

**UNIVERSIDADE PAULISTA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**CONTABILIDADE AMBIENTAL DE UMA  
ESCOLA DE INGLÊS LOCALIZADA NO  
SUL DE MINAS GERAIS - BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**DANIEL MOREIRA LUPINACCI**

**SÃO PAULO**  
**2015**

**UNIVERSIDADE PAULISTA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**CONTABILIDADE AMBIENTAL DE UMA  
ESCOLA DE INGLÊS LOCALIZADA NO  
SUL DE MINAS GERAIS - BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa Dra. Silvia Helena Bonilla

Área de Concentração: Gestão de Sistemas de Operação

Linha de Pesquisa: Produção Mais Limpa e Ecologia Industrial

**DANIEL MOREIRA LUPINACCI**

**SÃO PAULO**

**2015**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

### Catálogo da Publicação

Lupinacci, Daniel Moreira.  
Contabilidade ambiental de uma escola de inglês localizada no sul de Minas Gerais, Brasil / Daniel Moreira Lupinacci. - 2015.  
65 f. : il. + CD-ROM.

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2015.

Área de concentração: Engenharia de Produção Mais Limpa.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr. Silvia Helena Bonilla.  
Coorientador: Prof. Biagio Fernando Giannetti.

1. Emergia. 2. Transformidade. 3. Língua estrangeira. 4. Hierarquia e aula oral de inglês. I. Bonilla, Silvia Helena (orientadora). II. Giannetti, Biagio Fernando (coorientador). III. Título.

**DANIEL MOREIRA LUPINACCI**

**CONTABILIDADE AMBIENTAL DE UMA  
ESCOLA DE INGLÊS LOCALIZADA NO  
SUL DE MINAS GERAIS - BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovado em:

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Silvia Helena Bonilla (Orientadora)  
UNIP

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Marlei Roling Scariot  
UNIFESP

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Biagio Fernando Giannetti  
UNIP

## **DEDICATÓRIA**

À minha esposa Roane, que sempre me incentivou a buscar novos horizontes e a nunca desistir dos meus sonhos. Às minhas queridas filhas Rebeca e Raíssa, que são motivo de alegria na minha vida. Aos meus irmãos Rodrigo e Wagner por sempre torcerem por mim. Aos meus pais, Durvano e Maria, que me deram a vida e as condições de estudo. Aos meus queridos sobrinhos Lucas, Luís, Elisa e Mateus. Aos meus cunhados Luís, Ulisses, Michelle, Karina e Letícia. E especialmente à minha sogra Rosângela.

## **AGRADECIMENTOS**

À CAPES pelo apoio da bolsa Prosup, sem o qual não seria possível a realização deste estudo.

À minha orientadora Professora Dra. Silvia Helena Bonilla, por sua orientação, paciência e incentivo. Por nunca deixar de acreditar em mim e por sempre me fortalecer nas horas de desânimo. Por suas críticas construtivas e suas sugestões. Por me ajudar a enriquecer meu conhecimento.

Ao Professor Dr. Biagio F. Giannetti, que muito contribuiu para meu aprendizado com seus comentários e sugestões essenciais para o enriquecimento do meu trabalho.

Aos Professores Dra. Cecília M. V. B. de Almeida e Dr. Feni Agostinho por seus brilhantes comentários.

À banca examinadora, especialmente à Professora Dra. Marlei Roling Scariot, pela sua grande contribuição.

Aos colegas do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção (Carlos Cézar da Silva, Geslaine Frimaio, Maria de Fátima Bueno, Luciana Faria, Nilson Carvalho, André Luigi, José Hugo de Oliveira, Rose Reis, Max Wilson de Oliveira, Luiz Ghelmandi Netto), pelo apoio, amizade e troca de experiências.

Agradeço também a todos aqueles que tornaram a realização deste trabalho possível. A todos que contribuíram direta ou indiretamente para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

A todos, muito obrigado.

Mantenha o foco naquilo em que você acredita; derrame toda a energia que há em você, e acima de tudo, tenha atitude. Acredite que você é capaz; nunca duvide das possibilidades. Tudo é possível.

Lorena Rodrigues

## RESUMO

Este trabalho utiliza a metodologia de contabilidade ambiental em emergia, que coloca todos os recursos globais em uma base comum, que são os joules de energia solar, para estudar uma escola de inglês localizada na cidade de Ouro Fino, Minas Gerais. Usando um diagrama de energia com simbologia própria é possível identificar todos esses recursos, e com essa análise é possível verificar quais recursos globais têm maior importância no ensino de inglês como língua estrangeira nesta escola em estudo. A primeira parte do trabalho foi o cálculo da emergia da construção da casa, que teve como resultado um valor em emergia de  $4,51\text{E}+17$  sej. Em seguida, um estudo sobre transformidade foi realizado para se obter as transformidades humanas utilizadas neste trabalho. Diferentes transformidades foram calculadas levando em consideração três diferentes abordagens. Na primeira, que leva em consideração a abordagem de Odum, quando este calculou as transformidades a partir dos níveis educacionais dos Estados Unidos para o ano de 1980, a transformidade do aluno do estado de Minas Gerais que entra na escola é de  $6,65\text{E}+07$  sej/J, e a do professor é de  $1,81\text{E}+08$  sej/J. Com essas transformidades é possível calcular o valor total da emergia de uma escola de inglês em funcionamento, e o valor obtido foi de  $4,07\text{E}+17$  sej/ano. Desse valor total encontrado, os alunos foram responsáveis por 46,71% dos recursos, seguidos pelos professores com 24,4% e as secretárias com 23,44%; a construção foi responsável por 2,24% do total de emergia. Com o valor total da emergia encontrada foi possível calcular novas transformidades dos estudantes dessa escola; depois de um ano de estudo o aluno tem uma nova transformidade que é de  $1,42\text{E}+08$  sej/J. Outras duas abordagens foram utilizadas para o cálculo das transformidades com resultados diferentes da primeira. Na segunda considera-se que todas as atividades diárias de uma pessoa são co-produtos da energia diária. A terceira abordagem considerou o professor com uma transformidade seis vezes maior que a do aluno depois de um ano de estudo, pois foi considerado que este aluno se tornaria proficiente o suficiente para se tornar um professor nesta escola depois de seis anos de estudo. O desempenho dos alunos na língua inglesa foi verificado com um teste internacional de proficiência em inglês, conhecido como TOEIC. O resultado deste teste mostra que o melhor desempenho foi atingido por alunos que estão na faixa etária entre 15 e 17 anos, e não necessariamente aqueles que estão há mais tempo na escola. Por último, a transformidade de uma aula oral de inglês foi calculada levando em consideração o artigo de Abel (2013) para o cálculo da transformidade da troca de informação contida em uma conversa, e o valor encontrado para a aula de inglês foi de  $6,62\text{E}+15$  sej/J.

**Palavras-chave:** Emergia. Transformidade. Língua Estrangeira. Hierarquia e Aula Oral de Inglês.



## ABSTRACT

The present work evaluates an English school located in Ouro Fino, in the state of Minas Gerais, using the emergy methodology which puts all the global resources in a common basis, joules of solar energy. Using an energy diagram it is possible to identify all the resources and make it possible to verify which global resources are the most important ones in the teaching and learning of English as a foreign language in the school analyzed. The first step was to calculate the emergy of the construction of the house used as an English school. As a result, the total emergy of the construction is  $4.51\text{E}+17$  sej. Then, a study about transformity was conducted to obtain human transformities used in this study. Different transformities were calculated taking into account three different approaches. In the first approach, which takes into account Odum's approach when he calculated the transformity of the different educational levels for the USA in 1980, the transformity found for Minas Gerais student entering school is  $6.65\text{E}+07$  sej/J, and the teacher's is  $1.81\text{E}+08$  sej/J. With these values it is possible to calculate the total emergy of the English school including its use, and the value found is  $4.03\text{E}+17$  sej/year for these two phases (construction and use). Of this total value found, the students were responsible for 46.71% of the total emergy, followed by the teachers with 24.40% and the secretaries with 23.44%; the construction was responsible for 2.24%. New transformities were found after having the total emergy of the school; after one year studying at this school the student has a new transformity of  $1.42\text{E}+08$  sej/J. Other two approaches were taken into consideration for the calculus of the transformities with different results from the first one. The second approach considers all the daily activities of a person as byproducts of their daily energy. The third approach considers the teacher's transformity six times higher than the student's after one year of study in this school. This was done because the student would be proficient enough to become a teacher in the school analyzed after six years of study. The performance of the students in the English language is evaluated by an international proficiency test known as TOEIC. The results show that the students ranging from 15 to 17 years old have the best scores, and not the ones that have been at school for longer. Finally, the transformity of an oral English class was calculated, taking into account Abel's article on the calculation of transformity of the exchange of information in a conversation, and the transformity found for the oral English class was  $6.62\text{E}+15$  sej/J.

**Keywords:** Emergy. Transformity. Foreign Language. Hierarchy and Oral English Class.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Símbolos para utilização nos diagramas de sistemas de energia .....	22
Figura 2 – Diagrama de energia das fases de construção e uso da casa utilizada pela escola de inglês.....	25
Figura 3 – Características principais dos projetos padrão .....	26
Figura 4 – Adaptação da lista de materiais utilizados em uma construção brasileira, segundo a norma NBR 12.721/2006, aos materiais que possuem uma UEV.....	27
Figura 5 – Diagrama de energia da escola de inglês .....	30
Figura 6 – Divisão dos alunos por faixa etária .....	37
Figura 7 – Resultado do TOEIC para a faixa etária de 12-14 anos de idade.....	38
Figura 8 – Resultado do TOEIC para a faixa etária de 15-17 anos de idade.....	38
Figura 9 – Resultado do TOEIC para a faixa etária acima de 18 anos de idade .....	39
Figura 10 – Resultado do TOEIC para os alunos que estão há três anos na escola .....	41
Figura 11 – Resultado do TOEIC para os alunos que estão há quatro anos na escola .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Unidades de valores de emergia (UEV's) que serão usados no presente trabalho .	19
Tabela 2 – Emergia da fase de construção da casa (utilizando os materiais relacionadas na norma).....	28
Tabela 3 – Avaliação de emergia da escola de inglês (construção e uso) .....	29
Tabela 4 – Transformidades para os diferentes níveis educacionais dos Estados Unidos no ano de 1980 .....	31
Tabela 5 – Transformidades para os diferentes níveis educacionais do estado de Minas Gerais para o ano de 2010.....	31
Tabela 6 – Avaliação de emergia da escola de inglês incluindo os professores, secretárias e alunos.....	33
Tabela 7 – Transformidade humana encontrada levando em consideração a abordagem de Ugliati <i>et al.</i> (1993) .....	34
Tabela 8 – Emergia total do sistema levando em consideração a abordagem de Ulgiati <i>et al.</i> (1993) para o cálculo da transformidade humana .....	34
Tabela 9 – Avaliação de emergia da escola de inglês incluindo os professores, secretárias e alunos.....	36
Tabela 10 – Tipos de informação .....	42
Tabela 11 – Comportamento da conversa no campus de Taiwan .....	43
Tabela 12 – Comportamento de uma aula oral de inglês na escola analisada.....	44
Tabela 13 – Classificação dos materiais utilizados nos projetos para aplicação da contabilidade em emergia, valor por m <sup>2</sup> de construção para uma casa padrão RN-1 (Norma NBR 12.721/2006 - ABNT) e coeficiente de ajuste .....	64

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
3.1	Objetivo Geral.....	17
3.2	Objetivos específicos .....	17
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>18</b>
4.1	Ferramenta analítica.....	18
4.2	Descrição do sistema .....	23
4.3	Aquisição de dados .....	24
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>51</b>
	Anexo 1 – Fase da construção .....	51
	Anexo 2 – Fase do uso.....	59
	Anexo 3 – Classificação dos materiais utilizados.....	64

## 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a língua inglesa tornou-se a língua mais importante para negócios, tecnologia, ciência e comunicação na atualidade. De acordo com Kingsley Bolton (2006), atualmente, o inglês tem ganhado lugar em países não ocidentais, e o mecanismo de difusão da língua tem sido iniciado e controlado por falantes não nativos em grande escala. O inglês é utilizado como uma língua adicional - frequentemente como uma língua alternativa - em contextos multilíngues e multiculturais. A necessidade do uso do idioma é determinada ainda pelas considerações de tecnologia e modernização, e também por tendências linguísticas, políticas e sociais.

É grande o número de pessoas que estuda inglês como segunda língua ou língua estrangeira ao redor do mundo. No Brasil isto não é diferente. O número de escolas de inglês cresceu muito; de acordo com a Associação de Franquias Brasileiras (ABF) há mais de trinta e cinco diferentes tipos de franquias de escolas de inglês no Brasil, com mais de seis mil unidades atualmente, e este número está crescendo cada vez mais.

Os recursos globais pagos e não pagos necessários para se formar um aluno proficiente na língua inglesa como língua estrangeira, em uma escola localizada no estado de Minas Gerais, foram analisados utilizando a metodologia desenvolvida por Odum, apresentada em sua obra conhecida como Contabilidade Ambiental em Emergia (1996). De acordo com o autor "emergia é a energia de um tipo previamente utilizada direta ou indiretamente para fazer um serviço ou produto. Sua unidade é o em joule". Devido à importância do conhecimento humano no controle da biosfera, estimativas da emergia desse conhecimento que contribuem para atividades econômicas e sociais são necessárias para garantir políticas alternativas de custo e benefício ambiental, econômico e social, e podem ser quantificadas em uma base comum que são os fluxos de emergia; e a contabilidade em emergia quantifica essa relação que há entre os seres humanos e a biosfera.

O trabalho humano que é entregue para o suporte da economia e atividades sociais é primeiramente uma função do conhecimento e experiência, e pode ser definido como o conhecimento do trabalho que as pessoas empregadas em atividades sociais e econômicas possuem do seu próprio trabalho (CAMPBELL, 2012), sendo de alta qualidade, interagindo com recursos de energia e materiais de menor qualidade. Esse trabalho é dependente de um estoque de informação que exige um ciclo de informação (ODUM, 1996) para seu

desenvolvimento e manutenção. Levando isso em consideração, a transformidade humana para os diferentes níveis educacionais do estado de Minas Gerais foi calculada de acordo com a abordagem de Odum, quando este calculou as transformidades humanas para os Estados Unidos para o ano de 1980. Segundo Campbell (2014) o nível educacional do trabalhador é grandemente responsável pela qualidade do trabalho realizado.

Um dos objetivos deste trabalho é calcular a transformidade humana diferenciando-a da transformidade da informação, utilizando a escola de inglês localizada em Ouro Fino - Minas Gerais como o sistema. Odum começou a avaliação da emergia da informação em sua obra *Environment Accounting* (1996), e de acordo com o autor, alguns exemplos de informação útil são: o código genético dos organismos vivos, a organização de um sistema ecológico, e a informação cultural das sociedades humanas.

O desempenho dos alunos será verificado com um simulado de um teste de proficiência em inglês conhecido - TOEIC (*Test of English as International Communication*); com esse resultado objetiva-se saber se há uma relação entre as notas obtidas e as transformidades calculadas. Este estudo mostra ainda o quanto a transformidade do aluno aumentou depois de se tornar proficiente na língua inglesa estudada como língua estrangeira, assim como a transformidade de uma aula oral de inglês.

Este trabalho está dividido em seis capítulos, sendo o primeiro uma introdução do trabalho; o segundo apresenta o estado da arte com os artigos mais relevantes para a pesquisa; o terceiro mostra os objetivos gerais e específicos; o quarto apresenta a metodologia utilizada e está dividida em ferramenta analítica, descrição do sistema e aquisição de dados; resultados e discussão são apresentados no quinto capítulo, e por último, a conclusão é apresentada.

## 2 ESTADO DA ARTE

O conteúdo a seguir foi separado em dois grupos visando uma melhor organização do trabalho. A primeira etapa trata da revisão bibliográfica dos artigos relacionados à avaliação da educação utilizando a métrica em emergia, e em seguida, artigos que tratam da análise da informação em emergia.

No que diz respeito à análise da educação utilizando a metodologia em emergia, o pioneiro a tratar do assunto foi o próprio criador da metodologia. Odum (1996), em seu livro *Environmental Accounting*, cria o conceito de transformidade solar que é a energia solar exigida para se obter um joule de um produto ou serviço, tendo como unidade o sej/ joule; de acordo com o autor, quanto mais transformações de energia ocorrem na contribuição para a obtenção do produto ou serviço, maior a transformidade. Odum calculou a transformidade dos níveis educacionais dos Estados Unidos no ano de 1980, agrupando as pessoas em níveis de educação e conhecimento. Para obter seu resultado, Odum dividiu a emergia total do país pela energia despendida pelo número de pessoas em cada categoria do nível educacional; seis diferentes transformidades foram encontradas, respeitando assim o conceito de hierarquia estipulado pelo autor. Como exemplo, a transformidade de um aluno na pré-escola é de  $8.90E+06$  sej/J, enquanto que a transformidade de um aluno graduado em nível universitário é de  $7.33E+07$  sej/J, maior do que a primeira.

Meilleau *et al.* (2005) avaliaram um prédio usado no campus de uma Instituição Federal de Tecnologia na Suíça, assim como os graduados, as publicações, os cursos e serviços desta instituição, tendo como métrica a contabilidade em emergia. Segundo os autores, essas instituições educam milhares de indivíduos, muitos dos quais se tornarão líderes e tomadores de decisão; portanto, estas instituições têm um papel importante na disseminação de conceitos, preocupações, procedimentos e tecnologias relevantes de sustentabilidade, principalmente porque seu propósito principal é ajudar a preparar seus alunos a participarem do processo de ajuda em tornar as sociedades mais sustentáveis. Essas instituições devem integrar princípios de sustentabilidade em seus currículos, capacitando seus alunos para trabalhar com problemas reais, com abordagens interdisciplinares e desenvolver seus ensinamentos, pesquisa e operações do campus a funcionar com um impacto ambiental mínimo. Os principais componentes do sistema foram incluídos na análise, tais como estrutura do prédio, sistema de aquecimento e resfriamento, eletricidade, consumo de água,

equipamentos eletrônicos, usuários do prédio, instalação fotovoltaica, entre outros. Os principais produtos obtidos no campus são "estudantes formados", publicações, cursos e serviços; alunos e informação representam 94,6% do total de emergia calculado do sistema, equivalente a  $3,3\text{E}+18$  sej/ano. Para a avaliação do aluno formado foi encontrada uma transformidade no valor de  $2,40\text{E}+08$  sej/J, indicando um aumento de três vezes em relação àquele encontrado quando esse aluno chegou ao Instituto, que representa o conhecimento adquirido através de conferências e interações com outros estudantes e professores. Quando se consideram as entradas de energia e matérias, os produtos que mais contribuíram para a avaliação em emergia foram a eletricidade e o papel, com  $2,7\text{E}+16$  sej/ano e  $1,7\text{E}+16$  sej/ano respectivamente.

Outros pesquisadores também avaliaram uma instituição de ensino; segundo Almeida *et al.* (2013), na era de acelerada mudança ao redor do mundo, o papel das instituições de ensino superior é de grande importância para o debate sobre a evolução da sociedade humana e sua posição na biosfera. Um dos objetivos desse artigo é a integração de princípios de sustentabilidade no currículo da Faculdade de Engenharia do campus estudado; outro objetivo está relacionado à operação do campus com um impacto ambiental mínimo. Por causa da grande importância dessas instituições de ensino no gerenciamento sustentável da biosfera pela humanidade, estimativas corretas de emergia do conhecimento humano, contribuindo para atividades sociais e econômicas, foram realizadas para quantificar os custos sociais, econômicos e ambientais, assim como os benefícios de políticas alternativas; com essa avaliação em emergia é possível verificar como redes de energia, materiais e informação interagem entre si. Valores numéricos são adicionados aos fluxos, tornando possível comparar, em uma base comum, os investimentos exigidos para a educação do estudante com o intuito de tornar o campus mais "verde".

Thomas Abel (2010) calcula a transformidade humana usando a mesma abordagem de Odum (1996), porém aquele dividiu a população em ordem de magnitudes diferentes, que varia de 55 para 5,5 bilhões de pessoas, em um total de dez ordens; fazendo isso, ele tinha a intenção de criar uma distribuição populacional mais realista, que segundo o autor, é sugestiva de uma curva típica de distribuição de renda. O resultado de sua pesquisa traz uma escala maior de transformidades humanas, que vão de  $7,53\text{E}+04$  sej/J a  $7,53\text{E}+13$  sej/J.

Quando se trata da avaliação do processo de ensino-aprendizagem, Odum (1996) diz que esta avaliação em emergia é feita pelo somatório das interações de entrada do sistema em



estudo. A emergia solar contida na entrega humana da informação é calculada pelo produto do tempo da informação entregue, pela energia metabólica dos indivíduos, por unidade de tempo e pela transformidade solar estimada para cada nível educacional. Odum diz também que a pessoa aprende pela interação do fluxo de entrada da informação com o seu equipamento de aprendizagem. Campbell (2014), no seu estudo da educação dos Estados Unidos, quantifica este processo como o somatório da emergia entregue durante o tempo gasto transmitindo a informação mais a emergia trazida ao processo de aprendizagem pelos estudantes que estão recebendo a informação. Os dois autores dão exemplos em seus estudos. O exemplo de Odum é o da criança aprendendo com sua mãe; o exemplo de Campbell é aquele que ele usou para calcular a emergia das escolas dos Estados Unidos. Campbell avaliou o ensino-aprendizagem como um processo de ordem social mais alta. A emergia encontrada em um estudo de ensino-aprendizagem em um sistema é a emergia da educação do professor vezes a fração de horas gastas ensinando vezes o número de professores. A emergia do aluno, que é exigida para receber a informação, é aquela da média do nível educacional do indivíduo vezes a fração de horas gastas aprendendo vezes o número de matriculados. O somatório destas duas entradas é a emergia do ensino-aprendizagem que ocorre dentro do sistema.

Almeida *et al.* (2013) também avaliaram o processo de ensino-aprendizagem na Universidade Paulista (UNIP), e também usaram a mesma abordagem, afirmando que, para avaliar os diferentes níveis de serviço humano, o fluxo de emergia total em um ano dividido pelo número de pessoas em uma categoria de conhecimento e experiência, resulta na emergia por indivíduo naquela categoria. A transformidade ( $\text{sej/J}$ ) desse indivíduo poderia ser então determinada dividindo a emergia encontrada pela sua energia metabólica anual ( $\text{J}$ ) de um nível de conhecimento dado. Na pesquisa feita para aquele artigo, a emergia dos professores e estudantes brasileiros entrando na universidade foi calculada pela divisão da emergia total do Brasil pelo número de professores universitários brasileiros e estudantes que terminaram o ensino médio respectivamente. A emergia do ensino-aprendizagem é aquela exigida para aumentar o conhecimento total do sistema sob análise, e foi quantificada como o somatório da emergia entregue durante o tempo gasto transmitindo a informação, mais a emergia trazida para o processo de aprendizagem pelos alunos que estavam recebendo a informação.

Odum (1996) afirmou que no ciclo da informação há muitos tipos de informações que podem ser avaliadas, sendo classificadas como energia para uma cópia, extração, compartilhamento e criação de informação. O autor utilizou dados de uma mata atlântica

localizada em Porto Rico para demonstrar o cálculo das transformidades da informação para os processos da mata, que ele dividiu em duplicação das folhas das árvores (chamado de tipo I), o crescimento de sementes (tipo II), a manutenção de uma espécie de árvore (tipo III) e o desenvolvimento de uma nova espécie de árvore (tipo IV).

Abel (2013) fez uma avaliação em emergia do DNA e da cultura nos ciclos de informação. Neste artigo, o autor aplica o conceito do ciclo da informação à informação cultural, utilizando a conversa como uma produção de informação, fazendo um paralelo com o estudo desenvolvido por Odum do cálculo dos fluxos de informação de vários tipos, especificamente a emergia para copiar unidades contendo informação (tipo I), emergia para isolar e extrair informação (tipo II), emergia para manter um ciclo de informação (tipo III) e emergia para desenvolver nova informação (tipo IV). Os tipos II, III e IV foram calculados para a conversa, e suas transformidades seguem um padrão de valores crescentes, respeitando certa hierarquia. De acordo com Abel (2013), os resultados obtidos em seu estudo sugerem que a informação cultural está de fato respeitando uma escala de hierarquia com transformidades que aumentam em ordem, com a conversa em primeiro, seguida da mídia, e finalmente, pela educação.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

- Determinar a contabilidade em emergia de uma escola de inglês situada na cidade de Ouro Fino - Minas Gerais para formar um aluno proficiente na língua inglesa como língua estrangeira, utilizando a metodologia desenvolvida por Odum (1996).

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Levantar os dados dos insumos utilizados para se formar um aluno proficiente em inglês, tais como, o prédio utilizado, o material didático, o professor, os funcionários, os gastos com o prédio, etc.
- Utilizar a síntese em emergia para avaliar a construção da casa utilizada como sede da escola de inglês, utilizando a norma NBR 12721:2006 para a definição dos recursos de construção.
- Calcular a transformidade do aluno ingressante no curso de inglês e a do professor.
- Aplicar um teste de proficiência em inglês e verificar se existe uma relação entre a transformidade de cada aluno e a nota obtida no teste.
- Responder à pergunta de como a educação pode ser avaliada em uma base comum com recursos ecológicos e humanos.
- Calcular a transformidade de uma aula de inglês, levando em conta a abordagem utilizada por Thomas Abel em seu cálculo para a transformidade da conversação, fazendo analogia com o cálculo de informação tipos II e III (produção e dispersão de sementes, manutenção das espécies) de Odum; verificar a possibilidade de se calcular ainda o tipo I (duplicação das folhas das árvores) proposto por Odum (1996).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Ferramenta analítica

Odum (1996) desenvolveu um método de contabilidade ambiental chamado de "análise em emergia" (*Emergy Analysis*); esta análise está interessada em quantificar a relação entre sistemas humanos com a biosfera. Emergia, segundo o autor, é a energia solar disponível, previamente utilizada, direta ou indiretamente, para se obter um produto ou serviço. A avaliação em emergia valora os recursos utilizados para se obter esse serviço ou produto, convertendo-os em uma forma equivalente de energia - energia solar; sua unidade é o joule de emergia solar (sej). A emergia de todos os recursos é encontrada multiplicando a sua massa (kg ou g) ou energia (J) por um fator de conversão, chamado de unidades de valores de emergia (UEV's). Extenso trabalho tem sido realizado no sentido de calcular todas as unidades de valores de emergia (UEV's) dos recursos disponíveis. Muitos deles foram utilizados nesta avaliação. A tabela 1 apresenta as UEV's utilizadas no presente trabalho, e estas estão na linha de base  $15,83E+24$ sej/ano (ODUM, 2000).

A análise em emergia inicia-se com a construção de diagramas de energia utilizando os símbolos da figura 1. A observação dos diagramas auxilia na identificação dos limites estabelecidos para os sistemas estudados, assim como na identificação de seus principais componentes e de suas interações. Os fluxos de material, energia e serviços necessários para a operação de sistemas são identificados nos diagramas; a cada fluxo que atravessa as fronteiras dos sistemas é atribuída uma linha nas tabelas de emergia para a análise em emergia.

A metodologia da análise em emergia foi utilizada para avaliar o aprendizado de inglês utilizado como língua estrangeira por alunos brasileiros em uma escola localizada na região sudeste do Brasil. Essa avaliação foi aplicada a todos os cursos da escola, sendo necessário então fazer uma alocação dos recursos para o número de alunos que fizeram o teste de proficiência. Os alunos que estão aptos a realizar o teste são aqueles que se encontram na modalidade do curso voltada para adultos. O total de alunos que fez o teste é de 47. O primeiro passo neste projeto foi definir o sistema e desenhar o diagrama de energia, utilizando simbologia própria desenvolvida por Odum (1996).

Tabela 1 – Unidades de valores de energia (UEV's) que serão usados no presente trabalho

Recursos	Unidade	UEV	Referência
Sol	seJ/J	1,00E+00	Definição
Solo	seJ/J	1,24E+05	Odum <i>et al.</i> , 2000
Eletricidade	seJ/J	2,69E+05	Odum, 1996
Mão de obra	seJ/J	1,24E+07	Silva, C.C., 2006
Papel	seJ/g	2,38E+08	Meillaud <i>et al.</i> , 2005
Produtos Limpeza	seJ/g	6,38E+08	Odum, 1996
Computador	seJ/g	2,26E+11	Cohen <i>et al.</i> , 2006
Água	seJ/m <sup>3</sup>	7,75E+11	Buenfil <i>et al.</i> , 2001
Madeira	seJ/kg	8,79E+11	Odum, 1996
Vidro	seJ/kg	1,41E+12	Odum, 1996
Areia	seJ/kg	1,68E+12	Odum, 1996
Pedra	seJ/kg	1,68E+12	Odum, 1996
Concreto	seJ/kg	1,81E+12	Odum, 1996
Cimento	seJ/kg	3,04E+12	Pulselli <i>et al.</i> , 2008
Granito	seJ/kg	2,44E+12	Pulselli <i>et al.</i> , 2006
Gesso	seJ/kg	3,29E+12	Pulselli <i>et al.</i> , 2006
Argila	seJ/kg	4,80E+12	Pulselli <i>et al.</i> , 2007
Cerâmica	seJ/kg	5,14E+12	Brown e Buranakarn, 2003
Ferro	seJ/kg	6,97E+12	Pulselli <i>et al.</i> , 2006
Aço	seJ/kg	6,97E+12	Pulselli <i>et al.</i> , 2007
Plástico	seJ/kg	5,76E+12	Brown e Buranakarn, 2003
PVC	seJ/kg	9,86E+12	Pulselli <i>et al.</i> , 2007
Alumínio	seJ/kg	2,13E+13	Pulselli <i>et al.</i> , 2007
Asfalto	seJ/kg	2,55E+13	Pulselli <i>et al.</i> , 2007
Tinta	seJ/kg	2,55E+13	Pulselli <i>et al.</i> , 2007
Cobre	seJ/kg	1,04E+14	Pulselli <i>et al.</i> , 2007

Fonte: Elaborado pelo autor

Essa metodologia aqui utilizada considera o material, energia, trabalho humano e informação em uma forma quantitativa e em uma base comum para identificar e quantificar os recursos necessários para se formar um aluno proficiente em língua inglesa como língua estrangeira, nesta escola. Todos os recursos naturais e não naturais (pagos) necessários para se ter um aluno proficiente na língua inglesa foram levados em consideração. Isto inclui quantificar os recursos correspondentes à implantação (infraestrutura, estoque de materiais da casa, móveis e outros) e à operação (água, eletricidade, trabalho humano para a manutenção da casa e aprendizagem). De acordo com a metodologia, cada um desses materiais possui uma transformidade solar que é a energia exigida para fazer um joule de um serviço ou produto.

Sua unidade é o emjoule/Joule (sej/J). A transformidade solar de um produto é obtida pela divisão da sua energia solar pela sua emergia. Quanto mais transformações de energia há contribuindo para o produto, maior será a transformidade, isto acontece porque, segundo Odum (1996), a cada transformação, a energia disponível é usada para a produção de uma quantidade menor de energia de outra forma de energia. Esta transformidade, então, mostra a hierarquia dos produtos ou trabalho humano.

Os limites temporais e espaciais foram levados em consideração neste estudo também. O limite espacial deste estudo foi estabelecido como sendo a escola de inglês localizada em Ouro Fino - Minas Gerais. O limite temporal ficou sendo um ano de estudo dos estudantes analisados, aqueles que estão aptos a realizarem a prova de proficiência em inglês (TOEIC).

Definidos os limites espaciais e temporais, foi necessário analisar a casa utilizada como sede da escola. Quando a análise em emergia é utilizada para construções, faz-se necessário quantificar todos os recursos naturais renováveis e não renováveis usados para a construção, manutenção e uso da mesma, assim como os recursos pagos (não naturais) pelo homem; com relação à avaliação em emergia de uma construção, Pulselli *et al.* (2007) avaliaram um prédio usando a metodologia em emergia. Em seu artigo, *Emergy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing sustainability*, os autores estão preocupados com o desempenho ambiental geral de construções, especialmente no que diz respeito à exploração de materiais, à escassez de recursos e ao desperdício de energia. Os pesquisadores utilizaram um estudo de caso de uma construção contemporânea com características muito comuns para fornecer informações gerais que possam ser aplicadas em uma arquitetura mais ampla. Indicadores de sustentabilidade globais são obtidos pelo processamento de dados relativos a diferentes parâmetros, que podem ser em unidades de massa e energia. Para o artigo, os autores fizeram um levantamento dos materiais globais utilizados em uma construção, e através de um diagrama de energia é possível visualizar todos os fluxos de entrada necessários para essa construção; e com as respectivas unidades de valores de emergia é possível calcular a emergia total desse sistema. Em seu artigo, os autores dividiram o estudo do prédio em três fases: a primeira foi da construção, a segunda da manutenção e a terceira a do uso. Na primeira fase consideraram o processo como aquele de coleta e montagem dos materiais utilizados para gerar um estoque (prédio), que persiste durante um tempo de vida indefinido, como um permanente reservatório ou memória de energia uma vez gasta. Na fase de manutenção, os

fluxos de energia e materiais são necessários para se manter o estoque construído de forma constante no tempo. E por último, o uso implica nos fluxos constantes de energia, como eletricidade, água, resfriamento e aquecimento do ambiente, entre outros.

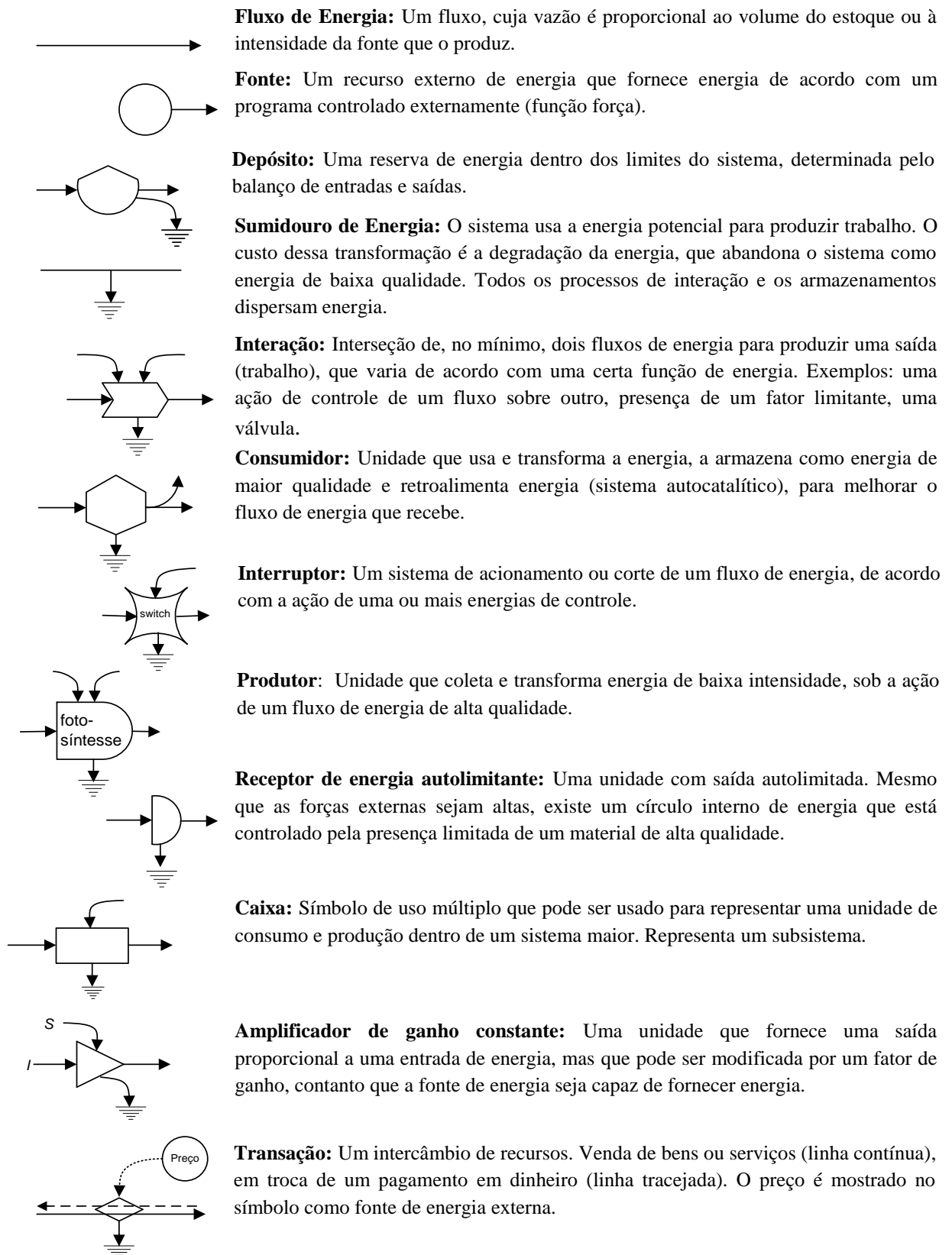
A análise da construção desta escola foi possível de se realizar utilizando uma Norma Brasileira (NBR 12721:2006), que define a quantidade de materiais e horas utilizados em uma construção típica brasileira. O uso dessa norma está justificado pelo fato de essa sede utilizada como escola equiparar-se em área de construção e qualidade dos materiais, com a estabelecida pela mesma.

Depois de realizar uma análise de energia do edifício que mantém a escola, foi necessário identificar todos os recursos utilizados para fazer o funcionamento da escola possível, incluindo o trabalho humano realizado pelos professores e secretárias. Em seguida, a energia necessária para uma aula de inglês nessa escola foi calculada, utilizando-se como referência os estudos desenvolvidos pelo pesquisador Abel (2013). Em seu trabalho, Avaliação em energia do DNA e cultura em ciclos de informação, Abel calcula a transformidade de uma conversa utilizando o trabalho de Odum (1996) sobre o cálculo da informação contida no DNA das árvores de uma mata atlântica como referência.

Por último, um teste simulado do TOEIC (Test of English for International Communication) foi aplicado para os alunos em análise, para se verificar a proficiência dos mesmos. Os alunos foram então divididos em faixas etárias e tempo de instrução.

O TOEIC (Test of English for International Communication) é um exame para comunicação internacional, que mede a proficiência em inglês de um estrangeiro em situações cotidianas, e principalmente, em situações voltadas ao mercado de trabalho. É desenvolvido a partir de exemplos do inglês falado e escrito, coletado em países diversos. Foi criado pela ETS (Educational Testing Service), que é a maior instituição educacional do mundo voltada para pesquisa, avaliação e desenvolvimento de testes de inglês para falantes de outras línguas, responsável também pelo teste TOEFL. O TOEIC é o teste de maior reconhecimento mundial, utilizado anualmente por mais de 4,5 milhões de pessoas em todo o mundo, pessoas estas que buscam ingressar em universidades no exterior, ou que buscam crescimento profissional globalmente, já que uma boa pontuação no teste tem feito com que milhares de corporações, instituições educativas e governos no mundo inteiro, promovam e empreguem os candidatos mais qualificados. Sua validade é de dois anos, e cada empresa, órgão ou universidade, exige uma pontuação mínima para os candidatos.

Figura 1 – Símbolos para utilização nos diagramas de sistemas de energia



Fonte: Odum,1996.



## 4.2 Descrição do sistema

A sede da escola analisada tem aproximadamente 45 anos e está localizada na cidade de Ouro Fino, no estado de Minas Gerais. Ela tem 114,24 m<sup>2</sup> de construção, possui cinco salas de aula, uma sala de espera, uma recepção, um banheiro e uma sala de professores. Há 273 alunos matriculados nos cursos disponíveis. Os cursos estão divididos de acordo com as idades dos alunos. Há quatro diferentes modalidades nesta escola, que são TOTS, KIDS, TEENS E CLASS. Os alunos que foram analisados são aqueles que pertencem à modalidade CLASS, em um total de 47 alunos. Eles fizeram um teste de proficiência (TOEIC) para se verificar o desempenho dos mesmos.

A avaliação em emerggia da casa foi dividida em duas fases: o processo de construção, e o uso da casa. A primeira fase, o processo de construção, foi possível adequando a casa à Norma Brasileira de Construção NBR12.721/2006, que define quais os materiais e a quantidade de horas despendidas para a manufatura. Em seguida, as unidades de valores de emerggia (UEVs) para tais materiais foram encontradas na literatura, e por último, foi calculada a emerggia.

Na fase do uso, os recursos como água, eletricidade, mensalidade, papel, copo plástico, entre outros, foram alocados proporcionalmente para os 47 alunos que realizaram a prova. Após definidas as unidades de valores de emerggia para esses recursos, foi feito o cálculo das UEVs dos professores e alunos ingressantes no curso, com base na abordagem utilizada por Odum (1996), quando ele calculou as transformidades dos diferentes níveis educacionais para os Estados Unidos no ano de 1980. Outros dois cálculos de UEVs para os professores foram realizados, e o segundo levou em consideração a abordagem de Ulgiati *et al.* (1993). Segundo esses autores (1993), as atividades diárias realizadas por um trabalhador sem formação específica são consideradas como coprodutos, portanto, a emerggia solar total por pessoa por ano (365 dias) foi dividida pela energia total metabólica aplicada ao trabalho para 285 dias de trabalho (não incluindo domingos e feriados oficiais); seguindo esse pensamento, o cálculo realizado nesse trabalho, nessa segunda abordagem, levou em consideração os 200 dias letivos e a população do estado de Minas Gerais; a terceira abordagem levou em consideração o tempo que seria necessário nessa escola para um aluno se tornar um professor de inglês como língua estrangeira. Com base na transformidade do aluno que estudou por um ano na escola, foi possível calcular essa transformidade, sabendo-se que levaria seis anos para um aluno terminar o curso completo na modalidade adulta, de um total de seis livros.

### 4.3 Aquisição de dados

A norma brasileira NBR 12721:2006, que define quais materiais são utilizados em uma construção brasileira, foi adotada para calcular a emergência da casa usada como uma escola de inglês. A utilização dessa norma é justificada, pois a casa possui as mesmas características e a metragem próxima daquela especificada pela norma. Essa norma descreve todos os materiais e mão de obra necessários para a construção de uma casa; com esses valores e suas respectivas UEV's foi possível calcular a emergência total da casa. A tabela 13, que se encontra no anexo 3, mostra esses materiais, e também a quantidade de horas trabalhadas dos pedreiros, serventes e engenheiros na construção de uma casa.

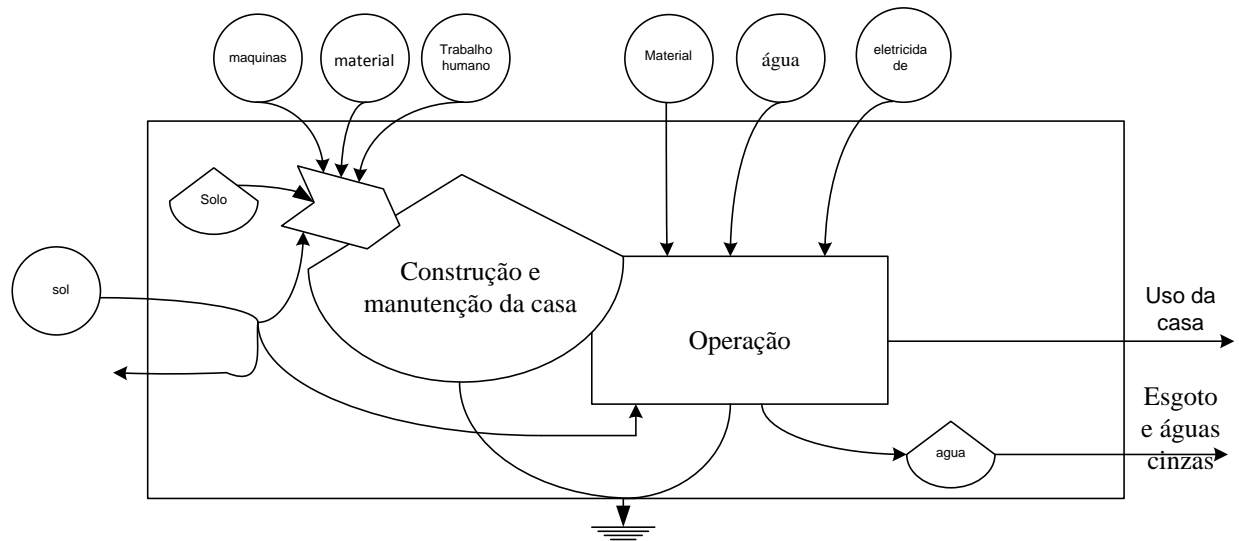
Em seguida, precisou-se fazer um levantamento dos consumos de energia elétrica e água, assim como as horas trabalhadas pelos professores e secretárias. Com esses dados levantados, foi possível calcular a emergência total do uso da escola. Essa parte da pesquisa foi feita em campo a partir de contas de água, luz, verificação dos holerites dos professores, entre outros.

Com relação ao cálculo das transformidades dos alunos ingressantes e professores da escola, levou-se em conta uma tabela do IBGE-MG, que contém o número de pessoas em diferentes níveis educacionais para o ano de 2011. Com esses dados, foi possível calcular a transformidade dos mesmos, usando a abordagem de Odum (1996), quando ele calculou as transformidades dos diferentes níveis educacionais para os Estados Unidos no ano de 1980; Odum considerou a emergência total do país e o número de indivíduos de cada nível educacional, para encontrar as respectivas transformidades. O autor considerou cada nível educacional como coprodutos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise em energia inicia-se com a construção de diagramas de energia, utilizando os símbolos da figura 1. A observação dos diagramas auxilia na identificação dos limites estabelecidos para os sistemas estudados, assim como na identificação de seus principais componentes e de suas interações. Os fluxos de material, energia e serviços necessários para a operação de sistemas são identificados nos diagramas; a cada fluxo que atravessa as fronteiras dos sistemas, é atribuída uma linha nas tabelas de energia para a análise em energia. O primeiro diagrama feito para o presente estudo mostra os recursos globais utilizados nas fases de construção da casa e uso da escola de inglês, e é apresentado na figura 2.

Figura 2 – Diagrama de energia das fases de construção e uso da casa utilizada pela escola de inglês



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 2 mostra a fase de construção e uso da casa sede da escola de inglês. Na fase da construção têm-se os materiais necessários para a construção (cimento, ferro, madeira, concreto, etc.), o trabalho humano, o maquinário e o uso do solo. Na fase do uso têm-se também os materiais necessários para o funcionamento da escola (carteiras, lousas, mesas, etc.), o consumo de água e energia elétrica, entre outros. Após a apresentação do diagrama, faz-se necessário a confecção das tabelas de energia, que apresentam todos os materiais envolvidos nas fases citadas acima, assim como suas quantidades. Para definir todos os fluxos presentes na tabela de energia da fase de construção, foi utilizada a Norma Brasileira NBR 12721/2006, que define quais os materiais necessários para uma construção brasileira por m<sup>2</sup>; as características da casa utilizada pela escola são similares às definidas pela norma

para uma residência unifamiliar. A figura 3 apresenta os tipos de residência e suas respectivas características. A casa utilizada foi construída para fins de residência familiar, depois acabou sendo adaptada para o uso comercial, logo, justifica-se considerá-la como uma de residência familiar.

Figura 3 – Características principais dos projetos padrão

Residência unifamiliar		
Residência Padrão Baixo (R1-B)	Residência Padrão Normal (R1-N)	Residência padrão alto (R1-A)
Residência completa de dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque.	Residência composta de três dormitórios, sendo uma suíte com banheiro, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel).	Residência composta de quatro dormitórios, sendo uma suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha área de serviço completa e varanda (abrigo para automóvel).
Área real: 58,64 m <sup>2</sup>	Área real: 106,44 m <sup>2</sup>	Área real: 224,82 m <sup>2</sup>

Fonte: Norma NBR 12.721/2006

A casa utilizada como sede da escola de inglês possui 114,24 m<sup>2</sup> de construção; ela possui um total de nove cômodos, assim como uma residência padrão normal (R1-N) de acordo com a norma mostrada acima na tabela.

Segundo a norma NBR 12721/2006, os materiais utilizados em uma construção tipo R1-N são apresentados na figura 4. Devido ao fato de que nem todos os materiais listados abaixo terem uma UEV ou transformidade calculadas, foi necessário adaptá-los aos materiais já existentes. A tabela abaixo apresentada na figura 4 mostra esta adaptação necessária para a avaliação em emerggia da casa. Ela tem as entradas utilizadas na construção da casa assim como os materiais relacionados.

Figura 4 – Adaptação da lista de materiais utilizados em uma construção brasileira, segundo a norma NBR 12.721/2006, aos materiais que possuem uma UEV

<b>Lote básico (por m<sup>2</sup> de construção)</b>	<b>Materiais</b>
<b>Insumos</b>	
Chapa compensado plastificado 18 mm 2,20 x 1,10 m	Madeira
Aço CA-50 $\emptyset$	Aço
Concreto fck = 25 Mpa abatimento 5 $\pm$ 1cm.	Concreto
Cimento CP-32 II	Cimento
Areia media	Areia
Brita n <sup>o</sup> . 2	Granito
Bloco cerâmico para alvenaria de vedação 9cm x 19cm x 19cm	Argila
Bloco de concreto sem função estrutural 19 x 19 x 39 cm	Cimento
Telha de fibrocimento ondulada 6 mm 2,44 x 1,10 m	Cimento
Porta interna semioca para pintura 0,60 x 2,10 m	Madeira
Esquadria de correr tamanho 2,00 x 1,40 m, em 4 folhas (2 de correr), sem bâsculas, em alumínio anodizado cor natural perfis da linha 25	Alumínio
Janela de correr tamanho 1,20 m x 1,20 m em 2 folhas, em perfil de chapa de ferro dobrada n <sup>o</sup> 20, com tratamento em fundo anticorrosivo	Ferro
Fechadura para porta interna, tráfego moderado, tipo IV (55mm), em ferro, acabamento cromado	Ferro
Placa cerâmica (azulejo) de dimensão 30 cm x 40 cm, PEI II, cor clara, imitando pedras naturais	Cerâmica
Bancada de pia de mármore branco 2,00 m x 0,60 x 0,02 m	Granito
Placa de gesso liso 0,60 x 0,60 m	Gesso
Vidro liso transparente 4 mm colocado com massa	Vidro
Tinta látex PVA	Tinta
Emulsão asfáltica impermeabilizante	Asfalto
Fio de cobre antichama, isolamento 750 V, # 2,5 mm <sup>2</sup>	Cobre
Disjuntor tripolar 70 A	Plástico
Bacia sanitária branca com caixa acoplada	Cerâmica
Registro de pressão cromado $\emptyset$ 1/2"	Cobre
Tubo de ferro galvanizado com costura $\emptyset$ 2 1/2"	Ferro
Tubo de PVC-R rígido reforçado para esgoto $\emptyset$ 150 mm	PVC
<b>Mão de obra</b>	
Pedreiro	Hora homem
Servente	Hora homem
<b>Equipamentos</b>	
Locação de betoneira 320 I	Ferro

Fonte: NBR n<sup>o</sup>. 12.721/2006 (ABNT)

A primeira tabela de emergia (tabela 2) apresenta o resultado da emergia total da fase de construção, levando em consideração os materiais citados na norma NBR12721/2006. A segunda tabela de emergia (tabela 3) apresenta as fases de construção e uso da casa, considerando os materiais utilizados pela escola, como carteiras, lousas, consumo de água, eletricidade, computadores, entre outros. As tabelas seguintes (tabelas 6, 8 e 9) apresentam o valor total da emergia incluindo o trabalho dos professores e secretárias, assim como a emergia do aluno ingressante.

Para se calcular a emergia dos materiais utilizados e horas trabalhadas na construção multiplica-se a coluna de quantidade pelo "fator de conversão" (UEV) correspondente. Pode-se verificar nos anexos a quantidade de cada material por m<sup>2</sup> de construção, assim como seus coeficientes de ajuste que foram calculados por Carvalho (2010). A tabela 2 apresenta a emergia da fase de construção da casa.

Tabela 2 – Emergia da fase de construção da casa (utilizando os materiais relacionadas na norma)

Item	Descrição	Unid.	Quant.	UEV seJ/unidade	Emergia seJ	% seJ/seJ	REF
1	Madeira	kg	1,20E+03	8,79E+11	1,06E+15	<1	a
2	Aço	kg	2,03E+03	6,97E+12	1,42E+16	3,14	c
3	Concreto	kg	5,85E+04	1,81E+12	1,06E+17	23,48	c
4	Areia	kg	3,85E+04	1,68E+12	6,46E+16	14,35	a
5	Granito	kg	1,12E+04	2,44E+12	1,73E+14	<1	a
6	Cimento	kg	1,33E+04	3,04E+12	4,05E+16	8,99	e
7	Alumínio	kg	9,18E+01	2,13E+13	1,96E+15	<1	e
8	Ferro	kg	1,34E+01	6,97E+12	9,37E+13	<1	e
9	Cerâmica	kg	3,29E+03	5,14E+12	1,69E+16	3,75	c
10	Vidro	kg	1,06E+02	1,41E+12	1,50E+14	<1	a
11	Tinta	kg	3,70E+02	2,55E+13	9,42E+15	2,09	e
12	Emulsão asfáltica	kg	8,13E+01	2,55E+13	2,07E+15	<1	f
13	Cobre	kg	7,77E+01	1,04E+14	8,08E+15	1,79	e
14	PVC	kg	2,12E+02	9,86E+12	2,09E+15	<1	e
15	Plástico	kg	2,77E-01	5,76E+12	1,60E+12	<1	e
16	Mão de obra	J	3,42E+09	1,24E+07	4,24E+16	9,40	d
17	Argila	kg	2,95E+04	4,80E+12	1,41E+17	31,29	a
18	Total				4,51E+17	100	

a- Odum, 1996

b- Brown *et al.*, 2002

c- Brown e Buranakarn, 2003

d- Demetrio, 2012

e- Pulselli *et al.*, 2006

f- Pulselli *et al.*, 2001

Fonte: Elaborado pelo autor

A energia total da construção, de acordo com os materiais estabelecidos pela norma, é de  $4,51\text{E}+17$  seJ. Pode-se perceber que os materiais que mais contribuíram para essa fase foram argila (31,29%), concreto (23,48%), areia (14,35%), mão de obra (9,40%) e cimento (8,99%), ou seja, 87,51% do total da energia do sistema. Na avaliação da construção feita por Pulselli *et al.* (2007) os materiais mais significativos foram concreto (44.65%), tijolo (26.07%), argamassa (6,57%) e aço (5,15%); a mão de obra foi responsável por 2.04% do total de energia, e todos eles juntos somam 85,11% do total. O valor total da energia encontrada para uma construção brasileira feita por Carvalho (2010) para uma residência padrão normal (R1-N), utilizando a mesma norma utilizada neste trabalho, foi de  $3,84\text{E}+17$  seJ, ou seja, um valor menor, pois a metragem desta casa é menor do que aquela primeira. Segundo a norma, uma casa padrão normal (R1-N) tem uma metragem de 106,44 m<sup>2</sup>.

Na tabela 3 são apresentados esses recursos e suas respectivas UEV's, assim como a energia necessária para a fase da construção considerando 50 anos como vida útil da mesma. Nesta tabela não foram apresentados ainda os recursos humanos dos professores, alunos e secretárias.

Tabela 3 – Avaliação de energia da escola de inglês (construção e uso)

Item	Descrição	Unidade	Quant. (un./ano)	UEV (seJ/unidade)	Energia seJ/ano	% (seJ/seJ)	Referência
Infraestrutura							
1	Construção				9,02E+15	41,06	a
Uso							
2	Água	m <sup>3</sup> /ano	4,80E+01	7,75E+11	3,72E+13	<1	b
3	Eletricidade	J/ano	9,41E+09	2,69E+05	2,53E+15	11,52%	c
4	Papel	g/ano	2,30E+04	2,38E+09	5,47E+13	<1	d
5	Plástico	g/ano	1,89E+05	5,76E+09	1,09E+15	<1	e
6	Vidro	g/ano	6,69E+03	1,41E+09	9,81E+12	<1	e
7	Madeira	g/ano	2,74E+04	8,79E+08	2,41E+13	<1	e
8	Ferro	g/ano	5,42E+04	6,07E+09	3,78E+14	<1	e
9	Produtos de limpeza	g/ano	1,20E+04	6,38E+08	7,66E+12	<1	c
10	Computador	g/ano	3,90E+04	2,26E+11	8,81E+15	40,13	f
	Total				2,20E+16	100,00	

a- calculada para este trabalho

b- Buenfil 2001

c- Odum 1996

d- Meillaud *et al.* 2005

e- Brown and Buranakarn 2003

f- Cohen *et al.*, 2006

Fonte: Elaborado pelo autor





peessoas em determinado nível de conhecimento e experiência para cada nível. As transformidades calculadas estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Transformidades para os diferentes níveis educacionais dos Estados Unidos no ano de 1980

Nível educacional	Número de indivíduos E+06	Energia dos indivíduos E+06 seJ/ind/ano	Transformidade E+06 seJ/J
Pré-escola	234	3.4	8.9
Escola fundamental	83	9.4	24.6
Faculdade	28	28.0	73.3
Pós-graduação	6	131.0	343.0

Fonte: Odum (1996)

Usando essa mesma abordagem foi possível calcular diferentes transformidades para os habitantes do estado de Minas Gerais. Esse trabalho é de extrema importância, pois com esses valores será possível calcular a energia da instituição de ensino em análise. A energia total do estado de Minas Gerais  $9.30\text{E}+23$  seJ/ano (DEMETRIO, 2011), dividida pela energia despendida por esses estudantes de cada nível educacional, resulta na transformidade humana para aquele nível. Para o levantamento do número de estudantes em cada nível escolar foi utilizado um levantamento realizado pelo Censo Brasileiro 2010. A tabela 5 apresenta todos esses valores.

Tabela 5 – Transformidades para os diferentes níveis educacionais do estado de Minas Gerais para o ano de 2010

Nível educacional	Número de indivíduos E+06	Energia dos indivíduos E+15 J/ano	Transformidade seJ/J
Pré-escola	10.7	40.97	$2.27\text{E}+07$
Escola fundamental	3.76	14.37	$6.47\text{E}+07$
Ensino médio	3.60	13.99	$6.65\text{E}+07$
Faculdade	1.30	5.2	$1.81\text{E}+08$

Fonte: Elaborado pelo autor

As transformidades encontradas por Odum variam de  $8,9\text{E}+06$  sej/J a  $3,43\text{E}+08$  sej/J; as transformidades calculadas para o estado de Minas Gerais variam de  $2,27\text{E}+07$  sej/J a  $1,81\text{E}+08$  sej/J. Essas transformidades foram calculadas considerando a energia metabólica dos estudantes necessárias para todos os dias do ano (365), da mesma maneira que Odum (1996) fez quando calculou as transformidades dos níveis educacionais em 1980.

Segundo Odum (1996) a transformidade é a medida de hierarquia de energia e é aparentemente aplicável a todas as quantidades de matéria, energia ou informação; ele ainda afirma que quanto maior o número de transformações de energia contribuindo para um produto, maior será a transformidade. Pode-se verificar que isso aconteceu quando o cálculo foi feito levando em consideração os valores para os Estados Unidos no ano de 1980, e também para o cálculo feito para o estado de Minas Gerais.

Para um indivíduo que se encontra na pré-escola, o valor encontrado por Odum é de  $8,9\text{E}+06$  seJ/J, enquanto que para um indivíduo que possui pós-graduação, esse valor é de  $3.43\text{E}+08$  seJ/J, um valor maior se comparado com o primeiro. Em Minas Gerais o valor da transformidade de um indivíduo que se encontra no nível pré-escola é de  $2,27\text{E}+07$  seJ/J, e para um indivíduo que se encontra na faculdade é de  $1,81\text{E}+08$  seJ/J. Esses valores são diferentes porque o número de estudantes para os níveis educacionais dos Estados Unidos e do estado de Minas Gerais são diferentes.

Com os valores das transformidades humanas encontradas para o estado de Minas Gerais foi possível calcular a emergia dos professores, secretárias e alunos da escola de inglês. O número de alunos considerados para o cálculo foi de 47, pois esses são os que realizaram a prova de proficiência em inglês. Consequentemente, foi necessário alocar recursos; logo, as alocações foram aquelas relacionadas à água, eletricidade, papel, plástico e produtos de limpeza. A tabela 6 mostra os valores encontrados, já incluindo todos os recursos globais necessários para o funcionamento da escola.

Tabela 6 – Avaliação de emerggia da escola de inglês incluindo os professores, secretárias e alunos

Item	Descrição	Unidade	Quant. (un/ano)	UEV (seJ/unidade)	Emergia seJ/ano	% (seJ/seJ)	Referência
Infraestrutura							
1	Construção				9,02E+15	2,24	a
Uso							
2	Água	m <sup>3</sup> /ano	4,80E+01	7,75E+11	3,72E+13	<1	b
3	Eletricidade	J/ano	9,41E+09	2,69E+05	2,53E+15	<1	c
4	Papel	g/ano	2,30E+04	2,38E+09	5,47E+13	<1	d
5	Plástico	g/ano	1,89E+05	5,76E+09	1,09E+15	<1	e
6	Vidro	g/ano	6,69E+03	1,41E+09	9,81E+12	<1	e
7	Madeira	g/ano	2,74E+04	8,79E+08	2,41E+13	<1	e
8	Ferro	g/ano	5,42E+04	6,97E+09	3,78E+14	<1	e
9	Computador	g/ano	3,90E+04	2,26E+11	8,81E+15	2,19	f
10	Secretária	J/ano	1,42E+09	6,65E+07	9,44E+16	23,44	g
11	Alunos	J/ano	2,83E+09	6,65E+07	1,88E+17	46,71	g
12	Professores	J/ano	5,43E+08	1,81E+08	9,83E+16	24,40	g
Total					4,03E+17	100	

a- calculada para este trabalho

b- Buenfil 2001

c- Odum 1996

d- Meillaud *et al.* 2005

e- Brown and Buranakarn 2003

f- Cohen *et al.*, 2006

g- calculado para este trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se perceber que o recurso global com maior emerggia nas fases de construção e uso foram os recursos humanos, que contabilizaram com mais de 90% do total da emerggia. Se o valor total da emerggia do sistema encontrado for dividido pela energia dos alunos que realizaram o teste, um novo valor de transformidade será encontrado, e é maior do que aquele encontrado para o aluno do ensino médio que está entrando no sistema. Essa nova transformidade do aluno é de 1,42E+08 seJ/J, um valor 2,13 vezes maior que a primeira transformidade calculada para o aluno ingressante.

Uma segunda abordagem foi utilizada para o cálculo das transformidades dos níveis educacionais. Segundo Ulgiati *et al.* (1993) as atividades diárias realizadas por um trabalhador sem formação específica são consideradas como coprodutos, portanto, a emerggia solar total por pessoa por ano (365 dias) foi dividida pela energia total metabólica aplicada ao trabalho para 285 dias de trabalho (não incluindo domingos e feriados oficiais); seguindo esse pensamento, o cálculo realizado nesse trabalho, nessa segunda abordagem, levou em consideração os 200 dias letivos e a população do estado de Minas Gerais. A tabela 7 mostra os valores de transformidade e energia metabólica encontrados.

Tabela 7 – Transformidade humana encontrada levando em consideração a abordagem de Ugliati *et al.* (1993)

População de MG (pessoas)	Energia de MG (sej/ano)	Dias letivos (dias)	Calorias por dia (kcal/dia)	Conversão kcal/J	Energia (J)	Transformidade (sej/J)
19.597.330	9,3E+23	200	2500	4186	4,16E+16	2,27E+07

Fonte: Elaborado pelo autor

Com esse novo valor de transformidade, a emergia total do sistema aumentou significativamente. A tabela 8 mostra os resultados encontrados.

Tabela 8 – Emergia total do sistema levando em consideração a abordagem de Ugliati *et al.* (1993) para o cálculo da transformidade humana

Item	Descrição	Unidade	Quant. (un/ano)	UEV (seJ/unidade)	Energia seJ/ano	% (seJ/seJ)	Referência
Infraestrutura							
1	Construção				9,02E+15	<1	A
Uso							
2	Água	m³/ano	4,80E+01	7,75E+11	3,72E+13	<1	B
3	Elettricidade	J/ano	9,41E+09	2,69E+05	2,53E+15	<1	C
4	Papel	g/ano	2,30E+04	2,38E+09	5,47E+13	<1	D
5	Plástico	g/ano	1,89E+05	5,76E+09	1,09E+15	<1	E
6	Vidro	g/ano	6,69E+03	1,41E+09	9,81E+12	<1	E
7	Madeira	g/ano	2,74E+04	8,79E+08	2,41E+13	<1	E
8	Ferro	g/ano	5,42E+04	6,97E+09	3,78E+14	<1	E
9	Computador	g/ano	3,90E+04	2,26E+11	8,81E+15	<1	F
10	Secretária	J/ano	2,09E+09	1,79E+07	4,74E+16	1,83	G
11	Alunos	J/ano	9,84E+10	1,79E+07	2,23E+18	86,07	G
12	Professores	J/ano	1,26E+10	1,79E+07	2,86E+17	11,02	G
Total					2,04E+18	100	

a- calculada para este trabalho

b- Buenfil 2001

c- Odum 1996

d- Meillaud *et al.* 2005

e- Brown and Buranakarn 2003

f- Cohen *et al.*, 2006

g- calculado para este trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que os recursos humanos contabilizaram mais de 90% do total de energia; isso se justifica pelo fato de o valor da transformidade utilizada para os alunos, professores e secretária ser alto, se comparado com os primeiros valores utilizados na abordagem de Odum (1996). E também o total de energia aumentou significativamente. Portanto, a forma como é feito o cálculo da transformidade é muito importante para o resultado da avaliação em energia.

Uma terceira abordagem foi adotada para se calcular a transformidade dos professores. Considerou-se que um aluno que terminou os seis livros da escola da coleção desenvolvida para adultos (W2, W4, W6, W8, W10 E W12) seria proficiente o suficiente para se tornar um professor de inglês nessa escola. Então, para calcular a transformidade do professor, foi necessário dividir a energia total do sistema pela energia dos alunos que fizeram o teste de proficiência. Logo, a transformidade encontrada foi multiplicada por seis. Multiplicando-se a transformidade encontrada pela energia do professor encontra-se a energia. A transformidade do professor é igual à energia total do sistema  $4,03E+17$  seJ/ano, dividido pela energia dos alunos que fizeram o teste (47 alunos x 120 kcal por dia x 4186 J/kcal x 120h/ano); esse valor encontrado foi multiplicado por seis, e a transformidade foi encontrada. As fórmulas com esses cálculos são apresentadas a seguir.

$$E_C + E_{uso} + En_p \times Tr_a \times 6 = Em_p \quad (1)$$

- Onde  $E_c$  = Energia da construção,  $E_{uso}$  = Energia do uso da casa,  $En_p$  = Energia dos professores,  $Tr_a$  = Transformidade dos alunos após um ano de estudo e  $Em_p$  = Energia dos professores.

Utilizamos ainda a fórmula 2 para determinar a transformidade do professor:

$$Tr_p = \frac{Em_p}{En_p} \quad (2)$$

- Onde  $Tr_p$  é a transformidade do professor.

Os resultados obtidos na análise em energia, considerando o professor com uma transformidade seis vezes maior que a do aluno, são mostrados na tabela 9.

Tabela 9 – Avaliação de emergia da escola de inglês incluindo os professores, secretárias e alunos

Item	Descrição	Unidade	Quant. (uni./ano)	UEV (seJ/unidade)	Emergia seJ/ano	% (seJ/seJ)	Referência
Infraestrutura							
1	Construção				9,02E+15	<1	a
Uso							
2	Água	m³/ano	4,80E+01	7,75E+11	3,72E+13	<1	b
3	Elettricidade	J/ano	9,41E+09	2,69E+05	2.53E+15	<1	c
4	Papel	g/ano	2,30E+04	2,38E+09	5,47E+13	<1	d
5	Plástico	g/ano	1,89E+05	5,76E+09	1.09E+15	<1	e
6	Vidro	g/ano	6,69E+03	1,41E+09	9,81E+12	<1	e
7	Madeira	g/ano	2,74E+04	8,79E+08	2,41E+13	<1	e
8	Ferro	g/ano	5,42E+04	6,97E+09	3,78E+14	<1	e
9	Computador	g/ano	3,90E+04	2,26E+11	8,81E+15	<1	f
10	Secretárias	J/ano	1,42E+09	6,65E+07	9,44E+16	12,3	g
11	Alunos	J/ano	2,83E+09	6,65E+07	1,88E+17	24,5	g
12	Professores	J/ano	5,43E+08	8,54E+08	4,64E+17	60,4	g
Total					7,68E+17	100	

a- calculada para este trabalho

b- Buenfil 2001

c- Odum 1996

d- Meillaud *et al.* 2005

e- Brown and Buranakarn 2003

f- Cohen *et al.*, 2006

g- calculado para este trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor

Com esta nova abordagem nota-se que o recurso com uma maior emergia para o sistema são os professores, que contabilizaram 60,4% do total de emergia do sistema, seguidos pelos alunos com 24,5%, e secretárias com 12,3% do total. Assim como discutido acima, o valor das transformidades utilizadas aqui também modificou o resultado de forma significativa, se comparado com o primeiro resultado.

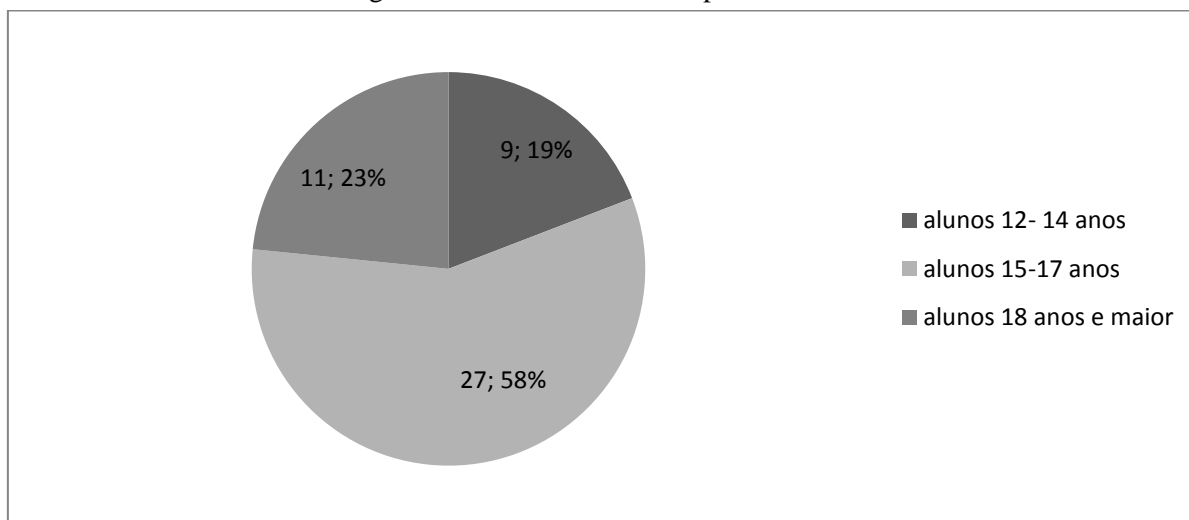
De acordo com a álgebra da emergia discutida por Odum (1996), adicionar fluxos que foram gerados de um mesmo processo anterior, pode ser considerado dupla contagem, e deveria ser evitado. Abel (2010) discutiu essas considerações usando exemplos de emergia do trabalho humano. Devido ao fato de a formação de uma pessoa com grau superior precisar de vários anos de uso contínuo de recursos (recursos de entrada) para ser obtida, a inclusão de fluxos dos professores, assim como dos alunos, pode ser considerada (ambos coprodutos da emergia do estado de Minas Gerais). No presente trabalho, ambos os fluxos foram

considerados. Tópicos como energia do trabalho humano e da informação merecem uma maior atenção e discussão.

Os alunos envolvidos no processo de aprendizagem da língua estrangeira fizeram um simulado do TOEIC (*Test of English for International Communication*); a tabela do TOEIC com suas pontuações e níveis de proficiência é apresentada nos anexos. Os alunos foram divididos em três diferentes faixas etárias e também em três diferentes tempos de instrução.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação LDB (1996) faz uma divisão de níveis escolares e idades. De acordo com a lei, a educação básica é o primeiro nível do ensino escolar no Brasil, e compreende três etapas: a educação infantil (para crianças com até cinco anos), o ensino fundamental (para alunos de 6 a 14 anos) e o ensino médio (para alunos de 15 a 17 anos). A divisão dos alunos que fizeram a prova foi feita utilizando esta lei como referência, assim foram consideradas as faixas etárias de 12-14 anos, 15-17 anos e maiores de 18 anos. Os estudantes que estão na faixa etária entre 6 a 11 anos não foram considerados, pois dentre os que realizaram o teste, nenhum deles era dessa faixa. As notas dos alunos com idade acima de 18 anos também foram consideradas. A figura 6 mostra a divisão dos alunos que realizaram o teste por faixa etária.

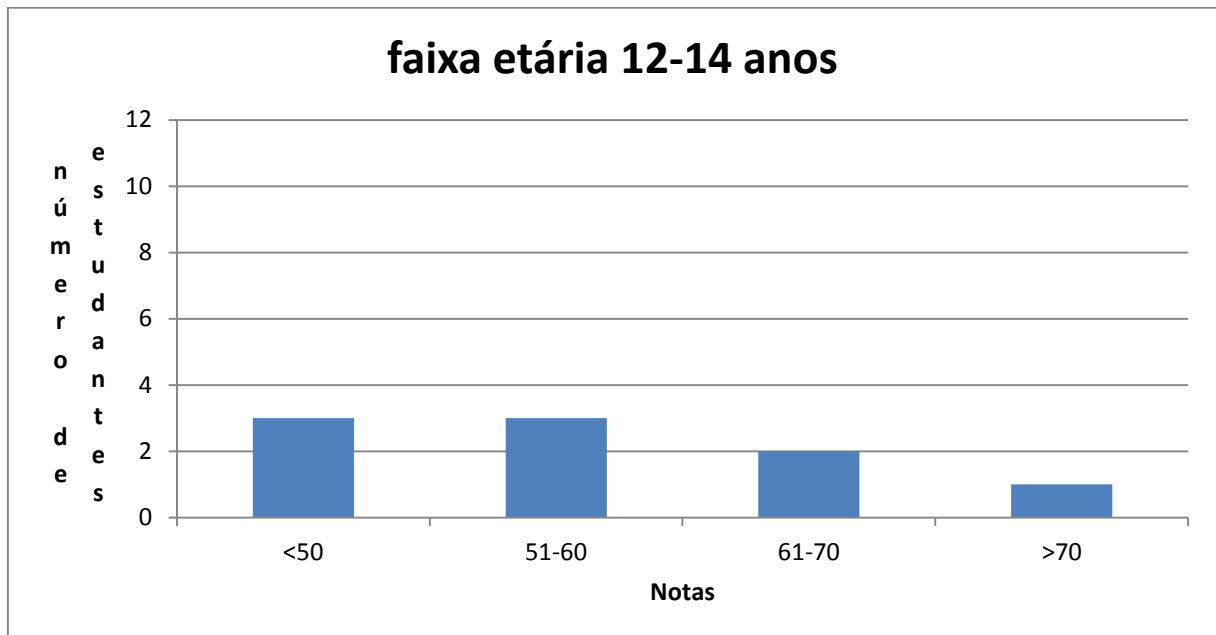
Figura 6 – Divisão dos alunos por faixa etária



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 7 apresenta os resultados dos alunos que realizaram a prova e estão na faixa etária entre 12 e 14 anos de idade. A nota média atingida por esses alunos foi 56,1.

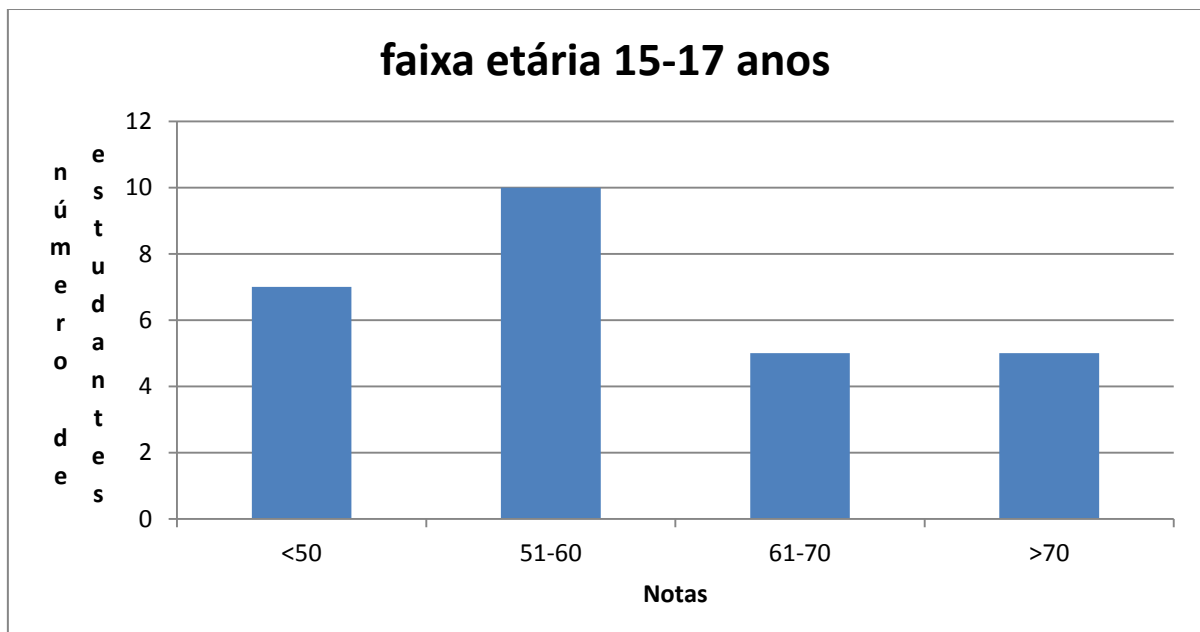
Figura 7 – Resultado do TOEIC para a faixa etária de 12-14 anos de idade



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 8 apresenta os resultados dos alunos que realizaram a prova e estão na faixa etária entre 15 e 17 anos de idade. A nota média atingida por esses alunos foi 58,6.

Figura 8 – Resultado do TOEIC para a faixa etária de 15-17 anos de idade

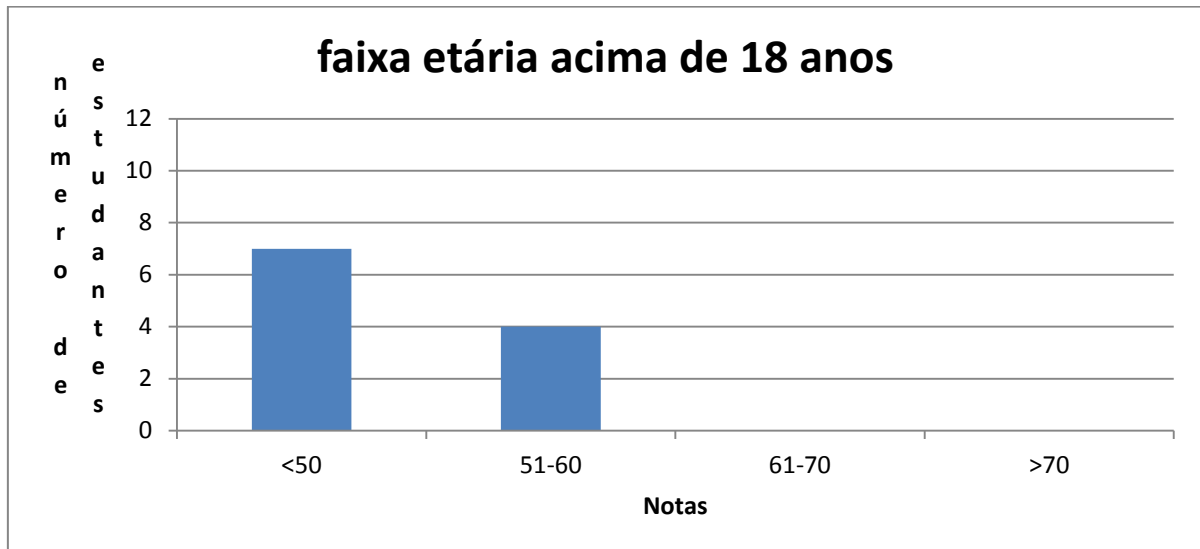


Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 9 apresenta os resultados dos alunos que realizaram a prova e estão na faixa etária de 18 anos de idade e acima. A nota média atingida por esses alunos foi 45,9.



Figura 9 – Resultado do TOEIC para a faixa etária acima de 18 anos de idade



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se perceber que vários resultados foram obtidos com relação às notas do TOEIC. Os alunos que obtiveram a melhor média na prova foram aqueles que estão na faixa etária de 15 a 17 anos de idade, e os que apresentaram um pior resultado são aqueles que estão acima da faixa etária dos 18 anos. Várias explicações podem ser dadas para que isso ocorresse. Uma delas foi apresentada por Mitchel e Myles (1998):

O aprendizado de uma segunda língua pode ser caracterizado como um sucesso incompleto; a evolução sistemática reivindicada de nossas regras subjacentes com relação ao sistema da língua alvo parece condenada, na maioria das vezes, nunca se integrando completamente ao seu objetivo. De fato, enquanto alguns alunos continuam aprendendo, outros parecem deixar de fazer qualquer progresso visível, não importando quantas aulas de língua eles frequentem, ou quão ativamente eles continuem a usar a segunda língua para fins comunicativos. O termo fossilização é comumente utilizado para descrever este fenômeno, quando o sistema de um aprendiz de uma segunda língua parece “congelar”, ou tornar-se preso, em algum estágio mais ou menos desviante. (MITCHELL, R.;MYLES, F., 1998).

Ainda de acordo com os autores, há algumas diferenças entre os aprendizes, e elas estão divididas em duas categorias, que são os fatores cognitivos e afetivos. Os fatores cognitivos estão relacionados à inteligência, aptidão para línguas e estratégias de aprendizagem; enquanto que os fatores afetivos estão relacionados à atitude, motivação e ansiedade.

Outra justificativa para a nota obtida pelos alunos que estão na faixa etária acima de 18 anos pode ser explicada por Lenneberg (1967), quando apresentou a *Critical Period Hypothesis (CPH)*, que diz existir um período na vida de um indivíduo em que a aquisição de

uma língua estrangeira pode ser imperfeita ou incompleta, enfatizando que a aquisição automática de simples exposição à língua pode desaparecer depois da puberdade.

Outros resultados têm mostrado que estudantes que iniciaram o estudo de uma língua estrangeira mais jovem obtiveram melhores resultados do que aqueles que começaram mais velhos, especialmente em morfossintaxe (BIRDSONG e MOLIS 2001, DEKEYSER 2000, JOHSON e NEWPORT 1989, PATKOWSKI 1980) e pronúncia (FLEGE 1991, FLEGE e MACKAY 2004).

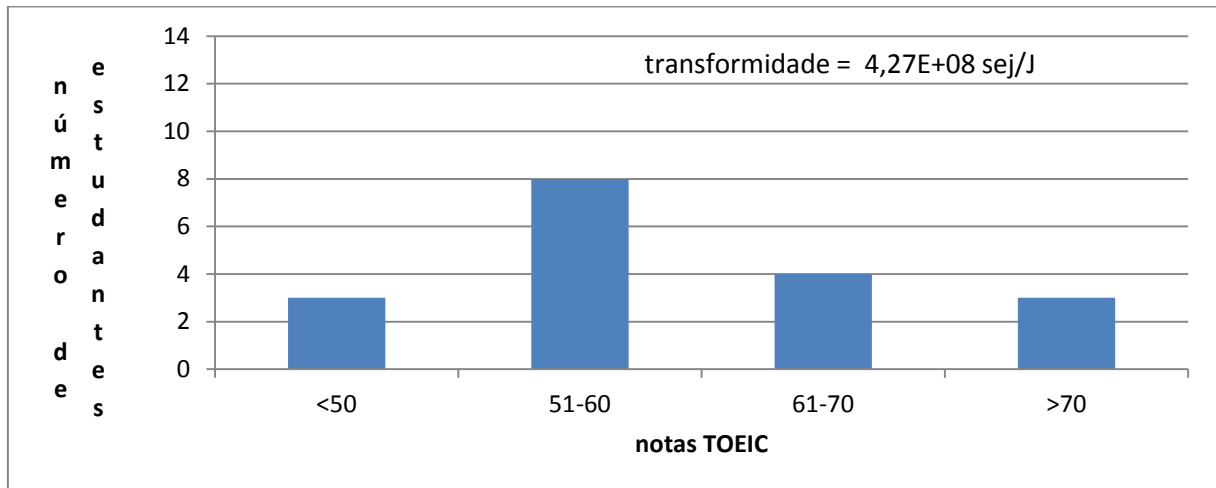
No entanto, Mayo e Lecumberri (2003), em seu artigo *Age and the Acquisition of English as a Foreign Language*, afirmam que, enquanto os argumentos de Lenneberg com relação à maturação do desenvolvimento do cérebro foram apoiados por evidências neurológicas, não há evidências a respeito de suas afirmações relativas à aprendizagem de uma segunda língua ou língua estrangeira após a puberdade, tendo o autor se baseado simplesmente em apelos implícitos de considerações populares.

Outro problema com relação à análise dos resultados da nota obtida no exame é a diferença entre competência e desempenho proposta por Chomsky (1965), em que o autor define como competência o conhecimento da língua pelo falante, enquanto que o uso deste conhecimento é o desempenho, ou o real uso da língua em situações concretas. Segundo o autor, competência é fundamentalmente diferente de desempenho, mas aquela gera o desempenho. Fulcher (1995) afirma que um problema para pesquisadores envolvidos com estudos sobre aquisição de segunda língua que aceitam esta distinção, será como descrever competência quando o acesso sempre acontece pelo desempenho, este variável e dependente de fatores diversos, como o humor das pessoas, suas condições físicas, o tópico da conversa, ou o horário do dia em que este teste foi aplicado. O teste de proficiência mede o desempenho dos alunos que muitas vezes pode ser diferente da competência.

As figuras 10 e 11 mostram os resultados dos alunos no simulado do TOEIC comparados com as transformidades encontradas para dois diferentes tempos de instrução. O primeiro gráfico mostra o resultado dos alunos que estão cursando o W6, ou seja, estão na escola há três anos, portanto com uma transformidade igual a  $4,27E+08seJ/J$ , três vezes maior do que aquela primeira transformidade encontrada para os alunos que estão na escola há um ano, e uma nota média no exame de proficiência de 59,1 pontos; o segundo gráfico mostra os alunos que estão cursando o W8, ou seja, estão na escola há quatro anos, portanto com uma transformidade de  $5,70E+08seJ/J$  que é quatro vezes maior que aquela primeira encontrada

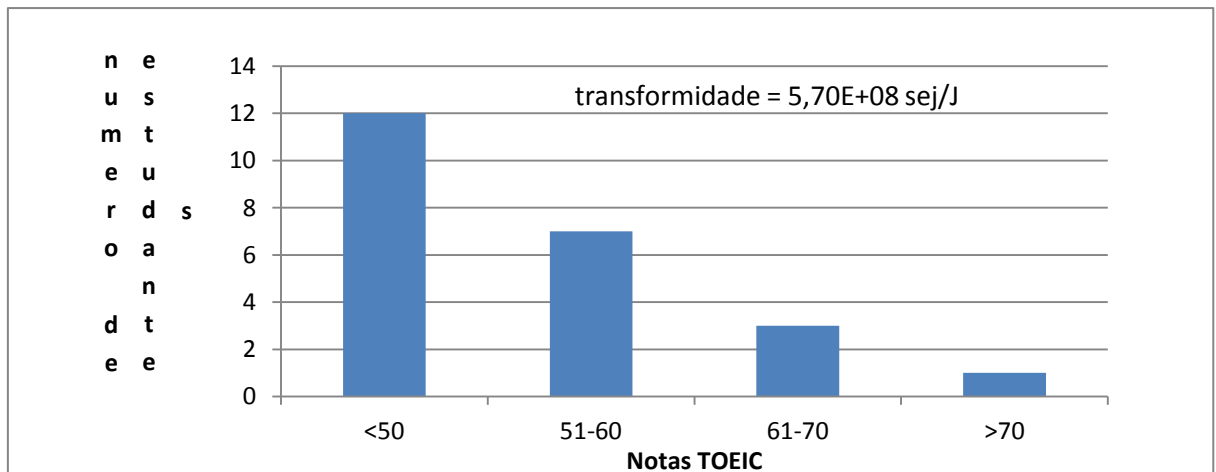
para os alunos depois de um ano na escola, e uma nota média no exame de proficiência de 52,3 pontos. O cálculo das transformidades foi feito assim, pois segundo Campbell (2014), a energia exigida para produzir um indivíduo em um determinado nível educacional deve ser calculada pela soma dos anos na escola necessários para aquele nível de conhecimento.

Figura 10 – Resultado do TOEIC para os alunos que estão há três anos na escola



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 11 – Resultado do TOEIC para os alunos que estão há quatro anos na escola



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se perceber que os alunos que têm uma transformidade menor obtiveram uma nota média melhor do que aqueles que apresentam uma transformidade maior; isso ocorreu porque a maioria dos alunos que estão no nível três de instrução (W6) estão na faixa etária entre 15-17 anos de idade.

Por último, uma análise da aula oral de inglês foi feita. Odum (1996), em sua obra Contabilidade Ambiental, fornece sua descrição mais detalhada do procedimento necessário

para o cálculo da emergia da informação, que inclui um tratado teórico sobre informação, sua produção e sua manutenção. Em uma demonstração que utiliza dados de uma mata atlântica localizada em Porto Rico, Odum mostra os passos do cálculo das transformidades da informação para os processos da Mata Atlântica - duplicação das folhas, crescimento das sementes, manutenção da espécie e desenvolvimento de uma nova espécie, que o mesmo classificou de tipos (I, II, III e IV respectivamente). Abel (2013) utiliza a mesma abordagem para o cálculo da emergia para uma produção de informação estritamente humana, que é a conversação. Abel, adotando esses princípios de Odum, avalia os tipos II, III e IV do ciclo de informação. Abel afirma que, com a evolução dos humanos, uma nova forma de informação apareceu, a qual foi chamada de cultura. Abel oferece um quadro teórico para a aplicação do ciclo da informação de Odum ao ciclo de produção da cultura, que pode ser dividida de forma hierárquica com escalas distintas de produção de informação, incluindo memória, conversa, mídia, ritual, educação, pesquisa e códigos legais. Considerando a conversa como produto final de um sistema, pode-se dizer, segundo Abel, que as entradas de energia são principalmente do metabolismo humano, e as saídas são a energia do discurso. De forma análoga, a transformidade da aula oral de inglês foi calculada levando em consideração o tipo II de produção de informação.

A tabela 10 mostra um resumo e comparação dos tipos de informação para os dois estudos citados acima. Os quatro tipos de duplicação de informação, e o número de ciclos exigidos para essa duplicação são listados abaixo, assim como a descrição de seus resultados quando aplicados em dois estudos realizados por Odum e Abel, cujos sistemas são as árvores da mata atlântica e a conversa, respectivamente.

Tabela 10 – Tipos de informação			
Tipo de duplicação	Número de ciclos	Árvores da mata atlântica - Odum 1996	Conversa - Abel 2013
(I) cópia das unidades contendo a informação	Um (muitos?)	Duplicação das folhas das árvores	Retransmitir informação na memória
(II) reprodução da informação - isolar e extrair informação na forma compacta	Um	Produção e dispersão de sementes	Uma conversa e dispersão de pessoas
(III) informação compartilhada	Muitos	Manutenção das espécies	Manutenção do tópico da conversa
(IV) criação de nova informação - desenvolvimento de informação útil	Muitos mais, que são mutação e seleção	Formação de espécies	Formação de uma variante de uma nova cultura

Fonte: Odum (1996) e Abel (2013)

Pode-se perceber que, de acordo com a tabela, são quatro os diferentes tipos de informação. Thomas Abel (2013) calculou os tipos II, III e IV para a conversa. Para o tipo II, a energia para isolar e extrair informação na forma compacta, no caso da informação cultural, é a conversa seguida pela dispersão das pessoas, até que outra conversa aconteça. Abel estudou o comportamento da conversa no campus de Taiwan e apresentou medidas e estimativas para esse comportamento. Esses resultados estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Comportamento da conversa no campus de Taiwan

Variáveis	Valores	Unidades
Número médio de pessoas em cada conversa	2,5	Pessoas
Tempo médio na conversa	130	Minutos/dia
Duração média de cada conversa	9	Minutos/conversa
Número médio de conversas	14	Conversas/pessoa/dia
Duração média de tempo em que o tópico é compartilhado	14	Dias

Fonte: Abel, 2013

Com esses dados é possível calcular a transformidade da informação do tipo II, através da fórmula 3:

$$F_{\text{sup}} = Em_{\text{sup}} \times Tpc \quad (3)$$

- Fluxo de energia suporte = energia suporte para 2,5 pessoas X tempo de conversa (9 minutos)

Onde  $F_{\text{sup}}$  = Energia de suporte,  $Em_{\text{sup}}$  = Energia metabólica de 2,5 pessoas x Transformidade de uma média de uma pessoa e  $Tpc$  = Tempo de conversa em minutos

$$Em_p = (2.500 \text{ kcal /dia}) \times (4186 \text{ kcal/J}) \times (2,5 \text{ pessoas}) \times (7,3E+07 \text{ seJ/J})$$

$$Em_p = 2,23E+13 \text{ seJ para 2,5 pessoas para 9 minutos de conversa}$$

A fórmula 4 mostra o cálculo da energia do fluxo de informação, considerando o portador como sendo a energia do discurso.

$$En = En_d \times Tp_c \quad (4)$$

- Energia = energia do discurso X tempo de conversa

Onde En é Energia do fluxo de informação e  $En_d$  é a Energia do discurso

$$En = (1E-5J/s) \times (9 \text{ minutos}) \times (60 \text{ segundos/minuto})$$

$$En = 5,57E-3J$$

Em seguida, Abel (2013) dividiu o valor da energia do sistema por Em, para determinar a transformidade da conversa, resultando em  $2,23E+13$  seJ/J.

A mesma abordagem foi utilizada para o cálculo da transformidade da informação do tipo II, para uma aula oral de inglês. Algumas considerações foram feitas para essa aula, e elas são apresentadas na tabela 12.

Tabela 12 – Comportamento de uma aula oral de inglês na escola analisada

Variáveis	Valores	Unidades
Número médio de pessoas em cada aula	6,5	Pessoas (5,5 alunos + 1 professor)
Tempo médio da aula	120	Minutos/semana
Duração média da aula	60	Minutos/aula
Número médio de aulas	2	Conversas/pessoa/dia
Duração média de tempo em que o tópico é compartilhado	1	Semana

Fonte: Elaborado pelo autor

Neste quadro nota-se que o número médio de pessoas em cada aula foi de 6,5, onde 5,5 correspondem ao número de alunos e 1 ao número de professores. Os 47 alunos envolvidos na pesquisa encontram-se em 9 diferentes turmas com duas aulas semanais, um total de 120 minutos por semana. Cada aula representa uma conversa e um tópico é discutido em duas aulas; isto ocorre porque o livro utilizado pelos alunos divide-se em lições de input e

de output. Nas lições de input um novo conteúdo é apresentado para os alunos, já na de output, esse conteúdo é revisado.

Com as fórmulas 3 e 4 e os dados do quadro 6 é possível calcular a transformidade da aula de inglês.

Fórmula 3:

- $\text{Energia} = (2.500 \text{ kcal/dia}) \times (4.186 \text{ J/kcal}) \times (5,5 \text{ alunos}) \times (6,65\text{E}+7 \text{ seJ/J}) \times (4,17\text{E}-2 \text{ dias}) + (2500 \text{ kcal /dia}) \times (4186 \text{ J/kcal}) \times (1 \text{ professor}) \times (1.81\text{E}+8 \text{ seJ/J}) \times (4.17\text{E}-2 \text{ dias})$
- $\text{Energia} = 2,83\text{E}+14 \text{ seJ}$

Fórmula 4:

- $\text{Energia} = (1\text{E}-5 \text{ J/s}) \times (60 \text{ min}) \times (60 \text{ min/segundos})$
- $\text{Energia} = 3,60\text{E}-2 \text{ J}$
- $\text{Transformidade} = (2,83\text{E}+14 \text{ seJ}) / (3,69\text{E}-2 \text{ J})$
- $\text{Transformidade} = 6,62\text{E}+15 \text{ seJ/J}$

Pode-se perceber que esse valor encontrado é maior que o valor encontrado por Abel (2013) para a conversa. Considerando uma escala de hierarquia, uma aula deve ter uma maior transformidade que uma conversa, e isso foi verificado no estudo.

## 6 CONCLUSÃO

A contabilidade ambiental de uma escola de inglês foi realizada utilizando-se a metodologia em emergia, sendo possível colocar em uma base comum, que são os joules de energia solar, os recursos naturais, comprados e humanos. Independentemente das três abordagens estabelecidas sobre as transformidades humanas, que incluem alunos ingressantes e professores, de todos os recursos globais utilizados pela escola, os recursos humanos são os mais significativos. E ainda, a escolha da abordagem influencia significativamente o valor final da emergia total. Na primeira abordagem o valor da emergia total é de  $4,03\text{E}+17$  sej/ano, e os alunos são responsáveis por 46,71% desse total, seguidos pelos professores com 24,40% e secretárias com 23,44. Na segunda abordagem o valor da emergia total é de  $2,04\text{E}+18$  sej/ano, onde os alunos são responsáveis por 86,07% desse total, seguidos dos professores com 11,02% e secretárias com 1,83%. Na terceira abordagem o valor total da emergia é de  $7,68\text{E}+17$  sej/ano, sendo os professores responsáveis por 60,4% desse total, seguidos dos alunos com 24,5% e secretárias com 12,3%. Conclui-se que a escolha das transformidades humanas é um tema que merece ser mais explorado em trabalhos feitos em emergia.

Nos cálculos efetuados, quando adotada a primeira abordagem, a transformidade do aluno ingressante na escola foi calculada assim como as transformidades do aluno depois de 1, 3 e 4 anos de estudo. Pôde-se verificar que após um ano de estudo esse aluno apresenta uma transformidade 2,13 vezes maior, se comparada com a que ele tinha quando ingressou na escola.

Os alunos realizaram um teste de proficiência em inglês para medir o desempenho dos mesmos. Os alunos que obtiveram uma melhor média no exame foram aqueles que estão na faixa etária entre 15 e 17 anos de idade. Quando se comparou a nota obtida pelos alunos e a transformidade dos mesmos, pôde-se perceber que aqueles que possuem uma transformidade maior, não obtiveram uma nota maior no exame; o que fez a diferença para um melhor resultado foi a faixa etária em que o aluno se encontra.

A transformidade da informação transmitida de uma aula oral de inglês foi calculada levando em conta a abordagem de Abel (2013), e o valor encontrado foi de  $6,62\text{E}+15$  sej/J. É importante ressaltar a escassez de dados na literatura sobre estudos similares, e isso dificulta muito a realização de comparações. O valor de Abel (2013), e no qual o presente cálculo baseia-se, mostra um valor de  $2,23\text{E}+13$  sej/J. É confirmado que os valores das



transformidades relativas à informação são superiores aos referentes às transformidades humanas. O valor calculado no presente trabalho encontra-se dentro do intervalo proposto por Abel. As transformidades relativas à informação dependem diretamente do sistema, especificamente da energia do local, do número de pessoas envolvidas e do portador da informação. Este fato também foi comprovado por Huerta (2013).

## REFERÊNCIAS

- ABEL, Thomas. Human transformities in a global hierarchy: Emergy and scale in the production of people and culture. **Ecological Modeling**, 2010.
- ALMEIDA, C. M. V. B. *et al.*, The roles, perspectives and limitations of environmental accounting in higher educational institutions: an emergy synthesis study of the engineering programme at the Paulista University in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 2013.
- AMUTENYA, N., SHACKLETON, C.M., WHITTINGTON-JONES, K., Paper recycling patterns and potential interventions in the education sector: a case study of paper streams at Rhodes University, South Africa. **Resources, Conesevation and Recycling**. v.53, 2009, p.337-242
- BIRDSONG, D.; MOLIS, M. On the evidences for maturational constraints in second-language acquisition. **Journal of Memory and Language**. v. 44, 2001, p. 235-249.
- BOLTON, K.; KACHRU, B. B. **World Englishes: Critics concepts in linguistic**. By Routleged New York, USA., v. 3, 2006.
- BRASIL. LDB - Lei de Diretrizes e Bases da Educação. Lei número 9.394 de 20 de dezembro de 1996.
- BROWN, M.T.; ARDING, J. **Transformities working paper**. Gainesville, Florida, FL: Center for Wetland, University of Florida, 1991.
- BROWN, M. T.; ULGIATI, S., Emergy – based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. **Ecological Engineering**, v.9, 1997, p. 51-59.
- BROWN, M. T.; BURANAKARN, V. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 38, 2003.
- BROWN, M. T.; ULGIATI, S., Emergy Evaluations and Environmental Loading of Electricity Production Systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, n. 4, ago. 2002.
- CAMPBELL, D. E.; LU, H.F.. **The Emergy Basis for Formal Education in the United States Systems**, v.2, 2014, p.328-365.
- CAMPBELL, E. T.; BROWN, M. T. Environmental accounting of natural capital and ecosystem services for the US National Forest System. **Springer Science+Business Media B.V.**, 2012.
- CAMPBELL, D. E., WHITE, D., BOGGESS, C., **Emergy of occupations**. 7th Biennial Emergy Research Conference. University of Florida, Gainesville, Florida, 2012.

CARVALHO, J. G. A. **Avaliação de uma construção utilizando a contabilidade ambiental em emergy**. Dissertação (Engenharia de Produção). Universidade Paulista - UNIP, 2010.

CHOMSKY, N. **Aspects of Theory of Syntax**. Cambridge MASS: MIT Press. 1965.

DEKEYSER, R. The robustness of critical period effects in second language acquisition. **Studies in Second Language Acquisition**. v.22, n.4, 2000.p. 449-533.

ELLIS, R. A Variable Competence Model of Second Language Acquisition. **IRAL** n.23, 1985a, p.47-59

FLEGE, J. Age of learning affects the authenticity of voice onset time in stop consonants produced in a second language. **Journal of the Acoustical Society of American**.89, 1991. p.395-411.

FLEGE, J.; MACKAY, I. Perceiving vowels in a second language. **Studies in Second Language Acquisition**, n.26, 2004. p.1-34.

FULCHER, G. Variable competence in second language acquisition. A problem for research methodology? **System, Elsevier Science**. Great Britain.v. 23. n.1, 1995. p 25-33.

HUERTA, A. M.. **Evaluation of Urban Learning Garden Education and the Impact on Sustainability**. Thesis. The Ohio University, 2013.

JOHNSON, J.; NEWPORT, E.. Critical period effects in second language learning: The influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. **Cognitive Psychology**, n.21,1989, p.60-99.

LENNEBERG, E. H. **Biological foundations of language**. New York: M. Wiley, 1967.

MEILLAU, F. ;GAY, J. B.; BROWN, M. T. **Evaluation of a building using the emergy method, Solar Energy**, v.79, n.2, 2005. p. 204-212.

MITCHELL, R.; MYLES,F. **Second language learning theories**. Hodder Arnold. 1998.

NORMA BRASILEIRA. NBR – 12.721. Avaliação de Custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios. ABNT, 2006.

ODUM, H. T. **Environmental accounting; emergy and environmental decision making**. New York: John Wiley & Sons, 1996.

ODUM, H. T.; BROWN, M. T.; BRANDT-WILLIAMS, S. Handbook of Emergy Evaluation – A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Fólio # 1:Introduction and Global Budget. Center for Environmental Policy – **Environmental Engineering Sciences**. University of Florida, EUA, 2000.

PATKOWSKI, M. **The sensitive period for the acquisition of syntax in a second language.** *Language Learning*. n.30, 1980. p. 449-472.

PULSELLI, R. M. *et al.* Emergy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing sustainability. **Energy and Buildings**, n.39, 2007, p. 620-628.

PULSELLI, R. *et al.* Specific emergy of cement and concrete: An energy-based appraisal of building materials and their transport. **Ecological Indicators**, n.8,2007. p.647 – 656.

PULSELLI, R. M.; SIMONCINI, E.; MARCHETTINI, N. Energy and emergy based cost–benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate. **Elsevier Building and Environment**, n.44, 2009. p. 920–928.

## ANEXOS

### Anexo 1 – Fase da construção

Os materiais considerados para a fase de construção para o cálculo do valor total de energia foram aqueles estabelecidos pela norma NBR 12721/2006; eles foram adaptados com relação aos materiais que já possuem uma transformidade. A metragem da casa é de 114, 237 m<sup>2</sup> de construção. Os coeficientes de ajuste foram aqueles calculados por Carvalho (2010).

Itens considerados como madeira:

Chapa compensado plastificado 18 mm 2,20 X 1,10 m

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N- 2,06587 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> de construção

Coeficiente de ajuste - 4,03

Valor em kg -  $2,06587 \times 4,03 \times 114,237 = 9,51E+02$  kg

Porta interna semioca

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N - 0,22341 un/m<sup>2</sup>

Coeficiente de ajuste - 9,87

Valor em kg -  $0,22341 \times 9,87 \times 114,237 = 2,52E+02$  kg

Energia específica da madeira = 8,79E+11 sej/kg

Energia da madeira =  $(9,51E+02 \text{ kg} + 2,52E+02 \text{ kg}) \times 8,79E+11 \text{ sej/kg} = 1,06E+15 \text{ sej}$

Referência: Odum, 1996

Itens considerados como aço:

Aço CA - 50 ø

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N - 17,73614 kg/m<sup>2</sup>

Coeficiente de ajuste - 1

Valor em kg -  $17,73614 \times 1 \times 114,237 = 2,03E+03$  kg

Energia específica do aço - 6,97E+12 sej/kg

Energia -  $2,03E+03 \text{ kg} \times 6,97E+12 \text{ sej/kg} = 1,41E+16 \text{ sej}$

Referência - Pulselli *et al.*, 2007

Itens considerados como concreto:

Concreto  $f_{ck} = 25$  Mpa abatimento  $5 \pm 1$  cm

Valor por  $m^2$  para projeto R-1N-  $0,21322 \text{ m}^3/m^2$

Coeficiente de ajuste -  $2,40E+03$

Valor em kg -  $0,21322 \times 2,40E+03 \times 114,237 = 5,85E+04 \text{ kg}$

Energia específica do concreto -  $1,81E+12 \text{ sej/kg}$

Energia -  $1,06E+17 \text{ sej}$

Referência - Odum, 1996

Itens considerados como cimento

Cimento CP - 32 II

Valor por  $m^2$  para projeto R-1N -  $91,21954 \text{ kg/m}^2$

Coeficiente de ajuste - 1

Valor em kg -  $91,21954 \times 1 \times 114,237 = 1,04E+04 \text{ kg}$

Energia específica do cimento -  $3,04E+12 \text{ sej/kg}$

Energia -  $3,17E+16 \text{ sej}$

Referência - Pulselli *et al.*, 2008

Telha fibrocimento ondulada 6 mm  $2,44 \times 1,10$  m

Valor por  $m^2$  para projeto R-1N-  $2,10228 \text{ m}^2/m^2$  de construção

Coeficiente de ajuste -  $1,21E+01$

Valor em kg -  $2,10228 \times 1,21E+01 \times 114,237 = 2,91E+03 \text{ kg}$

Energia específica do cimento -  $3,04E+12 \text{ sej/kg}$

Energia -  $8,85E+15 \text{ sej}$

Referência - Pulselli *et al.*, 2008

Energia total do cimento -  $3,17E+16 \text{ sej/ano} + 8,85E+15 \text{ sej/ano} = 4,05E+16 \text{ sej/ano}$

Itens considerados como areia

Areia média

Valor por  $m^2$  para projeto R-1N-  $0,2929 \text{ m}^3/m^2$  de construção

Coeficiente de ajuste -  $1,51E+03$

Valor em kg -  $1,51E+03 \times 0,2929 \times 114,237 = 3,85E+04 \text{ kg}$

Energia específica da areia -  $1,68E+12 \text{ sej/kg}$

Energia -  $6,46E+16 \text{ sej}$

Referência - Odum, 1996

Itens considerados como granito

Brita n°. 2

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N- 0,07256 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de construção

Coeficiente de ajuste - 1,53E+03

Valor em kg -  $0,07256 \times 1,53E+03 \times 114,237 = 1,12E+04$  kg

Energia específica do granito - 2,44E+12 sej/kg

Energia - 1,73E+14 sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2006

Bancada de pia de mármore branco 2,00 m x 0,60 x 0,02 m

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N - 0,03095 un/m<sup>2</sup> de construção

Coeficiente de ajuste - 20

Valor em kg -  $0,03095 \times 20 \times 114,237 = 70,7$  kg

Energia específica do granito - 1,68E+12 sej/kg

Energia - 1,19E+14 sej

Referência - Odum, 1996

Energia total do granito = 1,89E+16 sej/ano

Itens considerados como argila

Bloco cerâmico para alvenaria de vedação 9 cm x 19 cm x 19 cm

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N - 85,945636 un/m<sup>2</sup> de construção

Coeficiente de ajuste - 3

Valor em kg -  $85,945636 \times 3 \times 114,237 = 2,95E+04$  kg

Energia específica da argila - 4,80E+12 sej/kg

Energia - 1,41E+17 sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2007

Itens considerados como alumínio

Esquadria de correr tamanho 2,00 x 1,40 m, em 4 folhas (2 de correr), sem básculas, em alumínio anodizado cor natural perfis da linha 25

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N - 0,09457 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> de construção

Coeficiente de ajuste - 8,5

Valor em kg -  $0,09457 \times 8,5 \times 114,237 = 9,18E+01$  kg

Energia específica do alumínio - 2,13E+13 sej/kg

Energia - 1,96E+15 sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2007

Itens considerados como ferro

Janela de correr tamanho 1,20 m x 1,20 m em 2 folhas, em perfil de chapa de ferro dobrada nº 20, com tratamento em fundo anticorrosivo

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N - 0,01171 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> de construção

Coeficiente de ajuste - 5,6E-01

Valor em kg -  $0,01171 \times 5,6E-01 \times 114,237 = 7,49E-01$  kg

Energia específica do ferro - 6,97E+sej/kg

Energia - 5,22E+12 sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2006

Fechadura para porta interna, tráfego moderado, tipo IV (55mm), em ferro, acabamento cromado

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N - 0,11696 unidade / m<sup>2</sup>

Coeficiente de ajuste - 5,40E-01

Valor em kg -  $0,11696 \times 5,40E-01 \times 114,237 = 7,22$  kg

Energia específica do ferro - 6,97E+sej/kg

Energia - 5,03E+13 sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2006

Tubo de ferro galvanizado com costura ø 2 1/2"

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N - 0,00811 m/m<sup>2</sup>

Coeficiente de ajuste - 5,43

Valor em kg -  $0,00811 \times 5,43 \times 114,237 = 5,03$  kg

Energia específica do ferro - 6,97E+12 sej/kg

Energia - 3,51E+13 sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2006

Betoneira

Massa de uma betoneira modelo Fischer MOB 400 G2 - 165,6 kg

Valor em kg -  $0,02976 \times 114,237 = 3,4$  dias

Horas = 3,4 dias x 8 horas/dia = 27,19 horas

Vida útil = 10.000 horas

Massa pela vida útil =  $165,6 \text{ kg} \times 27,19 \text{ horas} / 10.000 \text{ horas} = 4,05E-1$  kg

Energia específica do ferro - 6,97E+12 sej/kg

Energia - 3.14E+12 sej

Referência - Brown and Buranakarn, 2003



Valor total da energia do ferro -  $5,22\text{E}+12$  sej +  $5,03\text{E}+13$  sej +  $3,51\text{E}+13$  sej +  $3,14\text{E}+12$  sej =  $9,37\text{E}+13$  sej

Itens considerados como cerâmica

Placa cerâmica (azulejo) de dimensão 30 cm x 40 cm, PEI II, cor clara, imitando pedras naturais

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N-  $3,4656$  m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> de construção

Coefficiente de ajuste - 7,10

Valor em kg -  $3,4656 + 7,10 + 114,237 = 2,81\text{E}+03$  kg

Energia específica da cerâmica -  $5,14\text{E}+12$  sej/kg

Energia -  $1,46\text{E}+16$  sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2006

Bacia sanitária branca com caixa acoplada

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N -  $0,0825$  um/m<sup>2</sup>

Coefficiente de ajuste -  $5,05\text{E}+01$

Valor em kg -  $0,0825 \times 5,05\text{E}+01 \times 114,237 = 4,76\text{E}+02$  kg

Energia específica da cerâmica -  $5,14\text{E}+12$  sej/kg

Energia -  $2,45\text{E}+15$  sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2006

Energia total da cerâmica -  $1,46\text{E}+16$  sej/ano +  $2,45\text{E}+15$  sej/ano =  $1,69\text{E}+16$  ssej/ano

Itens considerados como vidro

Vidro liso transparente 4 mm colocado com massa

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N-  $0,09062$  m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> de construção

Coefficiente de ajuste -  $1,03\text{E}+01$

Valor em kg -  $0,09062 + 1,03\text{E}+01 + 114,237 = 1,06\text{E}+02$  kg

Energia específica do vidro -  $1,41\text{E}+12$  sej/kg

Energia -  $1,50\text{E}+14$  sej

Referência - Odum, 1996

#### Itens considerados tinta

Tinta látex PVA

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N- 2,31052 l/m<sup>2</sup>

Coeficiente de ajuste - 1,40E+00

Valor em kg -  $2,31052 + 1,40E+00 \times 114,237 = 3,70E+02$  kg

Energia específica da tinta - 2,55 E+13 sej/kg

Energia - 9,42E+15 sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2007

#### Itens considerados como asfalto

Emulsão asfáltica impermeabilizante

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N- 0,71196 kg/m<sup>2</sup>

Coeficiente de ajuste -1,00E+00

Valor em kg -  $0,71196 \times 1,00 \times 114,237 = 8,13E+01$  kg

Energia específica do asfalto - 2,55E+13 sej/kg

Energia - 2,07E+15 sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2007

#### Itens considerados como cobre

Fio de cobre antichama, isolamento 750 V, # 2,5 mm<sup>2</sup>

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N - 21,55887 m/m<sup>2</sup>

Coeficiente de ajuste - 2,60E-02

Valor em kg -  $21,55887 \times 2,60E-02 \times 144,237 = 6,40E+01$  kg

Energia específica do cobre - 1,04E+14 sej/kg

Energia - 6,66E+15 sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2006

#### Registro de pressão cromado ø 1/2"

Valor por m<sup>2</sup> para projeto R-1N- 0,33226 unidade/m<sup>2</sup>

Coeficiente de ajuste - 3,60E-01

Valor em kg -  $0,33226 \times 3,60E-01 \times 114,237 = 1,37E+01$  kg

Energia específica do cobre - 1,04E+14 sej/kg

Energia - 1,42E+15 sej

Referência - Pulselli *et al.*, 2006

Energia total do cobre:  $6,66\text{E}+15 \text{ sej/ano} + 1,42\text{E}+15 \text{ sej/ano} = 8,08\text{E}+15 \text{ sej/ano}$

Itens considerados como PVC

Tubo de PVC-R rígido reforçado para esgoto  $\varnothing$  150 mm

Valor por  $\text{m}^2$  para projeto R-1N -  $0,66394 \text{ m/m}^2$

Coeficiente de ajuste - 2,80

Valor em kg -  $0,66394 \times 2,8 \times 114,237 = 2,12\text{E}+02 \text{ kg}$

Energia específica do PVC -  $9,86\text{E}+12 \text{ sej/kg}$

Energia -  $2,09\text{E}+15 \text{ sej}$

Referência - Pulselli *et al.*, 2006

Itens considerados como plástico

Disjuntor tripolar

Valor por  $\text{m}^2$  para projeto R-1N -  $0,12142 \text{ kg/m}^2$

Coeficiente de ajuste - 0,020

Valor em kg -  $0,12142 \times 0,020 \times 114,237 = 2,77\text{E}-1 \text{ kg}$

Energia específica do plástico -  $9,86\text{E}+12 \text{ sej/kg}$

Energia total -  $1,60\text{E}+12 \text{ sej}$

Referência - Brown e Buranakarn, 2003

Itens considerados como mão de obra

Pedreiro + servente -

Valor por  $\text{m}^2$  para projeto R-1N -  $55,60426 \text{ h/m}^2$

Coeficiente de ajuste -  $5,23\text{E}+05$

Valor em J -  $55,60426 \times 5,23\text{E}+05 \times 114,237 = 3,32\text{E}+09 \text{ J}$

Energia específica da mão de obra -  $1,24\text{E}+07 \text{ sej/J}$

Energia -  $4,12\text{E}+16 \text{ sej}$

Referência - Silva, C. C.,

Engenheiro

Valor por  $\text{m}^2$  para projeto R-1N -  $1,55264 \text{ h/m}^2$

Coeficiente de ajuste -  $5,23\text{E}+05$

Valor em J -  $1,55264 \times 5,23\text{E}+05 \times 114,237 = 9,28\text{E}+07 \text{ J}$

Energia específica da mão de obra -  $1,24\text{E}+07 \text{ sej/J}$

Energia -  $1,15\text{E}+15 \text{ sej}$

Referência - Silva, C. C.,

Energia total da mão de obra =  $4,12\text{E}+16$  sej/ano +  $1,15\text{E}+15$  sej/ano =  $4,24\text{E}+16$  sej/ano

Valor total de energia para a fase de construção =  $4,51\text{E}+17$  sej

Valor total de energia para a fase de construção considerando uma vida útil de 50 anos =  $9,02\text{E}+15$  sej/ano

## Anexo 2 – Fase do uso

O consumo de água foi calculado com o somatório do consumo total no ano de 2011, através das notas fiscais. A transformidade da água considerada foi a de Buenfil 2001.

Consumo de água - 48 m<sup>3</sup>/ano

Energia específica da água - 7,75E+11 seJ/m<sup>3</sup>

Energia - 3,72E+13 seJ/ano

Referência - Buenfil 2001

O consumo de energia elétrica foi calculado com o somatório da utilização pela escola no ano de 2011, através das notas fiscais de consumo, transformadas em joules/ano para a utilização na avaliação em energia, conforme transformidade da energia elétrica da referência bibliográfica de Odum (1996).

Consumo de energia elétrica - 2,61E+03 kwh/ano

Fator de conversão - 3,6E+06 kwh/J

Consumo de energia elétrica em J - 9,41E+09 J/ano

Energia específica da energia elétrica - 2,69E+05 seJ/J

Energia - 2,53E+15 seJ/ano

Referência - Odum, (1996)

Consumo de papel - 2,3E04 g/ano

Transformidade do papel - 2,38E+08 seJ/g

Energia do papel - 5,47E+13 seJ/ano

Referência - Meillaud *et al.* (2005)

Consumo de papel higiênico - 1,50E+04 g/ano

Transformidade do papel - 2,38E+08 seJ/g

Energia do papel - 3,57E+13 seJ/ano

Referência - Meillaud *et al.* (2005)

Consumo de papel toalha - 1,20E+04 g/ano

Transformidade do papel - 2,38E+08 seJ/g

Energia do papel - 2,86E+13 seJ/ano

Referência - Meillaud *et al.* (2005)

Consumo de produtos de limpeza -  $1,20\text{E}+04$  g/ano  
 Transformidade dos produtos de limpeza -  $6,38\text{E}+08$   
 Emergia dos produtos de limpeza -  $7,66\text{E}+12$  seJ/ano  
 Referência - Odum (1996)

Consumo de copos plásticos -  $1,89\text{E}+05$  g/ano  
 Emergia específica do plástico -  $5,76\text{E}+09$  seJ/g  
 Emergia dos copos plásticos -  $1,09\text{E}+15$  seJ/ano  
 Referência - Brown and Buranakarn, (2003)  
 Vidro -  $3,48$  m<sup>2</sup>/ano  
 Conversão -  $2,00\text{E}+01$  kg/m<sup>2</sup>  
 Fator de conversão -  $1,0\text{E}+03$  g/kg  
 Vidro -  $3,48$  m<sup>2</sup> X  $2,0\text{E}+01$  kg/m<sup>2</sup> X  $1,0\text{E}+03$  g/kg =  $6,96\text{E}+04$   
 Vida útil - ./10 anos  
 Transformidade do vidro -  $1,41\text{E}+09$  sej/g  
 Emergia do vidro -  $9,81\text{E}+12$  sej/ano  
 Referência - Brown and Buranakarn, 2003

Carteira dos alunos - 30 unidades  
 Madeira -  $4,20\text{E}+04$  g  
 Ferro -  $1,83\text{E}+05$  g /ano  
 Transformidade da madeira -  $8,79\text{E}+08$  sej/g  
 Transformidade do ferro -  $6,97\text{E}+09$  sej/g  
 Emergia da madeira -  $3,69\text{E}+13$  sej  
 Emergia do ferro -  $7,59\text{E}+14$  sej  
 Referência - Brown and Buranakarn, 2003

Mesa do professor - 4 unidade  
 Madeira -  $2,79\text{E}+04$  g  
 Transformidade da madeira -  $8,79\text{E}+08$  sej/g  
 Emergia da madeira -  $2,45\text{E}+13$  sej  
 Referência - Brown and Buranakarn, 2003

Cadeiras - 29 unidades

Madeira -  $5,51\text{E}+04$  g

Ferro -  $6,46\text{E}+04$  g

Transformidade da madeira -  $8,79\text{E}+08$  seJ/g

Transformidade do ferro -  $4,15\text{E}+09$  seJ/g

Energia da madeira -  $4,84\text{E}+13$  sej

Energia do ferro -  $2,68\text{E}+14$  seJ

Referência - Brown and Buranakarn, 2003

Mesas - 3 unidades

Madeira -  $3,89\text{E}+03$  g

Ferro -  $7,79\text{E}+03$  g

Transformidade da madeira -  $8,79\text{E}+08$  seJ/g

Transformidade do ferro -  $4,15\text{E}+09$  seJ/g

Energia da madeira -  $1,03\text{E}+13$  seJ

Energia do ferro -  $9,69\text{E}+13$  seJ

Referência - Brown and Buranakarn, 2003

Vida útil da madeira e do ferro -  $.5$  anos

Energia total da madeira -  $2,41\text{E}+13$  sej/ano

Energia total do ferro -  $3,78\text{E}+14$  sej/ano

Computadores - 10 unidades

Peso dos computadores -  $1,95\text{E}+04$  g X 10 unidades =  $1,95\text{E}+05$  g

Vida útil do computador -  $.5$  anos

Peso dos computadores por ano -  $3,90\text{E}+04$  g/ano

Transformidade do computador -  $2,26\text{E}+11$  seJ/g

Energia dos computadores -  $8,81\text{E}+15$  seJ/ano

Referência - Cohen *et al.* 2006

Secretária (1)

Horas trabalhadas por dia -  $1,28\text{E}+01$  horas/dia

Dias trabalhados por ano -  $2,21\text{E}+02$  dias/ano

Energia metabólica por hora -  $1,20\text{E}+02$  kcal/hora

Fator de conversão - 4186 kcal/J

Energia -  $1,42\text{E}+09$  J/ano

Transformidade da secretária -  $6,65\text{E}+07$  seJ/J

Energia da secretária -  $9,44\text{E}+16$  seJ/ano

Referência - calculada para este trabalho

Alunos - cálculo da transformidade

Número de graduados do ensino médio do estado de Minas Gerais - 366.3701 estudantes

Energia metabólica por dia - 2.500 kcal/dia

Energia metabólica por ano - 2.500 kcal/dia X 365 dias/ano =  $9,13\text{E}+05$  kcal/ano

Fator de conversão - 4186 kcal/J

Energia -  $1,04\text{E}+16$  J/ano

Energia do estado de Minas Gerais -  $9,30\text{E}+23$  seJ/ano

Transformidade do aluno de Minas Gerais -  $9,30\text{E}+23$  seJ/ano /  $1,04\text{E}+16$  J/ano =  $6,65\text{E}+07$  seJ/J

Alunos da escola de inglês - 47 estudantes

Energia metabólica por dia - 2.500 kcal/dia/aluno

Energia metabólica por ano - 2.500 kcal/dia X 365 dias/ano =  $9,13\text{E}+05$  kcal/ano

Fator de conversão - 4186 kcal/J

Energia dos alunos da escola de inglês -  $2,83\text{E}+09$  J/ano (para 47 alunos)

Transformidade dos alunos -  $6,65\text{E}+07$  seJ/J

Energia dos alunos da escola de inglês -  $1,88\text{E}+17$  seJ/ano



### Professores

Número de graduados do ensino superior do estado de Minas Gerais - 134.2285 indivíduos

Energia metabólica por dia - 2.500 kcal/dia

Energia metabólica por ano - 2.500 kcal/dia X 365 dias/ano = 9,13E+05 kcal/ano

Fator de conversão - 4186 kcal/J

Energia - 5,13E+15 J/ano (para as 9 turmas consideradas)

Energia do estado de Minas Gerais - 9,30E+23 seJ/ano

Transformidade do aluno de Minas Gerais - 9,30E+23 seJ/ano / 5,13E+15 J/ano = 1,81E+08 seJ/J

Cálculo da transformidade dos alunos, professores e secretárias, levando em consideração a abordagem de Ulgiati *et al.* (1993)

População de Minas Gerais - 19.597.333 pessoas

Energia de Minas Gerais - 9,30E+23 sej/ano

Dias úteis - 254

Calorias por dia - 2500 kcal / dia

Fator de conversão kcal/J - 4186

Energia = 254 x 2500 x 4186 x 19.597.333 = 5,21E+16 J

Transformidade = 9,30E+23 / 5,21E+16 = 1,79E+07 sej/J

Energia dos 47 alunos que realizaram o teste = 47 alunos x 200 dias letivos x 2500 kcal/dia x 4186 kcal/J = 9,84E+10 J

Energia dos professores (considerado o número de turmas dos 47 alunos) = 9 professores x 200 dias letivos x 2500 kcal/dia x 4186 kcal/J = 1,88E+10 J

Energia da secretária = 1 indivíduo x 254 dias trabalhados x 2500 kcal x 4186 kcal/J = 2,66E+9 J

### Anexo 3 – Classificação dos materiais utilizados

Segue a classificação dos materiais utilizados nos projetos para aplicação da contabilidade em energia, valor por m<sup>2</sup> de construção para uma casa padrão RN-1 (Norma NBR 12.721/2006 - ABNT) e coeficiente de ajuste.

Os recursos da NBR 12721 não possuem unidade de transformação direta para que sejam utilizadas as energias por unidade da metodologia em energia. Dessa forma, alguns coeficientes desenvolvidos nos cálculos da casa utilizada como sede da escola estão referenciados na tabela abaixo. As quantidades e unidades da ABNT são convertidas para os recursos e unidades que possam ser calculados em energia. Esse coeficiente foi proposto por Carvalho (2012), em sua dissertação de doutorado apresentada na Universidade Paulista. A tabela abaixo mostra também os valores dos materiais por m<sup>2</sup> de construção.

Tabela 13 – Classificação dos materiais utilizados nos projetos para aplicação da contabilidade em energia, valor por m<sup>2</sup> de construção para uma casa padrão RN-1 (Norma NBR 12.721/2006 - ABNT) e coeficiente de ajuste

Item	Recursos ABNT	Quantidade ABNT (un.)	Unidade ABNT	Recursos	Unidade	Valor por m <sup>2</sup> para RN-1	Coeficiente (un.)
1	Chapa compensado plastificado 18 mm 2,20 x 1,10 m	1	m <sup>2</sup>	Madeira	kg	2,065487	4,029
2	Aço CA-50 ø	1	kg	Aço	kg	17,73614	1,000
3	Concreto fck= 25 Mpa abatimento 5±1cm	1	m <sup>3</sup>	Concreto	kg	0,21322	2.400,00
4	Cimento CP-32 II	1	kg	Cimento	kg	91,21954	1,000
5	Areia média	1	un.	Areia	kg	0,29290	1.150,00
6	Brita n°. 2	1	m <sup>3</sup>	Granito	kg	0,07256	1.350,00
7	Bloco cerâmico para alvenaria de vedação 9cm x 19cm x 19cm	1	un.	Argila	kg	85,94536	3,000
8	Bloco de concreto sem função estrutural 19 x 19 x 39 cm	1	un.	Cimento	kg	-	1,890
				Água	m <sup>3</sup>	-	0,001
				Areia	kg	-	5,040
				Pedra	kg	-	5,040
9	Telha de fibrocimento ondulada 6 mm 2,44 x 1,10 m	1	m <sup>2</sup>	Cimento	kg	2,10228	12,120
10	Porta interna semioca para pintura 0,60 x 2,10 m	1	un.	Madeira	kg	0,22341	9,866
11	Esquadrias de correr	1	un.	Alumínio	kg	0,09457	8,500

12	Janela de correr tamanho 1,20x1,20 em 2 folhas, perfil de chapa de ferro dobrada	1	m²	Ferro	kg	0,01171	0,560
13	Fechadura para porta interna em ferro	1	un.	Aço	kg	0,11696	0,540
14	Placa cerâmica de azulejo	1	m²	Cerâmica esmaltada	kg	3,46560	7,100
15	Bancada de pia de mármore branco	1	un.	Granito	kg	0,03095	20,000
16	Placa de gesso liso	1	m²	Gesso	kg	-	16,200
17	Vidro liso transparente colocado com massa	1	m²	Vidro	kg	0,09062	10,280
18	Tinta látex pva	1	l	Tinta	kg	2,31052	1,400
19	Emulsão asfáltica	1	kg	Emulsão asfáltica	kg	0,71196	1,000
20	Fio de cobre antichama	1	m	Cobre	Kg	21,55887	0,026
21	Disjuntor tripolar	1	un.	Plástico	kg	0,12142	0,020
22	Bacia sanitária	1	un.	Cerâmica esmaltada	kg	0,08250	50,500
23	Registro de pressão cromado	1	un.	Cobre	kg	0,33226	0,360
24	Tubo de ferro galvanizado	1	m	Ferro	kg	0,00811	5,430
25	Tubo de PVC-R esgoto rígido reforçado diam 150mm	1	m	PVC	kg	0,66394	2,800
26	Pedreiro	1	h	Energia	J	31,44957	523.250,00
27	Servente	1	h	Energia	J	20,75851	523.250,00
28	Engenheiro	1	h	Energia	J	1,55264	523.250,00
29	Locação de betoneira	1	dia	Energia	J	0,02976	0,128

Fo