relação ao de fontes não renováveis é apresentado na Figura 2. Não considerando a geração de energia existente em Cambará do Sul, os dois municípios tiveram um aumento na quota de energia proveniente de fontes renováveis no seu consumo superior 14%.

Tabela 6: Indicadores de Sustentabilidade Energética - Ise

Área	Indicadores
Sociedade e Uso da Energia	1. Programa de incentivo ao uso consciente da energia
	2. Relação Energia Renovável x Não Renovável
	3. Zoneamento e Projeto Ambiental
Fontes de Energia	4. Potencial Local
	5. Características Geofísicas
	6. Geração de Resíduos
	7. Impacto Ambiental
Economia	8. Demanda Atual
	9. Tecnologia
	10. Custo Marginal de Expansão (Instalação) – CME
	11. Custo Marginal de Operação – CMO

Tabela 7: Ações de Melhoria para Sustentabilidade Energética

	Ação de Melhoria
1	Investir em campanhas educacionais locais que visem a utilização racional da energia. Por exemplo: o uso quando necessário dos equipamentos elétricos, a utilização de transporte coletivo, manutenção de equipamentos elétricos (ex.: troca da borracha da porta da geladeira), automotores (ex.: regulagem do motor), etc.
2	Campanhas de conscientização quanto ao uso de equipamentos com melhor rendimento energético. Por exemplo: eletrodomésticos com selo A do Procel, carros com melhor rendimento, motores de alto rendimento, etc.
3	Incentivo fiscal para produtos com melhor rendimento energético. Produtos com selo A do Procel, com maior eficiência energética ou com menor geração de resíduos que os modelos comerciais similares devem ter uma taxa fiscal diferenciada para incentivar o uso pelos consumidores e o desenvolvimento por parte dos fabricantes.
4	Instituição de uma ou mais comissões locais que visem o desenvolvimento e avaliação de projetos e programas objetivando a sustentabilidade. Seja no âmbito social, industrial, comercial ou público. Como uma estrutura multidisciplinar, que represente todos os seguimentos de interesse local como indústria, comércio, poder público e sociedade, esta (s) comissão (ões) deve (m) ter autonomia para propor e vetar projetos municipais ou regionais.
5	Investir na utilização de geração local com base em fontes renováveis. O uso de fontes renováveis deve levar em consideração, principalmente, o impacto ambiental, seguido pelo social e por fim o econômico. Ou seja, sendo a substituição de um tipo de fonte não renovável ou com geração distante da localidade, deve-se observar o impacto ambiental local e regional antes de tudo. Caso o impacto seja considerável o seu uso deve ser descartado.
6	Programa de apoio à substituição de insumos energéticos não renováveis por fontes renováveis. Por exemplo, a substituição de óleo em caldeiras por biomassa ou biodiesel, o aquecimento de água por

	painéis solares, etc.
7	Desenvolvimento de programas de incentivo ao uso dos resíduos que tenham potencial energético, dentro da mesma instalação geradora, seja ela: residencial, comercial ou industrial. Por exemplo, utilizar a casca do arroz como fonte de calor no processo ou dentro da planta, utilizar os resíduos orgânicos como adubo, etc.

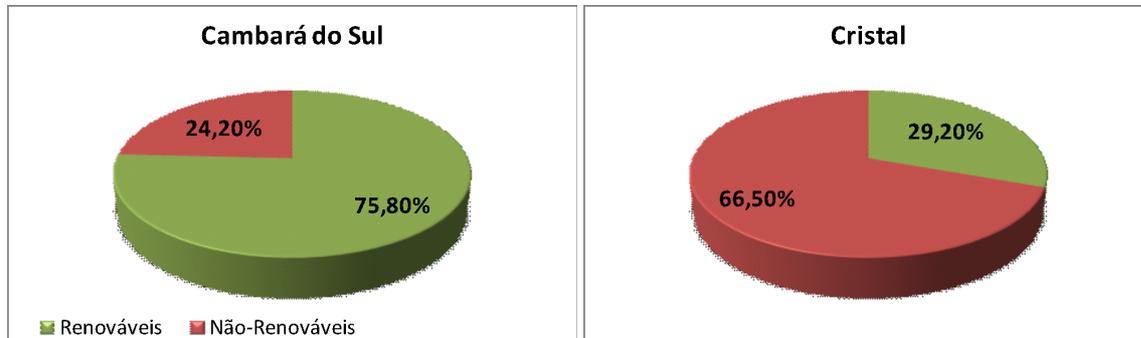


Figura 2: Relação Energia Renovável x Não-Renovável, com ações de melhorias.

7 CONCLUSÕES

Os resultados foram satisfatórios no que diz respeito ao desenvolvimento e ajustes da ferramenta, isto é, os indicadores de sustentabilidade de energia. Estes indicadores avaliam a situação atual em relação às fontes locais e a rentabilidade econômica, verificando a viabilidade de investir em fontes locais para geração de energia. Também dão uma visão clara e simples de melhorias feitas para a sustentabilidade, auxiliando na tomada de decisão sobre o assunto.

Ao aplicar a ferramenta em cidades, há uma necessidade de fazer uma avaliação sobre os dados sócio-econômicos, dados de consumo de energia local e investigar as fontes e potenciais para geração de energia dentro da própria cidade. Muitos desses dados são públicos, o que facilita a aplicação da ferramenta, mas é importante atualizar os dados na sua própria localidade.

A geração de energia local, com o uso de fontes disponíveis lá, faz o balanço de energia torna-se positivo na maioria dos casos. Além disso, dando preferência pelo uso de fontes renováveis, a relação percentual de energia "utilizada / gerada" na localidade passa a ser ambientalmente correta e sustentável. Claro que, nem toda a energia renovável gerada será utilizada na sua própria localização, mas o balanço energético da relação "geração / consumo" poderá tornar-se positivo, isto é, a relação entre o consumo de energia renovável versus não-renovável tenderá para o lado de renováveis .

8 REFERÊNCIAS

- [1] Bianchi, A. L.; Dias, S. S.; Berlitz, F. A.; Ocácia, G. C. Desenvolvimento de uma ferramenta multicritérios para a avaliação da sustentabilidade energética de pequenos municípios. III Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belém: 2010.
- [2] Reis, L. B. Geração de Energia Elétrica. Barueri, SP: Manole, 2011.
- [3] Afgan, N.H.; Carvalho, M.G.; Hovanov. N.V. Energy system assessment with sustainability indicators. *Energy Policy*, 28 (2000), pp. 603 – 612.
- [4] Sachs, I. Estratégias de transição para o século XXI: Desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Nobel, 1993.
- [5] Sachs I. Desenvolvimento: incluyente, sustentável, sustentado. Rio de Janeiro: Garamond; 2004.
- [6] World Resources Institute - WRI. World Resources 1998-99: Environmental change and human health, 1998.
- [7] Schmoltdt, D.; Peterson, D. ; Smith, R. The Analytic Hierarchy Process and participatory decision-making. USDA Forest Service, 1995.
- [8] Vilas Boas, Cíntia de Lima. Método multicritérios de análise de decisão (MMAD) para as decisões relacionadas ao uso múltiplo de reservatórios: Analytic Hierarchy Process (AHP). Brasília: UnB, 2004.
- [9] Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética: Balanço Energético Nacional 2006: Ano base 2005. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2006.
- [10] FEE – Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. URL <<http://www.fee.rs.gov.br>>. Access: 04/2011.
- [11] CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica. Balanço Energético do Rio Grande do Sul 2005-2007. URL: <<http://www.ceee.com.br>>. Access: 08/2009.
- [12] Ana – Agência Nacional de Águas. Biblioteca Virtual. URL: <<http://www.ana.gov.br>>, Access: 02/2011.
- [13] Tiba, C. Atlas Solarimétrico do Brasil. Recife: UFPE, 2000.
- [14] Camargo, O., Silva, F.J.L., Custódio, R.S., Gravinoi, N. Atlas Eólico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria de Energia, Minas e Comunicações - SEMC, 2002.
- [15] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. URL: <<http://www.ibge.gov.br>>. Access: 04/2011.
- [16] Dias, S. S., Santos, J.C., Ocácia, G.C. Power System Based on Renewable Energy Sources for the Rural Electrification in Rio Grande do Sul – Brazil. Anais... In: WREC VII, Cologne, 2002.
- [17] Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Agroenergia – 2005 a 2011. Brasília: 2005.