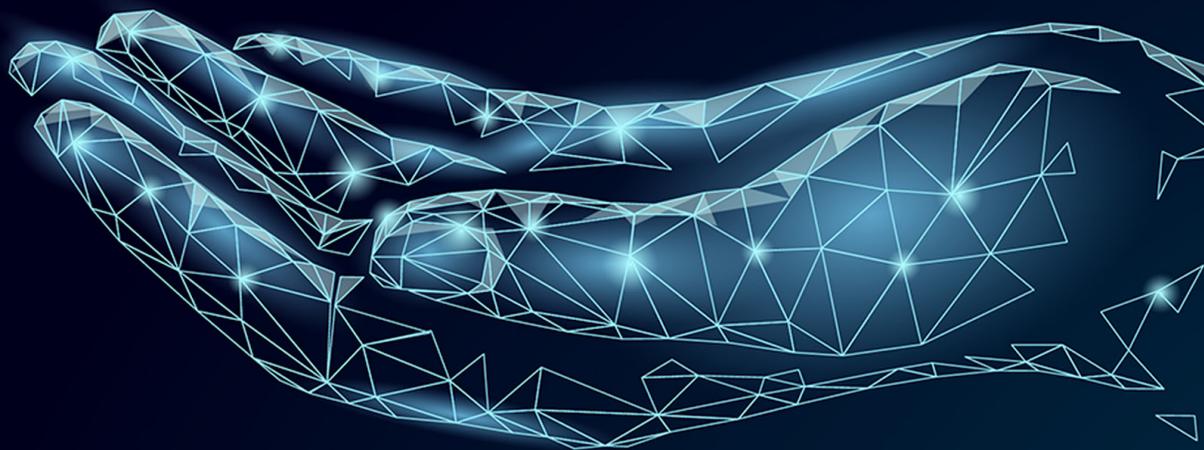


FABRÍCIO MORAES DE ALMEIDA
(ORGANIZADOR)

ESTUDOS MULTIDISCIPLINARES:

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS



 **Atena**
Editora
Ano 2023

FABRÍCIO MORAES DE ALMEIDA
(ORGANIZADOR)

ESTUDOS MULTIDISCIPLINARES:

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS



 **Atena**
Editora
Ano 2023

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Fabrício Moraes de Almeida

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E82	<p>Estudos multidisciplinares: ciências exatas e da terra e engenharias / Organizador Fabrício Moraes de Almeida. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-1742-2 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.422232009</p> <p>1. Ciências exatas. 2. Ciências da terra. 3. Engenharia. I. Almeida, Fabrício Moraes de (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 509</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Os estudos multidisciplinares nas ciências exatas e da terra e engenharias são primordiais para o desenvolvimento de soluções inovadoras para os desafios do mundo atual. A complexidade desses desafios exige que profissionais de diferentes áreas executem atividades em conjunto para compartilhar seus conhecimentos e perspectivas. Por exemplo, algumas áreas com estudos multidisciplinares: (1) Engenharia de software: conhecimentos de matemática, computação e engenharia para desenvolver softwares que atendam às necessidades de usuários; (2) Geofísica: estuda os fenômenos sísmicos, elétricos, gravitacionais e magnéticos, incidentes sobre o planeta e tem várias conexões com Geociências. (3) Biofísica: aplica física às pesquisas biológicas, estudando os fenômenos da vida desde a escala molecular até sistemas complexos; dentre outras áreas fantásticas.

Ainda, os estudos multidisciplinares oferecem *n* benefícios, tais como: (i) maximizar a compreensão dos problemas complexos: isto é, ao trabalhar em equipe, os profissionais de diferentes áreas podem compartilhar seus conhecimentos e perspectivas, o que implica uma compreensão mais detalhada dos problemas complexos; (ii) desenvolvimento de soluções inovadoras: a combinação de diferentes perspectivas técnico-científicas convergem para o desenvolvimento de soluções inovadoras; (iii) otimização da comunicação e colaboração: ou seja, trabalhar no ambiente multidisciplinar exige que os profissionais desenvolvam habilidades de comunicação e colaboração, eficazes.

Portanto, para difusão e aplicação dos estudos multidisciplinares, as universidades e empresas devem investir nos programas e iniciativas de fomento a colaboração entre profissionais de diferentes áreas. É necessário que as universidades ofereçam os cursos e programas interdisciplinares e as empresas utilizem as equipes multidisciplinares para trabalhar em projetos. É fácil notar que os estudos multidisciplinares são tendências crescentes nas ciências exatas e da terra e engenharias. De fato, eles são essenciais para o desenvolvimento de soluções inovadoras para os desafios nos negócios e na vida. Diante disso, o livro apresenta uma fundamentação teórico-prática nos resultados obtidos pelos diversos autores e coautores no desenvolvimento de cada capítulo com conhecimento técnico-científico, autêntico. Além disso, a Atena Editora garante qualidade na divulgação científica e excelência, fatores essenciais para conquistar o destaque entre as melhores editoras do Brasil.

Fabício Moraes de Almeida

CAPÍTULO 1 1**APPLICATION OF FACTOR ANALYSIS AND PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS IN THE CONSTRUCTION OF INDICATORS**

Carlos Alberto Paraguassú-Chaves

Josefa Lourdes Ramos

Fabrício Moraes de Almeida

Fábio Robson Casara Cavalcante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4222320091>**CAPÍTULO 225****ANÁLISIS DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL PARA LA CIUDAD DE PUNO**

Ciro William Taipei Huamán

Eva Genoveva Mendoza Mamani

Marisol Rojas Barreto

Russel Allidren Lozada Vilca

Leandro Paucara Cahuana

Valeriano Pari Torres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4222320092>**CAPÍTULO 337****DESEMPENHO TÉRMICO DE UM COLETOR ARMAZENADOR SOLAR HORIZONTAL**

Ânoar Abbas El Aouar

Maria Cecília Soares Correia

Pierre Correa Martins

Joselma Araújo De Amorim

Geraldo Dantas Silvestre Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4222320093>**CAPÍTULO 449****ESTUDO DAS CURVAS DE DURAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO ESTRUTURAL UTILIZANDO DIFERENTES ARQUIVOS CLIMÁTICOS DA CIDADE DE BELÉM-PA**

David Lohan Pereira de Sousa

Jean Carlos de Almeida Nobre

Larissa dos Santos Borges

Silvio Bispo do Vale

Luiz Claudio Fialho Andrade

Jerson Rogério Pinheiro Vaz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4222320094>**CAPÍTULO 565****TRABALHO DE CAMPO COMO PRÁTICA DE ENSINO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS: O EXEMPLO DA ILHA ANCHIETA, UBATUBA/SP**

Rodrigo Artur Perino Salvetti

Valéria Leite Aranha

Rita de Cassia Frenedo

Natália Lavinia Andrello de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4222320095>

SOBRE O ORGANIZADOR.....77

ÍNDICE REMISSIVO.....78

APPLICATION OF FACTOR ANALYSIS AND PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS IN THE CONSTRUCTION OF INDICATORS

Data de aceite: 01/09/2023

Carlos Alberto Paraguassú-Chaves

PhD in Health Sciences - University of Brasília - UnB, Brazil; PhD in Science - University of Havana (Cuba); Post-Doctor in Health Sciences - UnB and Degli Studi D'Aquila University - IT. Professor at the Federal University of Rondônia, Brazil

Josefa Lourdes Ramos

Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR; Researcher of the Institute of Health Sciences and the Amazon environment - AICSA.

Fabício Moraes de Almeida

PhD in Physics (UFC), with post-doctorate in Scientific Regional Development (DCR/CNPq). Researcher of the Doctoral and Master Program in Regional Development and Environment (PGDRA/UNIR). Leader GEITEC – Federal University of Rondonia, Brazil

Fábio Robson Casara Cavalcante

4PhD and researcher linked to the graduate program in administration and the academic Department of Social and Environmental Sciences (DACSA) - Federal University of Rondônia, Brazil.

ABSTRACT - The objective of the research: to identify the significance of epidemiological, socioeconomic and coverage indicators of health services in Rondônia, applying the multivariate statistical technique. The method: multivariate statistical technique, using Factor Analysis and Principal Component Analysis method. A sample with 121 variables was used, divided into two scenarios: Scenario 1, with 121 epidemiological, socioeconomic and health service coverage variables in the State of Rondônia; and Scenario 2, with 42 epidemiological, socioeconomic and health service coverage variables with an explanation greater than 95%. Results: The statistical inferences show the following findings: factor (1) called epidemiological indicators, presented 69 variables with explanation above 70%, factor (2) called socioeconomic indicators highlighted 4 variables with explanation above 70% and factor (3) indicators of coverage of health services highlighted only 2 (two) variables with explanation above 70%. Scenario 2, composed of 42 variables with explanation above 95% in the application of Factor Analysis and Principal Component Analysis obtained 34 variables with explanation above 70%. Of these, 25 are of the factor

(1) epidemiological indicators and presented explanation above 95%. The variable with the greatest explanatory power is the first with 99.66% (referring to the % of children aged 10 to 14 years, with more than 1 year of school delay). The correlation between factors (1), (2) and (3) is explained by 66.53% for epidemiological indicators, 18.72% for socioeconomic indicators and 7.53% for service coverage indicators. From this study it is possible to infer the almost absolute predominance of epidemiological variables and, with less emphasis, of socioeconomic variables, which measure access to elementary education in the State of Rondônia. The variables of coverage of health services did not present significance. Conclusions: the study showed that of the 39 indicators agreed between the State Department of Health of Rondônia and the municipalities, 33 (thirty-three) are included among the indicators with statistical significance, which validates the choice of method.

KEYWORDS: Statistical and Health; Indicators; Multivariate Analysis; Rondônia; Brazil

1 | INTRODUCTION

In the process of building the Brazilian Unified Health System (SUS), develop research projects that have in their core the interest of researching political alternatives to foster the allocative policy of financial resources of the SUS, with a view to mitigating regional inequalities of access to health services, configures as essential, mainly to raise to the national manager the need to adopt financing policies that focus on the health needs and living conditions of the population, making prevail the maximum constitutional postulate of the Constitution of Brazil [1] “health a right of all and duty of the State”.

Given the proportions of the SUS system, public health policies have demonstrated the capacity for innovation with the implementation of the Basic Care Floor, despite the fact that the historical and cultural behavior of resource allocation based on production prevails, maintaining a process of distributive inequities. We seek to correct this situation through instruments such as the Integrated Agreed Programming (PPI), implemented since 2000, which uses a historical series of production to allocate resources in medium and high complexity actions, which comprise the SUS.

This new model of health care is governed by principles that seek to guarantee universal, integral, egalitarian, equitable and free access to health, consisting of a network organized in a regionalized and hierarchical way, which advocates a single command at each level of government, based on a strategy of administrative and operational decentralization of health actions and services and their legal provisions constitute the main instruments of regulation of the system for the transfer of resources to the health area between the three levels of government [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].

Considering the magnitude of the Brazilian State, the allocation of financial resources in health without observing regional inequalities, especially in the North and Northeast Regions, which are doubly peripheral, significantly accentuates the regional inequalities that reside in different levels of income concentration, low demographic density and low

living conditions, pointed out through health indicators [9]. Thus, health inequalities are expressed in the different possibilities of life expectancy at birth, how to live, the ways of getting sick and dying for the same class in contrast to the rates of other regions of the country [9]. It is necessary to consider the regional differences regarding the characteristics of the installed service network, access to information and strategic planning instruments for the better development of health actions and services, and the investment capacity of the different States and regions in technological and managerial innovations, among other decisive factors in the performance of the critical areas evaluated in the process of reviewing financial ceilings [10].

It is evident the need to develop studies that point to public financing strategies in health that share with the particularities of the peripheral states of the country, and can from then on serve as a basis for (re)discussing the allocation of resources in the SUS, respecting the geographical, populational, socioeconomic and cultural aspects of each region of the country. The peculiar characteristics of the geographical space and the demographic distribution, as well as the inevitable problems of access and locomotion, to meet differentiated demands it is necessary to foresee modes of remuneration in line with the degrees of difficulties and time required in the execution of the work. A typical example to demonstrate the importance of this argument is in the vaccination action, essential for all Brazilians: for the sake of justice, it cannot be remunerated in the same amount and per capita criteria in the Northern region as in the other regions of the country, especially if compared with the South, Southeast and Midwest regions of Brazil. That is, we must consider the existence of a permanent challenge for managers at the three levels of government, in seeking alternatives to conduct the SUS guidelines, in the perspective of reducing regional inequalities, which imply in the distribution/allocation of federal financial resources that reach the differences and state and regional specificities in the management of the system. These challenges must be overcome, concomitantly with the exercise of the capacity to identify and solve the main health problems that affect the local population. And that it can modify the perspective of results, observing equal treatment for equal needs, equal access and equal health. In this sense, Escoda [11] considers the difficulties of the SUS as inherent to a social process and points out its cultural, political and technological dimensions. Highlighting that due to its social nature, it is a process still under construction. In this process of construction, there are so many laws, norms and normative instructions, where controls are still being implemented, and where there is a natural lack of service providers in the health area, there is also a lack of more consistent information and reliable indicators that adequately reflect reality. The correct situational diagnosis can be extremely decisive for the population of the State of Rondônia, and may mean the difference between access to treatment (life) and complete abandonment, resulting in deaths.

What can be deduced is that there is a multiplicity of factors involved: its human significance, the volume of resources, its social impact and its uniqueness. The manager

of national public health policies has focused on strategic lines of discussion for the construction of a management pact, pact for life and pact in defense of the SUS, in this context the strongest point discussed within the collegiate instances is the reduction of regional inequities. Given the breadth and complexity of the problem, the present research was limited in an exploratory study of epidemiological, socioeconomic and coverage indicators of health services in the State of Rondônia.

To this end, we sought to apply the multivariate statistical technique, using Factor Analysis and the Principal Component Analysis method, with emphasis on identifying the significance of the indicators. According to Mingoti [12] Factor Analysis has as its main objective to describe the original variability of the random vector X , in terms of a smaller number m of random variables, called common factors “and that are related to the original vector X through a linear model”. In this model, part of the variability of X_i attributed to common factors, with the remainder of the variability of, Y attributed to variables that were not included in the model, that is, to random error. In general, what is expected is that the original variables X_j , $i=1,2,\dots,p$ are grouped into subsets of new variables that are mutually uncorrelated, and the factor analysis would aim to find these clustering factors. In cases where there is a large number of variables measured and correlated with each other, it would be possible, from the factor analysis, to identify a smaller number of new alternative variables, uncorrelated and that somehow summarize the main information of the original variables. These new alternative variables are called factors or latent variables. On the other hand, Principal Component Analysis, from the moment the factors are identified, their numerical values, called scores, can be obtained for each sample element. Consequently, these scores can be used in other analyses involving other statistical techniques, such as regression analysis or analysis of variance [12]. Although Factor Analysis can be applied to the original variables contained in the X vector, to facilitate understanding we prefer to introduce the main concepts of this technique using the original variables X_i , standardized by the respective mean and standard deviation.

Given this reasonable argumentation, the objective of the research is to identify the significance of the epidemiological, socioeconomic and coverage indicators of health services of the 52 municipalities of the State of Rondônia, applying Factor Analysis and Principal Component Analysis. What is expected with the use of these two statistical tools can guide future situational diagnoses in health, in order to effectively guide the allocation and use of resources.

2 | MATERIALS AND METHOD

2.1 Materials

The object of study in question is the epidemiological, socioeconomic and coverage

indicators of health services, with emphasis on a contribution to the planning of actions based on situational diagnosis in health. The choice of indicators was based on the notes of Mingoti [12] to ensure the quality of the sample data “most multivariate statistical techniques use only complete observations, that is, if for a sample element, if the value of any variable has been lost, it is eliminated from the analysis process”. The 52 (fifty-two) municipalities of the State of Rondônia were considered, described in alphabetical order and acronym: Alta Floresta D'Oeste (ALFL); Alto Alegre dos Parecis (ALALG); Alto Paraíso (ALPA); Alvorada D'Oeste (ALV); Ariquemes (ARQUEMES); Buritis (BUR); Cabixi (CAB); Cacaulândia (CAUC); Cacoal (CACOAL); Campo Novo de Rondônia (CNRO); Candeias do Jamari (CJA); Castanheiras (CAST); Cerejeiras (CERJ); Chupinguaia (CHUP); Colorado D'Oeste (COLOR); Corumbiara (COR); Costa Marques (CMARQ); Cujubim (CUJB); Espigão D'Oeste (ESPIG); Gov. Jorge Teixeira (GOVJTEIX); Guajará-Mirim (GMRIM); Itapuã D'Oeste (ITAPUÁ); Jarú (JARÚ); Ji-Paraná (JI-PR); Machadinho D'Oeste (MACH); Ministro Andreazza (MANDREAZ); Mirante da Serra (MSERRA); Monte Negro (MNEGRO); Nova Brasilândia (NBRA); Nova Mamoré (NMA); Nova União (NU); Novo Horizonte (NHO); Ouro Preto D'Oeste (OPRETO); Parecis (PARECIS); Pimenta Bueno (PBUENO); Pimenteiras D'Oeste (PIMEN); Porto Velho (PVH); Presidente Médici (PMÉD); Primavera de Rondônia (PRIMARO); Rio Crespo (RCRESPO); Rolim de Moura (RLM); Santa Luzia D'Oeste (SLUZIA); São Felipe D'Oeste (SFELIPE); São Francisco do Guaporé (SFCO); São Miguel do Guaporé (SMIGUEL); Seringueiras (SERING); Teixeiraópolis (TEIX); Theobroma (THOB); Urupá (URUPÁ); Vale do Anari (VANARÍ); Vale do Paraíso (V PARAÍSO); Vilhena (VILHENA).

In order to establish fidelity, the data collection was concentrated in the main databases considered as official in the operationalization of the Health System at the national level, being: National Registry of Health Establishments (CNES), Department of Informatics of SUS (Datusus), Integrated Agreed Programming (PPI), Integrated Health Information Network (RIPSA), Public Health Budget Information System (SIOPS), Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and United Nations Development Program (UNDP), considering the information present between the period of 6 (six) years. The construction of the database took place through isolated capture in each information system through online access via ADSL with connectivity and home accessibility. Each variable presented was extracted from the isolated and main system, and grouped in a table of the Microsoft Excel program.

The data capture period was approximately one (1) year due to the large number of variables. Once the process of capturing and exploring the information systems was exhausted, only the variable that presented continuous information in the 52 (fifty-two) municipalities of Rondônia was attributed as useful. A total of 57 socioeconomic variables, 54 epidemiological variables and 10 variables of health service coverage were collected from the databases of the 52 municipalities of the state of Rondônia. The computer instrument of choice for the treatment of data statistically was the software STATISTICA version (10) for

$$Z_1 = l_{11}F_1 + l_{12}F_2 + \dots + l_{1m}F_m + \delta_1$$

$$Z_2 = l_{21}F_1 + l_{22}F_2 + \dots + l_{2m}F_m + \delta_2$$

In matrix notation, the model (4.1) can be expressed by:

$$D(X - \mu) = LF + \varepsilon \quad (4.2)$$

where:

$$(X - \mu)_{px1} = \begin{bmatrix} X_1 - \mu_1 \\ X_2 - \mu_2 \\ \vdots \\ X_p - \mu_p \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{px1} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_p \end{bmatrix} \quad F_{mx1} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_m \end{bmatrix} \quad L_{pxm} = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1m} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{p1} & l_{p2} & \dots & l_{pm} \end{bmatrix}$$

$$D_{pxp} = \begin{bmatrix} 1/\sigma_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1/\sigma_p \end{bmatrix}$$

In this model, based on Mingoti [12], F_{mx1} is a random vector containing m factors, also called latent variables, that describe the elements of the population under study and are not observable, $1 \leq m \leq p$, that is, they cannot be measured a priori. Therefore, the factor analysis model assumes that the Z_i variables are linearly related to new random variables F_j , $j = 1, 2, \dots, m$, that will need to be identified in some way. The vector ε_{px1} is a vector of random errors and corresponds to measurement errors and Z_p variation, which is not explained by ordinary factors F_j , $j = 1, 2, \dots, m$, included in the template. The coefficient of l_{ij} , commonly called loading, is the coefficient of the i -th standardized variable Z_i in the j -th factor F_j and represents the degree of linear relationship between Z_i and F_j , $j = 1, 2, \dots, m$.

2.2.2.2 Orthogonal factor model

Some assumptions are necessary to operationalize the estimation of the model in (4.1). Let's assume that:

(i) $E[F_{mx1}] = 0$, which implies that $E[F_j] = 0$, $j = 1, 2, \dots, m$, that is, all factors have an average equal to zero:

$$(ii) \text{Var} [F_{mx1}] = I_{mxm} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \vdots & 0 \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

that is, all F_i factors are uncorrelated factors and have variances equal to 1;

(iii) $E[\varepsilon_{pxi}] = 0$, which implies that $E[\varepsilon_j] = 0, j = 1, 2, \dots, p$, that is, all errors have averages equal to zero;

$$(iv) \text{Var}[\varepsilon_{pxp}] = \Psi_{pxp} = \begin{bmatrix} \psi_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \psi_2 & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \psi_p \end{bmatrix}$$

that is, $\text{Var}[\varepsilon_j] = \psi_j$ and $\text{Cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, "i \neq j$ which is to say that the errors are uncorrelated with each other and do not necessarily have the same variance;

(v) The vectors ε_{px1} and F_{m1} are independent. So, $\text{Cov}(\varepsilon_{px1}, F_{m1}) = E(\varepsilon F) = 0$

Assumption (v) implies that the vectors ε and F represent two distinct sources of variation, related to the standardized variables Z_j , there is no relationship between these sources of information. A factorial model with assumptions (i)-(v) It is called orthogonal, where orthogonality refers to the fact that the m factors are orthogonal to each other.

An immediate consequence of assumptions (i)-(v) is related to the structure of the theoretical correlation matrix P_{pxp} . When the orthogonal model is assumed, the matrix P_{pxp} can be reparameterized in the form:

$$P_{pxp} = LL' + \Psi \quad (4.3)$$

This comes from the fact that:

$$P_{pxp} = \text{Var}(Z) = \text{Var}(LF + \varepsilon)$$

$$P_{pxp} = \text{Var}(LF) + \text{Var}(\varepsilon) = LIL' + \Psi = LL' + \Psi$$

where I is the dimension identity matrix pxp .

The objective of factor analysis according to Wíchern; Johnson [13] is to find the matrices L_{pxm} and Ψ_{pxp} , that can represent the matrix P_{pxp} for a given value of m , less than the number of original variables p . Unfortunately, there are many correlation matrices P_{pxp} which cannot be broken down into form $LL' + \Psi$ for a value of m much less than p .

In (4.4) it is possible to better visualize the format of the matrices involved in the decomposition given in (4.3) of the correlation matrix.

$$\mathbf{P}_{p \times p} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^m l_{1j}^2 & \sum_{j=1}^m l_{1j} l_{j2} & \cdots & \sum_{j=1}^m l_{1j} l_{jp} \\ \sum_{j=1}^m l_{2j} l_{j1} & \sum_{j=1}^m l_{2j}^2 & \cdots & \sum_{j=1}^m l_{2j} l_{jp} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \sum_{j=1}^m l_{pj} l_{j1} & \cdot & \cdots & \sum_{j=1}^m l_{pj}^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \psi_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \psi_2 & \cdots & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdots & 0 & \psi_p \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

The implications of decomposition (4.3) are presented below:

$$(i_1) \text{Var}(Z_i) = l_{i1}^2 + l_{i2}^2 + \dots + l_{im}^2 + \psi_i = h_i^2 + \psi_i, \text{ where } h_i^2 = l_{i1}^2 + l_{i2}^2 + \dots + l_{im}^2, i = 1, 2, \dots, p.$$

which means that the variance of Z_i , it is decomposed into two parts. The first, denoted by h_i^2 , is the variability of Z_i explicada pelos m fatores incluídos no modelo fatorial. This part of the variability is called “commonality”, a name given in function of the fact that the factors $F_j, j = 1, 2, \dots, m$ appear in all model equations (4.1) and variables Z_i have a common source of variation. The second, denoted by ψ_i , is the variability part of Z_i associated only with random error ε_i , which is specific to each variable Z_i . This part of the variability is called “uniqueness” or “specific variance.” As the variables Z_i have variances equal to 1, it follows that $h_i^2 + \psi_i = 1$.

$$(i_2) \text{Cov}(Z_i, Z_k) = l_{i1} l_{k1} + l_{i2} l_{k2} + \dots + l_{im} l_{km}, i, k = 1, 2, \dots, p, i \neq k.$$

$$(i_3) \text{Cov}(Z, F) = L_{pxm} \text{ and therefore, } \text{Cov}(Z_i, F_j) = \text{Corr}(Z_i, F_j) = l_{ij}, i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, m.$$

This comes from the fact that

$$\text{Cov}(Z, F) = \text{Cov}(LF + \varepsilon, F) = \text{Cov}(LF, F) + \text{Cov}(\varepsilon, F) = \text{Cov}(LF, F) = L$$

Thus, one can use the L_{pxm} matrix in the search for understanding and interpretation of the factors $F_j, j = 1, 2, \dots, m$

To operationalize factor analysis in practice, we must first use mechanisms to estimate the value of m . From the estimated value of m we can then estimate the matrices L_{pxm} and $\psi_{p \times p}$.

(i₄) Regarding the total variance, the proportion explained by the factor F_j is given by:

$$PVTE_{F_j} = \frac{\sum_{i=1}^p l_{ij}^2}{p} \quad (4.5)$$

and the most representative factors in the model are those with higher values of (4.5). It is common to express the values in (4.5) in percentage.

4.2.2.3 Estimation of the Number of Factors

The first step in conducting factor analysis is to estimate the theoretical correlation matrix $\mathbf{P}_{p \times p}$ through the sample correlation matrix $\mathbf{R}_{p \times p}$, as was done in principal component analysis. For the estimation of m , it is enough to extract the eigenvalues from the $\mathbf{R}_{p \times p}$ matrix and sort them in descending order. It is observed, then, which eigenvalues are the most important in terms of numerical quantity, using the following criteria:

Criterion 1: the analysis of the proportion of total variance related to each eigenvalue λ_i , given by λ_i/p , $i = 1, 2, \dots, p$. Those eigenvalues that represent higher proportions of the total variance remain, and therefore the value of m will be equal to the number of eigenvalues retained; **Criterion 2:** the comparison of the numerical value of λ_i with the value 1, $i = 1, 2, \dots, p$. The value of m will be equal to the number of eigenvalues λ_i greater than or equal to 1. The basic idea of this criterion is to maintain in the system new dimensions that represent at least the variance information of an original variable. This criterion was proposed by Kaiser (1958); **Criterion 3:** observation of Cattell's scree-plot [14], which shows the values of λ_i ordered in descending order. By this criterion, the graph looks for a "jump point", which will be representing a decrease in importance in relation to the total variance. The value of m would then be equal to the number of eigenvalues prior to the "jump point". This criterion is equivalent to Criterion 1.

Suppose, for example, that we had $p=6$ and the eigenvalues $\lambda_1=2,24$, $\lambda_2=1,38$, $\lambda_3=1,21$, $\lambda_4=0,63$, $\lambda_5=0,41$, $\lambda_6=0,13$.

In this case, by Criterion 2, m would be estimated to be equal to 3. The same suggestion would be indicated by the scree-plot shown in Figure 1.

The criteria described take into account only the numerical magnitude of the eigenvalues. An adequate choice of the value of m must, however, take into account the interpretability of the factors and the principle of parsimony, i.e. the description of the variability structure of the random vector \mathbf{Z} with a small number of factors.

It is important to emphasize that the orthogonal factorial model should only be applied in situations in which the original variables are correlated with each other, because, otherwise, each factor will be related to only one original variable, making the value of m equal to p .

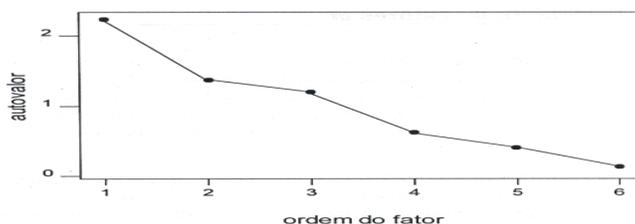


Figure 1: Scree-plot.

Source: Mingoti [12].

2.2.2.4 Methods of Estimation of Matrices L_{pxm} and ψ_{pxp} .

Once the value of m is chosen, it is possible to estimate the matrices L_{pxm} e ψ_{pxp} . Initially, the principal components method will be introduced, commonly used as an exploratory analysis of the data, in terms of the underlying factors, because it does not require information or assumptions about the probability distribution of the random vector Z . Subsequently, the principal factors method will be presented, which is a refinement of the principal components method, and the maximum likelihood method, which is indicated only when the random vector Z has multivariate normal distribution.

2.2.2.4.1 Principal component method for estimating matrices L_{pxm} and ψ_{pxp}

The principal components method works as follows: for each eigenvalue λ_i , $i = 1, 2, \dots, m$ retained in the estimation of the value of m , as discussed in section 3, is the corresponding normalized eigenvector e where $e =$ The matrices L_{pxm} and ψ_{pxp}

shall be estimated respectively by:

$$L_{pxm} = \begin{pmatrix} | & & | \\ e_1 & & e_m \\ | & & | \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

$$\psi_{pxp} = \text{diag} \begin{pmatrix} \lambda_1 & & \lambda_m \\ & & \\ & & \end{pmatrix} \quad (4.7)$$

where $\text{diag} (\cdot)$ denotes the diagonal matrix. Thus, the ψ_{pxp} matrix has the main diagonal equal to the elements of the main diagonal of the matrix R_{pxp} .

The basic idea of this procedure lies in the application of the spectral decomposition theorem to the R_{pxp} matrix. By this theorem, the sample correlation matrix can be decomposed as a sum of p matrices, each related to an eigenvalue of the matrix R_{pxp} . For a fixed m value one has that:

$$R_{pxp} = \sum_{i=1}^p \lambda_i e_i e_i' = \sum_{i=1}^m \lambda_i e_i e_i' + \sum_{i=m+1}^p \lambda_i e_i e_i' \quad (4.8)$$

Thus, an approximation to the matrix LL' will be given by:

$$LL' = \sum_{i=1}^m \lambda_i e_i e_i' = \psi_{pxp}$$

To build the matrix L_{pxm} , one can consider using the following matrix:

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i e_i e_i' = R_{pxp} \quad (4.9)$$

Since the matrix in (4.9) is not diagonal, it cannot be used completely for the estimation of ψ_{pxp} . However, one can consider its diagonal. Thus, the matrix of specific variances is estimated as given in (4.7).

Considering this form of estimation, the original sample correlation matrix R_{pxp} is being approximated by:

$$R \approx LL' + \psi \quad (4.10)$$

and the residual matrix from the adjustment of the factorial model will be given by:

$$\text{MRES} = R - \hat{R} \quad (4.11)$$

The residual matrix can serve as a criterion for evaluating the quality of fit of the factorial model. Ideally, your values should be close to zero. However, this matrix is only null when the value of m is equal to p , which in practice is not the desired solution.

2.2.3 Principal factors method for estimating matrices L_{pxm}

From Mingoti [12] it is perceived that another method can be used for the estimation of the matrices of loadings and specific variances introduced by Thompson (1934) and is called the method of principal factors or iterative principal components. For it to be used, it is necessary that the value of m has already been estimated by some criterion. The basic idea is to proceed to a refinement of the estimates of L_{pxm} and ψ_{pxp} generated by the method of principal components. Considering the model $P = LL' + \psi$, where P is the theoretical correlation matrix of the random vector of interest X . Then we have:

$$LL' = P - \psi = \begin{bmatrix} h_1^2 & \rho_{12} & \rho_{13} & \cdots & \rho_{1p} \\ \rho_{21} & h_2^2 & \rho_{23} & \cdots & \rho_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{p1} & \rho_{p2} & \rho_{p3} & \cdots & h_p^2 \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

onde $h_i^2 = 1 - \psi_i$, $i = 1, 2, \dots, p$ são as comunalidades. Suponha que se estime a matriz LL' por R^* dada por:

$$R^*_{pxp} = \begin{bmatrix} h_1^{*2} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & h_2^{*2} & r_{23} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & r_{p3} & \cdots & h_p^{*2} \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

where $(h_1^{*2}, h_2^{*2}, \dots, h_p^{*2})$ are initial estimates of commonalities $(h_1^2, h_2^2, \dots, h_p^2)$. Using the principal components method, one has that:

$$L^* = \dots \quad (4.14)^*$$

where λ_i are eigenvalues of R^* e e_i are the respective normalized eigenvectors. From the matrix L^* , we have, therefore, new estimates of commonalities $(h_1^2, h_2^2, \dots, h_p^2)$, which are then placed on the main diagonal of the matrix in (4.13), and the procedure of estimating the matrix L^* , by the principal components method, is repeated again. The algorithm is proceeded until such time as the differences between the commonalities of two successive interactions are negligible. Problems may occur during the execution of the algorithm, making it difficult for the iterative process to converge.

For example, eventually at some stage of the procedure, some eigenvalues of the R^* matrix may be negative, as these depend on the initial estimates of the commonalities. This creates an inconsistency with the fact that one is estimating a defined positive matrix, as is the case with the correlation matrix.

There may, also according to Rencher [15] be the Heywood problem, occasioned by the fact that at some stage of the iterative process some estimate h_i can be greater than 1, which generates a negative estimate of \mathbf{Y}^{-1} , and thus inconsistent with the definition of variance.

2.2.3.1 Principal Component Analysis

The use of Principal Component Analysis can under the developed conditions be understood as a process of analysis of statistical data, since it allows the methodological “walk” from beginning to end, that is, it allows the researcher to generate the expectation of results. Starting from the need to evidence the technique and method applied to the process of analysis of statistical data, and in attention to the objectives of the research, in order to leave it as a proposal for a real contribution to the Health System in Rondônia - more precisely to the planning area. From the task of explaining the method applied follows the demonstration of the statistical mode of how to obtain statistically results in a given sample.

Mingoti [12] proposes:

Be $X=(X_1, X_2 \dots X_p)'$ a random vector with measure vector $\mu = (\mu_1, \mu_2 \dots \mu_p)'$ and matrix of covariances $\Sigma_{p \times p}$.

Are $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ the eigenvalues of the array $\Sigma_{p \times p}$, with their standard eigenvectors e_1, e_2, \dots, e_p , that is, the eigenvectors e_i satisfy the following conditions:

- (i) $e_i' e_j = 0$ for all $i \neq j$;
- (ii) $e_i' e_i = 1$ for all $i = 1, 2, \dots, p$;
- (iii) $\Sigma_{p \times p} e_i = \lambda_i e_i$ for all $i = 1, 2, \dots, p$

where the eigenvector e_i is denoted by $e_i = (e_{i1} e_{i2} \dots e_{ip})'$. Consider the random vector $Y = O'X$, where $O_{p \times p}$ is the orthogonal matrix of dimension $p \times p$, consisting of the normalized eigenvectors of the matrix $\Sigma_{p \times p}$, that is,

$$O_{p \times p} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & e_{p1} \\ e_{12} & e_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & e_{p2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ e_{1p} & e_{2p} & \cdot & \cdot & \cdot & e_{pp} \end{bmatrix} = [e_1 e_2 \dots e_p] \quad (3.1)$$

The vector Y is composed of p linear combinations of the random variables of the vector X , has vector means equal to and $O' \mu$ and matrix of covariances $\Lambda_{p \times p}$, which is a

diagonal matrix, whose elements are equal to $a_{ii} = \lambda_i, i = 1, 2, \dots, p$ that is.

$$\Lambda_{p \times p} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & 0 \\ & \lambda_2 & \\ 0 & & \lambda_p \end{bmatrix}$$

Therefore, the random variables that constitute the Y vector are uncorrelated with each other. Thus, the idea of using linear combinations in Y arises as an alternative way of representing the covariance structure of the vector X , trying to obtain a reduction of the space of variables, going from the dimension p , to a dimension K less than p . Therefore, instead of using the original random vector in the data analysis, using the K main linear combinations. The random vectors, X and Y , have the same total variance and the same generalized variance, and the Y vector has the advantage of being composed of uncorrelated random variables, thus facilitating the joint interpretation of these. The following are some important definitions.

Definition 1: The j -th principal component of the matrix $\Sigma_{p \times p}, j = 1, 2, \dots, p$, is defined as:

$$Y_j = e_j' X = e_{j1} X_1 + e_{j2} X_2 + \dots + e_{jp} X_p \quad (3.2)$$

The hope and variance of the component Y_j are, respectively, equal to:

$$E[Y_j] = e_j' \mu = e_{j1} \mu_1 + e_{j2} \mu_2 + \dots + e_{jp} \mu_p$$

$$\text{Var}[Y_j] = e_j' \Sigma_{p \times p} e_j = \lambda_j$$

being $\text{Cov}[Y_j, Y_k] = 0, j \neq k$. Each eigenvalue λ_j represents the variance of a principal component Y_j . Since the eigenvalues are ordered in descending order, the first component is the one with the greatest variability and the p -th is the one with the lowest.

Definition 2: The proportion of the total variance of X that is explained by the j -th principal component is defined as:

$$\frac{\text{Var}[Y_j]}{\text{Variância Total de } X} = \frac{\lambda_j}{\text{Traço}(\Sigma_{p \times p})} = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \quad (3.3)$$

By the spectral composition theorem, the total and generalized variances of the random vector X can be described through the total variance and generalized variance of the random vector Y since,

$$\text{traço}(\Sigma_{p \times p}) = \sum_{i=1}^p \sigma_{ii} = \sum_{i=1}^p \lambda_i, \text{ where } \sigma_{ii} = \text{Var}[X_i], i = 1, 2, \dots, p$$

Thus, in terms of these two global measures of variation, the vectors X and Y are equivalent. In general, the ratio in (3.3) is multiplied by 100, indicating the result as a percentage. It is evident that the first principal component has the highest proportion of

explanation of the total variance of \mathbf{X} .

Definition 3: The proportion of the total variance that is explained by the first k compon

$$\frac{\sum_{j=1}^k \text{Var}[\mathbf{Y}_j]}{\text{Variância Total de } \mathbf{X}} = \frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\text{Traco}(\sum_{pp})} = \frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\sum_{i=1}^k \lambda_i} \quad (3.4)$$

If the first k principal components explain a large part of the total variance of the vector \mathbf{X} , it may be restricted the focus of attention only to the random vector $(\mathbf{Y}_1, \mathbf{Y}_2, \dots, \mathbf{Y}_k)'$. In this way, a k -dimensional set of random variables can be examined, rather than a p -dimensional set, without losing much information about the original structure of variances and covariances of the \mathbf{X} vector.

By the spectral decomposition theorem, by restricting the focus of attention only to the first k principal components, the matrix of covariances $\Sigma_{p \times p}$ is being approximated by the formula in (3.5):

$$\Sigma_{p \times p} \approx \sum_{j=1}^k \lambda_j \mathbf{e}_j \mathbf{e}_j' \quad (3.5)$$

Each portion of the sum in (3.5) involves a matrix of dimension $p \times p$ corresponding only to the information of the j -th principal component, $j = 1, 2, \dots, k$. Thus, the original variability system of the vector \mathbf{X} is being approximated by the sum of k matrices, each representing the variability system related to a component. When $k=p$, one has that the covariance matrix $\Sigma_{p \times p}$ is accurately reproduced by the sum of matrices rationed to the principal components, that is,

$$\Sigma_{p \times p} = \sum_{j=1}^p \lambda_j \mathbf{e}_j \mathbf{e}_j'$$

Definition 4: Another way to define the principal components is presented below. Consider the following system of linear combinations of \mathbf{X} consisting of p equations of the type:

$$\mathbf{Y}_i = \mathbf{a}'_i \mathbf{X} = a_{i1} X_1 + a_{i2} X_2 + \dots + a_{ip} X_p, \quad i = 1, 2, \dots, p$$

Thus, one has to:

$$\text{Var}(\mathbf{Y}_i) = \mathbf{a}'_i \Sigma_{p \times p} \mathbf{a}_i$$

$$\text{Cov}(\mathbf{Y}_i, \mathbf{Y}_j) = \mathbf{a}'_i \Sigma_{p \times p} \mathbf{a}_j, \quad i \neq j, \quad i, j = 1, 2, \dots, p$$

Suppose one wants to find the values of the coefficients a_{ij} such that $\mathbf{a}'_i \mathbf{a}_j = \mathbf{1}$, so that the linear combinations $\mathbf{Y}_1, \mathbf{Y}_2, \dots, \mathbf{Y}_p$ were uncorrelated with each other and had maximum variance.

So it can be demonstrated by Wichern; Johnson [13] that the maximum variance of $\mathbf{Y}_1 = \mathbf{a}'_1 \mathbf{X}$, under the restriction $\mathbf{a}'_1 \mathbf{a}_1 = \mathbf{1}$, is equal to λ_1 and is obtained when $\mathbf{a}_1 = \mathbf{e}_1$, that is, the normalized eigenvector corresponding to λ_1 , being \mathbf{Y}_1 called the first principal component.

The maximum variance of $Y_2 = a_2' X$, under the restrictions $a_2' a_2 = 1$ and $cov(Y_1, Y_2) = 0$, is equal to λ_2 and is obtained when $a_2 = e_2$, the normalized eigenvector corresponding to λ_2 being Y_2 called the second main component. The maximum variance of $Y_3 = a_3' X$, under the restrictions $a_3' a_3 = 1$ and $cov(Y_1, Y_3) = cov(Y_2, Y_3) = 0$, is equal to λ_3 , being Y_3 called the third main component. Following the procedure, the maximum variance of $Y_i = a_i' X$, under the restrictions $a_i' a_i = 1$ e $cov(Y_p, Y_j) = 0 \quad j < i$, is obtained when $a_i = e_i$, that is, the normalized eigenvector corresponding to the eigenvalue λ_i , being Y_i called the i -th principal component. Thus, the principal components p are constructed, being unique, except for the signal exchange of all their coefficients. So, for example, if Y_i is a principal component, $-Y_i$ will also be a principal component of order i .

Due to the very form of construction, the first principal component is always the most representative in terms of total variance and the p -th is always the least representative. Figure 2 shows a graphical illustration of the principal components in the case of two variables. As can be seen in the said figure, each point in the coordinate system Y_1 and Y_2 ,

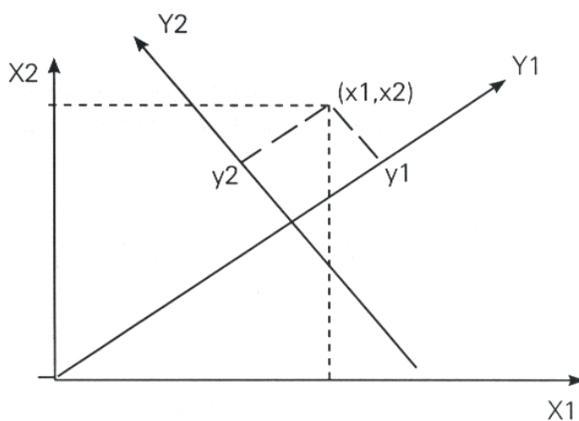


Figure 2: Geometric interpretation of principal component analysis – $p = 2$.

Source: Mingoti [12].

2.2.3.2 Principal Component Estimation: Covariance Matrix

In practice, the matrix $\Sigma_{p \times p}$ is unknown and needs to be estimated through the sample data collected. In general, the matrix $\Sigma_{p \times p}$ is estimated by the matrix of sample covariances $S_{p \times p}$.

Let $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ be the eigenvalues of the $S_{p \times p}$ matrix, and let $\hat{e}_1, \hat{e}_2, \dots, \hat{e}_p$ be the corresponding normalized eigenvectors. Then, the estimated j -th principal component is defined by:

$$Y_j = \hat{e}_j' X = \hat{e}_{j1} X_1 + \hat{e}_{j2} X_2 + \dots + \hat{e}_{jp} X_p, \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (3.6)$$

Some properties of the sample principal components are presented below..

Property 1: The estimated variance of Y_j is equal to λ_j , $j = 1, 2, \dots, p$

Property 2: The covariance between the components Y_j and Y_k is equal to zero, for all $k \neq j$, which means that these components are uncorrelated.

Property 3: The total variance explained by the j -th sample component is given by:

$$\frac{\lambda_j}{\text{traco}(S_{psp})} = \frac{\hat{\lambda}_j}{\sum_{i=1}^p \hat{\lambda}_i}$$

Property 4: The estimated correlation between the j -th main sample component and the random variable X_i , $i = 1, 2, \dots, p$ is given by:

$$r_{ij} = \frac{e_{ji} \sqrt{\hat{\lambda}_j}}{\sqrt{S_{ii}}}$$

where S_{ii} is the sample variance of the random variable X_i .

Property 5: By the spectral decomposition theorem, the matrix of covariances S_{psp} can be expressed as:

$$S_{psp} = \sum_{j=1}^p \hat{\lambda}_j e_j e_j^T$$

or approximated by (3.7) if only the first k sample principal components are used.

$$S_{psp} \approx \sum_{j=1}^k \hat{\lambda}_j e_j e_j^T \quad (3.7)$$

In practical terms, to make use of the k main sample components considered most relevant in data analysis, it is necessary to calculate their numerical values for each sample element, values called component scores.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

3.1 SCENARIO 1 = 121 EPIDEMIOLOGICAL, SOCIOECONOMIC AND HEALTH SERVICE COVERAGE VARIABLES IN THE STATE OF RONDÔNIA

In the application of the Factor Analysis technique and the Principal Component Analysis method, the findings combine with the theoretical foundations and demonstrate the importance of developing scientific studies in contribution to the management of the health system and in contribution to the decision-making process at the time of distribution of technical resources, financial and human.

In the application of the Factor Analysis technique and the Principal Component

Analysis method in the variables, with 121 variables grouped together. The statistical inferences show the following findings: factor (1), with an explanation greater than 70%, epidemiological indicators presented 46 variables, socioeconomic indicators 17 variables and indicators of health service coverage 6 variables. Therefore, with the application of the Factor Analysis technique and the Principal Component Analysis method in the variables, with 121 grouped variables, 69 variables with an explanation greater than 70% were found.

Factor (2) socioeconomic indicators highlighted 4 variables extracted from the application of Factor Analysis and Principal Component Analysis: Percentage of children aged 10 to 14 years with more than 1st year of school delay; Percentage of people in households with piped water; Percentage of children aged 10 to 14 years with less than 4 years of schooling; Percentage of children aged 7 to 14 out of school. The factor (3) indicators of coverage of health services highlighted only 2 (two) variables extracted from the application of Factor Analysis and Principal Component Analysis, higher than 70%: Percentage of government income; Percentage of people with more than 50% of government income.

Statistically in the context of factorial exploration, the factor (1) epidemiological indicators presented a variance explanation of 69.90%, the factor (2) socioeconomic indicators of 16.47% and factor (3) indicators of coverage of health services 6.46%. The set of factors accumulated eigenvalues of 92.8% of explanation extracted from the Principal Component Analysis. Considering what Mingoti [16] points out “the eigenvalues are ordered in descending order, the first component is the one with the greatest variability and the very bad one is the one with the lowest”, the first main component is revealed in the study as the epidemiological indicators, the second the socioeconomic indicators and the third the indicators of coverage of health services.

Considering also the notes of Mingoti [12] the first main component is placed in the multivariate analysis in this study as of greater representativeness, and by inserted context of greater importance in view of the object of study. Table 1 shows the statistical findings.

Values	Eigenvalue	% Total Variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
F (1) Epidemiological Indicators	69,90479	57,77255	69,90479	57,7725
F (2) Socioeconomic Indicators	16,47150	13,61281	86,37628	71,3853
F (3) Health Services Coverage Indicators	6,46530	5,34322	92,84158	76,72858

Table 1: Demonstration of the eigenvalues in the application of PCA in the 121 variables in the year of study

Source: Prepared from secondary data.

The eigenvalues of correlation can also be explained through the total variance that has the ability to synthesize the global variance of the multivariate distribution, since this is the sum of the variances of all the variables involved in the X vector.

Another finding that draws attention is the coordination of factors with cases, which for this study were analyzed 121 variables and 52 cases, demonstrates that, considering the 52 cases, there are in factor (1) 13 cases with negative inferences, in factor (2) 27 cases and in factor (3) 24 cases. It is worth mentioning the health regions hosted by the following municipalities: Porto Velho, Ariquemes, Ji-Paraná, Cacoal, Rolim de Moura and Vilhena, emphasizing that only Porto Velho (capital) presents itself negatively in a decreasing situation in the three factors.

Cases	F (1) Epidemiological Indicators	F (2) Socioeconomic Indicators	F (3) Health Services Coverage Indicators
5 ARQUEMES	-7,8181	4,2101	2,92478
9 CACOAL	-8,8542	5,4915	2,88012
24 JI-PR	-11,4610	4,6260	2,01097
37 PVH	-47,8678	-11,4336	-2,23120
41 RLM	-4,9203	6,8001	0,65169
52 VILHENA	-9,0195	8,5311	1,33950

Table 2: Demonstration of negative and positive cases (city of health region) based on correlations, extracted from Principal Component Analysis, with 121 variables.

Source: Prepared from secondary data.

3.2 SCENARIO 2 = 42 EPIDEMIOLOGICAL, SOCIOECONOMIC AND HEALTH SERVICE COVERAGE VARIABLES WITH AN EXPLANATION ABOVE 95% IN THE STATE OF RONDÔNIA

From the exploration of the 121 variables, it was necessary to consider the notes of Hair et al [16], who propose, in the use of factor analysis, to adopt criteria of percentage of variance in order to obtain practical significance for the determined factors, considering it desirable that the level of explanation of variance be 95%.

According to Hair et al [16], if in the interpretation of factor analysis it is inferred that the:

1) factorial matrix: works as an aid in the process of choosing the number of factors, this non-rotated matrix, demonstrates the particular combination of original variables explaining more the variation in the data as a whole than any other linear combination of variables. Therefore, the first factor can be seen as the best summary of linear relationships displayed in the data;

1) the second factor is orthogonal to the first: (...) thus, the second factor can be defined as the linear combination of variables that explains most of the residual variance after the effect of the first factor has been removed from the data;

2) Factor loadings: is the correlation of each variable with each factor. The loads indicate the degree of correspondence between the variable and the factor, and larger

loads make the variable representative of the factor.

Scenario 2 represents the findings of the application of Factor Analysis and Principal Component Analysis in variables with explanation above 95% in the State of Rondônia. Scenario 2 is extracted from Scenario 1, in order to obtain greater clarity of data exploration and to envision a greater possibility of contributing to the situational diagnosis in health in the planning area.

The variables with an explanation greater than 95 % are shown in Table 3, as follows: They were found 25 Socioeconomic Variables, 8 Epidemiological Variables and 3 Health Services Coverage Variables.

25 Socioeconomic Variables	
% children aged 10 to 14 years older than 1 year behind in school (CUMATES) % of children aged 7-14 years with 1 year of delay in school (CC7-14C1AATRASADO) % children in households with per capita income less than R\$ 75.50 (CDVIQMS) % of people with more than 50% of government income (PRMGOV) % of people in households with electricity and TV (PDENERG) Women 25 years of age and older (MULAC25ANOS) Population aged 10 to 14 years (POP10-14ANOS) Population 25 years of age or older (POPAC25ANOS) Population 65 years of age or older (POPAC65ANOS) Urban population (POPTOTAL) Probability of survival up to 60 years (PROBSOBAC65ANOS) Municipal Human Development Index Longevity (IDHM-LONG)	% children aged 10 to 14 years with less than 4 years of schooling (CQUATES) % children aged 7 to 14 years in primary school (GENFUN) % child aged 7-14 years out of school (CÇ7-14AFORAESC) % of government income (RENDAGOV) % of people in households with piped water (PDAGENC) Women 15 years of age and older (NMAC15ANOS) Population up to 1 year of age (POP1ANO) Population 15 years of age and older (POPAC15ANOS) 5-year-old population (POP<5ANOS) Total population (POPRURAL) Probability of survival up to 40 years (PROBSOBAC40ANOS) Municipal Human Development Index (IDHM) Life expectancy at birth (ESPVIDAONASC)
8 Epidemiological Variables	
Hospitalization infectious-parasitic diseases DOENINFEC-PARASIT Hospitalizations for pregnancy complications COMPGRAVIDEZ General death ÓBITOGERAL Death from External Causes OB-CAUS-EXTER	Hospitalization for digestive diseases D.DIGESTIVA Injuries from external causes LESCAUEXTER Infant death ÓB-INF Infant death by residence OB-INF-RES
3 Health Services Coverage Variables	
Examination of the cervix EXPREVENTIVO	Prenatal consultation of 7 and/+ NVC/7CONSPN
Medical visit number MÉDIAVISDOM	

Table 3: Demonstration of socioeconomic variables with explanation greater than 95% in the application of Factor Analysis and Principal Component Analysis for the State of Rondônia.

Source: Prepared from secondary data.

Factors	Explanation	Variables
F (1) epidemiological	95% - 99%	25
F (2) socioeconomic	70% - 82%	08
F (3) health service coverage	70% - 80%	03

Table 4: Demonstration of the concentration of variables by factor and percentage of explanation.

Source: Prepared from secondary data.

As for the relationship between the first and the last variable, according to Mingoti [12] “variance serves to measure the degree of linear relationship between two variables”. Thus, in the application of PCA in the 42 variables above 95%, the variable with the greatest explanatory power is the first with 99.66% (% children aged 10 to 14 years with more than 1 year of school delay; CUMATES), from the second and successively until the 8th, 99.99% of explanation is obtained, as shown in Table 5.

he variability associated with the random error ε_i , which is specific to each variable, can also be highlighted.

Variables	Eigenvalue	% TOTAL Variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1 CUMATES	1,661123E+11	99,66815	1,661123E+11	99,6681
2 CQUATES	5,354738E+08	0,32129	1,666478E+11	99,9894
3 CENFUN	1,149565E+07	0,00690	1,666593E+11	99,9963
4 CDVIQMS	3,275427E+06	0,00197	1,666626E+11	99,9983
5 RENDAGOV	1,776124E+06	0,00107	1,666643E+11	99,9994
6 PRMGOV	4,844556E+05	0,00029	1,666648E+11	99,9997
7 PDAGENC	3,033109E+05	0,00018	1,666651E+11	99,9998
8 PDENERG	1,187135E+05	0,00007	1,666653E+11	99,9999

Table 5: Demonstration of covariance eigenvalues of matrices (factors)

Source: Prepared from secondary data.

There is a correlation between factors (1), (2) and (3), which explains 66.53% for epidemiological indicators, 18.72% for socioeconomic indicators and 7.53% for service coverage indicators. The finding corroborates what Hair et al [16] say: “the first factor can be seen as the best summary of linear relationships displayed in the data”.

According to Reis [17] and Mingoti [12], commonality is “the total amount of variance that an original variable shares with all the other variables included in the analysis” or “the variables have a source of variation in common”. In Scenario (1) the set of 121 variables (epidemiological, socioeconomic and coverage of health services) presented 69 variables with commonalities above 70%. In Scenario (2), the set of 42 variables (epidemiological, socioeconomic and coverage of health services with explanation above 95%) presented 16 variables with commonalities above 95%. It is noteworthy that the variables of Scenario (2) are included in scenario (1).

Variables	F (1) Epidemiological Indicators	F (2) Indicators Socioeconomic	F (3) Health Services Coverage Indicators	Multiple R-Square
NMAC15ANOS	0,983867	0,996511	0,996612	1,000000
MULAC25ANOS	0,985501	0,996481	0,996542	1,000000
POP1ANO	0,965979	0,994573	0,995047	0,999977
POP10-14ANOS	0,978427	0,996382	0,996495	0,999994
POPAC15ANOS	0,982552	0,995959	0,996183	1,000000
POPAC25ANOS	0,984372	0,995766	0,995977	1,000000
POP<5ANOS	0,974340	0,995863	0,996087	0,999988
POPAC65ANOS	0,979914	0,980371	0,980497	0,999872

Table 6: Demonstration of commonalities in variables above 95% explanation

Source: Prepared from secondary data.

4 I CONCLUSIONS

There is an almost absolute predominance of epidemiological variables in factor (1), which represents an explanation above 70%. This fact is external, thus the affinity of the object of the work in the face of being represented by the health problems, especially the causes of hospitalizations and deaths.

Regarding factor (2) of socioeconomic variables, there was a predominance of 04 variables that tend to express the quality of the education system of Rondônia in view of the presence of indicators that measure access to elementary education. On the other hand, factor (3) - of the variables of coverage of health services - did not present significance for the study.

For the 52 municipalities in question, the situation of the Municipality of Porto Velho (Capital of the State of Rondônia) stands out, which presents a negative correlation of (-47.86%), which can be justified by the presence of diseases common to the other municipalities, for example, dengue, tuberculosis, leprosy, injuries due to external causes, among others, here observing only numerical values. Only the municipality of Porto Velho (Capital) contributes with 72.84% in Factor (1) and 17.64% in Factor (2). This fact can be explained by the characteristic of the city in concentrating the services of medium and high complexity in health and being references for all the municipalities of the State in the following services: urgency and emergency in adults (Hospital Estadual Pronto Socorro João Paulo – II), major surgical treatment (Hospital de Base Dr. Ari Pinheiro), pediatric urgency and emergency (Cosme e Damião Children's Hospital) and in infectious-contagious diseases (Hospital Centro de Medicina Tropical de Rondônia). In this case, some variables such as hospitalization and death can directly influence the contribution of the municipality.

Scenario (2) aimed to stratify the result of Scenario (1) in order to ensure better clarity to the study. In the application of factor analysis and principal component analysis

in 42 variables with explanation above 95%, confirmed the ability to represent the Factor (1) epidemiological indicators, pointing out, that 08 (eight) variables influenced the set of variables with explanation between 99.66% - 99.99%. These variables meet the group of access to elementary education, income, non-health public goods and services.

It can be said that the statistical attribute commonality directly influences the result of the research, since it was highly present in the first Scenario (1) with 69 variables and in the second Scenario (2) with 16 variables. Among the variables that presented commonality for this study, the following can be considered as the most important: number of cancer preventive exams, pregnancy complication and number of deaths in the period corresponding to 4 years of studies.

As for the agreed indicators, 07 (seven) are part of the indicators of service coverage and 26 of the epidemiological indicators. However, one can attribute a criticism to the non-agreement of socioeconomic indicators, which demonstrates low power of articulation in the field of intersectoral policy between the segments of education, public safety, environment and others that infers scope in the area of public health.

REFERENCES

- [1]. BRASIL. CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988. Promulgada em 05 de outubro de 1988. Versão eletrônica, revista e atualizada. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constitui%C3%A7ao.htm>, acesso em 17/10/2017.
- [2]. BRASIL. Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Lei Orgânica de Saúde. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Disponível em <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L8080.htm>>, acesso em 17/10/2017.
- [3]. BRASIL. Lei nº 8.142, de 28 de dezembro de 1990. Dispõe sobre a participação da comunidade na gestão do Sistema Único de Saúde (SUS) e sobre as transferências intergovernamentais de recursos financeiros na área da saúde e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8142.htm>, acesso em 17/10/2017.
- [4]. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Norma Operacional da Assistência à Saúde - NOAS-SUS 01/2001. Disponível em <http://www.sespa.pa.gov.br/Sus/Legisla%C3%A7%C3%A3o/NOAS01_PT95.htm>, acesso em 17/10/2017.
- [5]. BRASIL. CONASS - Conselho Nacional de Secretários de Saúde. SUS: avanços e desafios. (Org. SCOTTI, Ricardo F; autores: MENDES, Eugênio Vilaça; MÜLLER, Júlio; SANTOS, René). Brasília: CONASS, 2006. 164 p.
- [6]. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Gestão Estratégica e Participativa. A construção do SUS: histórias da Reforma Sanitária e do processo participativo. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
- [7]. BRASIL. MS. SUS. OPAS. Painel de Indicadores do SUS. Ano 1 – nº 1 – out/2006. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

- [8]. BRASIL. MS/SCTIE/DES/SIOPS/FNS. (Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Sistema de Informações sobre Orçamentos Públicos em Saúde. Fundo Nacional de Saúde), 2005. Relatório de Gestão 2005. Departamento de Economia da Saúde. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br/editora/produtos/livros/pdf/06_0283_M.pdf>, acesso em 17/10/2017.
- [9]. ALBERTO PARAGUASSÚ-CHAVES, Carlos. RAMOS, Josefa Lourdes. TRINDADE, Carla Dolezel. AZMAR FILHO, Simão. ALMEIDA, Fabrício Moraes de. DANTAS, Lenita Rodrigues Moreira. LUZ NETO, Leonardo Severo da. MACHADO NETO, Edmundo. SALTON, Ronaldo André Bezerra. . ANJOS, Osvaldo dos and SALTON, Gisely Beck Gonçalves. Multivariate Analysis of Health Indicators in the State of Rondônia, Western Amazon, Brazil. *Acta Scientifi Nutritional Health*, v. 5, p. 65-75, 2021.
- [10]. LUCCHESE, Patrícia Tavares Ribeiro. Processo Alocativo e Redução da Desigualdade Regionais. Equidade na Gestão do Sistema Único de Saúde. 2003. Relatório Final, ENSP/FIOCRUZ, Rio de Janeiro.
- [11]. ESCODA, Maria do Socorro Quirino. Iniquidade em Saúde. Revista: Espaço para Saúde, ISSN 1517-30, versão online, vol. V, nº II, UEL/NESCO-PR, 2004. Disponível em <<http://www.ufrnet.br/~scorpius/20-Iniquidade%20em%20saude.htm>>, acesso em 17/10/2017.
- [12]. MINGOTI, Sueli Aparecida. Análise de Dados através de Métodos de Estatística Multivariada: Uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.
- [13]. WICHERN, D. W; JOHNSON, R, A, Applied Multivariate Statistical Analysis. Londres: 3ª Ed, Englewood (N.J.): Prentice-Hall, Inc, 1998.
- [14]. CATTELL, R. B. (1966). The Scree Plot Test for the Number of Factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 140-161. <http://dx.doi.org/10.1207/s15327906mbr010210>.
- [15]. RENCHER, ALVIN C. *Methods of Multivariate Analysis*. 2nd ed. p. cm. — (Wiley series in probability and mathematical statistics) "A Wiley-Interscience publication." Printed in the United States of America.
- [16]. HAIR Jr., Joseph F.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L.; BLACK, William C. Análise Multivariada de Dados. 5ª ed., Trad. Adonai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- [17]. REIS, Elizabeth. *Estatística Multivariada Aplicada*. 2ª ed. Revista e corrigida. Lisboa: Edições Sílabo, 2001.

ANÁLISIS DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL PARA LA CIUDAD DE PUNO

Data de aceite: 01/09/2023

Ciro William Taipe Huamán

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca,
Perú
<https://orcid.org/0000-0002-6075-5582>

Eva Genoveva Mendoza Mamani

Universidad Nacional del Altiplano, Puno,
Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0587-0753>

Marisol Rojas Barreto

Universidad Nacional del Altiplano, Puno,
Perú
<https://orcid.org/0000-0001-6916-3754>

Russel Allidren Lozada Vilca

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca,
Perú
<https://orcid.org/0000-0002-8915-3964>

Leandro Paucara Cahuana

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca,
Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0282-7936>

Valeriano Pari Torres

Universidad Continental, Perú
<https://orcid.org/0009-0009-4069-2607>

comparativo utilizando datos satelitales e información de estaciones meteorológicas para estudiar la radiación solar global en la ciudad de Puno. Para este fin, se tomaron en cuenta los datos proporcionados por el National Solar Radiation Data Base, las estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú en la ciudad de Puno y la estación de la Universidad Nacional del Altiplano. El análisis se centró en realizar comparaciones y establecer relaciones de corrección basadas en los datos medidos en la ciudad de Puno. Se consideraron tanto correlaciones lineales como coeficientes de correlación para estimar los datos de radiación solar global para la ciudad de Puno. Los resultados de la investigación indican que es viable obtener datos de radiación solar global confiables a partir de las bases de datos disponibles en la web, así como mediante el uso de estaciones meteorológicas. Además, se logró establecer relaciones lineales de corrección al considerar las mediciones de radiación solar global efectuadas por las estaciones meteorológicas.

PALABRAS CLAVE: Radiación Solar, ciudad de Puno, correlación, estación meteorológica.

RESUMEN: El propósito de la investigación consistió en llevar a cabo un análisis

ABSTRACT: The purpose of the research was to carry out a comparative analysis using satellite data and information from weather stations to study global solar radiation in the city of Puno. For this purpose, the data provided by the National Solar Radiation Data Base, the meteorological stations of the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru in the city of Puno and the station of the National University of the Altiplano were taken into account. The analysis focused on making comparisons and establishing correction relationships based on the data measured in the city of Puno. Both linear correlations and correlation coefficients were considered to estimate the global solar radiation data for the city of Puno. The research results indicate that it is feasible to obtain reliable global solar radiation data from the databases available on the web, as well as through the use of weather stations. In addition, it was possible to establish linear correction relationships when considering the measurements of global solar radiation made by the weather stations.

KEYWORDS: Solar radiation, city of Puno, correlation, weather station.

1 | INTRODUCCIÓN

La energía solar es la principal fuente de energía en la Tierra y la atmósfera, representando más del 99,97% de toda la energía sin explotar. Esta energía calienta la superficie terrestre y el aire, generando vientos, corrientes, evaporación, formación de nubes y precipitaciones. Es un impulsor fundamental de diversos procesos atmosféricos y terrestres, desempeñando un papel crucial en la dinámica del clima y sustentando la vida en nuestro planeta. (Blal et al., 2020). Cuando la radiación solar global atraviesa la atmósfera terrestre, experimenta interacciones complejas con diversas partículas y moléculas presentes en ella, como partículas de polvo, moléculas de gas, ozono y vapor de agua. Estas interacciones incluyen fenómenos como la reflexión, la disipación y la absorción de la radiación solar por parte de estas partículas y moléculas. (Cervantes-Osornio et al., 2017). La cantidad de atenuación de la radiación solar en un momento y lugar determinado está determinada por la composición de la atmósfera y la longitud del trayecto al que se transmite la radiación solar, es por ello la necesidad de disponer con registros de radiación solar y estos cobra importancia principalmente debido al incremento en aplicaciones de la energía solar (Sindhu et al., 2016), en áreas de la ingeniería así como en: modelación del clima y tiempo, monitoreo de crecimiento en los cultivos y control de enfermedades. Obtener estos datos confiables de radiación solar requiere mediciones sistemáticas (Mubiru, 2008).

La radiación solar ultravioleta (UV) tiene efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos. En la piel la radiación UV causando envejecimiento prematuro, reacciones de tipo alérgicas, como foto-queratitis (Sordo y Gutiérrez, 2013), cáncer en la piel (Levels, 2017). En los ojos causa cataratas (Gallagher y Lee, 2006) y afecta al sistema inmunológico (Norval, 2006). El efecto más común de la sobreexposición a la radiación solar es la quemadura solar o eritema, que aparece 10-16 horas después de la exposición al sol (Tanskanen et al., 2007). Los efectos en la naturaleza como en la agricultura y la vida acuática se presenta

en las plantas y peces (Sweet et al., 2012). A la vegetación afectando en su crecimiento (Zhang et al., 2014), en los animales produce quemaduras en su piel (Pahkala et al., 2003) but the effects on later life-stages (metamorphosis, en la conservación y durabilidad de materiales como el plásticos y la pintura (Verbeek et al., 2011).

Mayhua (2019), estudia el comportamiento de la radiación solar global para la ciudad de Arequipa, Perú, considerando el modelamiento matemático empírico obtenido de la correlación de datos de índice ultravioleta y radiación solar global obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) de la estación "la Pampilla", logran validar la ecuación para la estimación del índice ultravioleta.

Antón y otros (2017) presentaron un estudio que se centra en el análisis de la radiación solar global diaria determinada a partir de la insolación solar en Madrid, España, entre 1887-1950. También se analiza la relación entre la radiación solar global y la nubosidad, así mismo la reconstrucción de la radiación solar global a largo plazo fue con tendencia negativa de $2 -13\text{KJ/m}$ por año en el periodo 1887 a 1915 y con tendencia positiva de $2 +13\text{KJ/m}$ por año en el periodo 1916 a 1950, ambos estadísticamente significativos en el nivel de confianza del 95%.

Ayodele y Ogunjuyigbe (2015) proponen la distribución de probabilidad del índice de claridad para la predicción de la radiación solar global. El índice de claridad se obtiene a partir de la radiación solar global de años pasados. Para validar el método propuesto, se analizaron datos durante ocho años (2000-2007) en Ibadan, Nigeria. Los resultados mostraron que la distribución logística proporciona el mejor ajuste para el índice de claridad y el método.

Por ello nos propusimos como objetivo realizar un análisis de la radiación solar global en la ciudad de Puno.

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Datos de radiación solar en la ciudad de Puno

Se utiliza datos de radiación solar medidos por la estación meteorológica DAVIS Vantage PRO 2.0 Plus mediante el sensor radiación solar (Piranómetro), el cual se muestra en la figura 1, en intervalos de 1 hora en unidades de w/m^2 . La estación meteorológica está instalada en una zona libre de sombras y obstáculos en el pabellón de ingeniería civil de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno (UNAP) en las coordenadas latitud $-15,4890$, longitud $-70,1515$ y una altitud de $3,825\text{msnm}$.

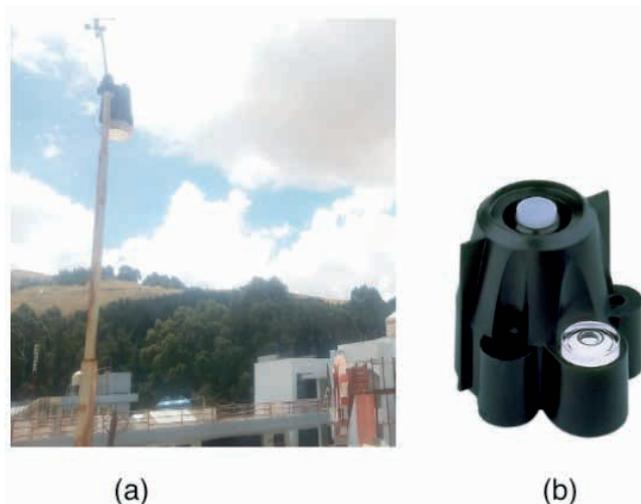


Figura 1. (a) Estación meteorológica DAVIS vantage PRO 2.0 Plus (b) Piranómetro

También se considera la estación meteorológica de SENAMHI ubicada en la coordenadas latitud -15.826250 longitud -70.012083 , el cual se ubica a 747.90m de la estación meteorológica de UNAP como se muestra en la figura 2, el cual se ubica a orillas del lago Titicaca.



Figura 2. Ubicación de la estación meteorológica UNAP y SENAMHI ciudad de Puno

2.2 Datos satelitales

La National Solar Radiation Data Base (NSRDB) es un conjunto de datos de recursos solares públicos ampliamente utilizado que ha sido desarrollado y actualizado durante más de 20 años para reflejar los avances en la medición y modelización de la radiación solar. La versión más reciente de la NSRDB utiliza productos satelitales de 30 minutos a una

resolución de 4x4 km que cubren el período 1998-2018 (Habte et al., 2017; Sengupta et al., 2018).

2.3 Estadísticos de evaluación

Error estándar promedio o raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE)

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (R_{mi} - R_{si})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (1)$$

El error medio (MBE),

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{mi} - R_{si})}{n} \quad (2)$$

Coefficiente de determinación (R^2)

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (R_{mi} - \bar{R}_{mi})(R_{si} - \bar{R}_{si})]^2}{[\sum_{i=1}^n (R_{mi} - \bar{R}_{mi})^2][\sum_{i=1}^n (R_{si} - \bar{R}_{si})^2]} \quad (3)$$

El coeficiente de correlación (r)

$$r = \sqrt{R^2} \quad (4)$$

Donde: R_{mi} es el dato medido por la estación meteorológica, R_{si} es el dato obtenido del satélite, \bar{R}_{mi} es el promedio de los datos medidos por la estación meteorológica, \bar{R}_{si} es el promedio de los datos obtenidos del satélite y n es el número total de observaciones (Alexandris et al., 2006; Tabari, 2010)

3 | ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Radiación solar del periodo 1997-2020

La radiación solar lo obtenemos de los datos de la NSRDB (NASA), como se muestra en la figura 3. Sea obtenidos valores de radiación solar global para un plano horizontal para el periodo 1998 al 2020 de la NSRDB considerando las coordenadas de coordenadas latitud -15,4890, longitud -70,1515 para la ciudad de Puno con valores máximo de 9.806kwh/m²/día, mínimo de 3.004kwh/m²/día y un promedio de 6.857kwh/m²/día, el cual se muestra en la Figura 3, se observa un comportamiento senoidal similar a los obtenidos por (Jimenez et al., 2016) para la ciudad de Turcuman, Argentina, y (Antón et al., 2017) obtiene valores de radiación solar global para la Península Ibérica en el periodo 1986-2015, encontrando comportamiento estacional.

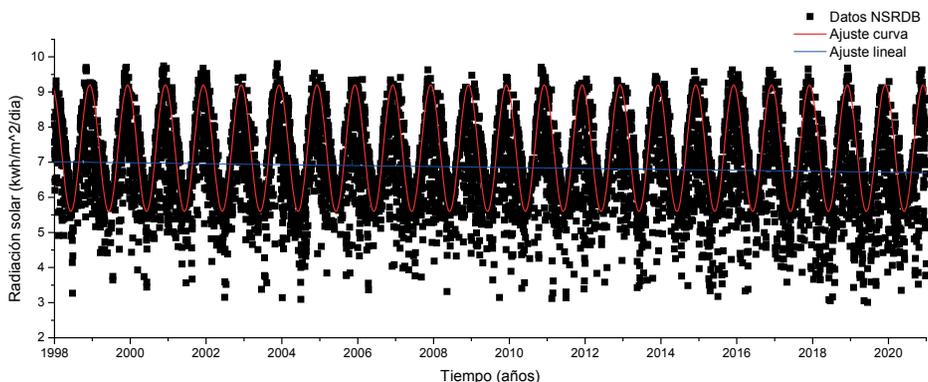


Figura 3. Radiación solar NASA para la ciudad de Puno, año 1998-2020.

3.2 Radiación solar para ciudad de Puno

Ahora se analiza datos de SENAMHI y NASA para la ciudad de Puno, para un periodo de 2013- 2020 de la radiación solar global diaria en unidades $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ el cual se muestra en la figura 5. En la figura 4 se observa datos de la radiación solar para el año 2020, en el cual se observa que existe una diferencia entre los valores medidos, estos está de acuerdo al trabajo de Nolasco et al., (2018), ahora para realizar la corrección en función a los datos medios por la estación de SENAMHI se realiza la correlación de los datos SENAMHI y NASA el cual se observa en la figura 5, datos para el periodo 2013 -2020. Considerando la totalidad de días nublados y parcialmente nublados y despejados, donde sea obtenido valores mínimos, máximo y promedio los cuales se muestran en la tabla 1. E unidades de $\text{kWh/m}^2/\text{día}$.

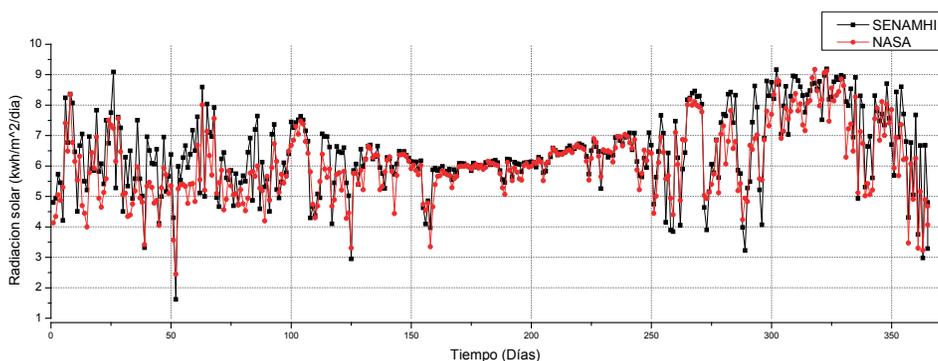


Figura 4. Radiación solar SENAMHI y NASA para la ciudad de Puno, año 2020.

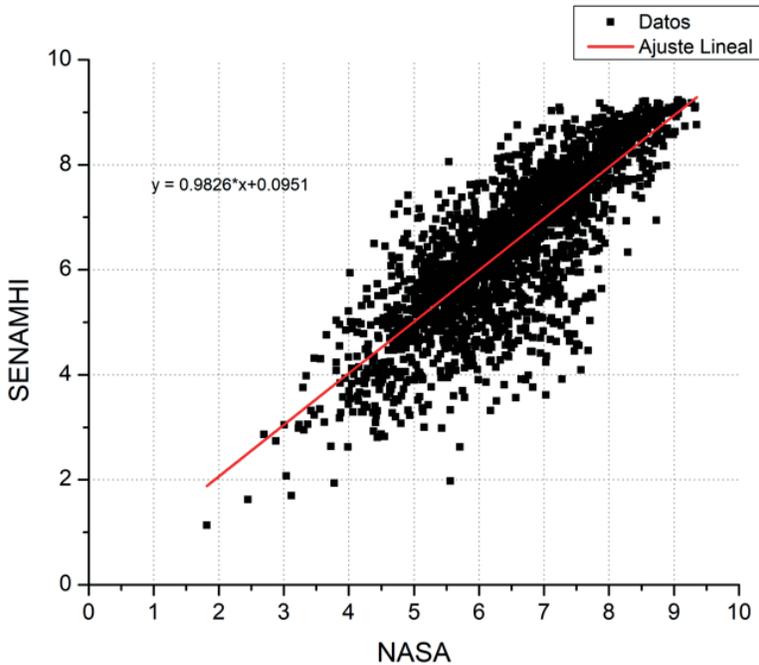


Figura. 5 Comparación de datos NASA y SENAMHI 2013 a 2020.

Valores	NASA	SENAMHI
Mínimo	2.450	1.619
Máximo	9.170	9.194
Promedio	6.088	6.423

Tabla 1. Datos de valores de mínimo, máximo y promedio para la el 2020

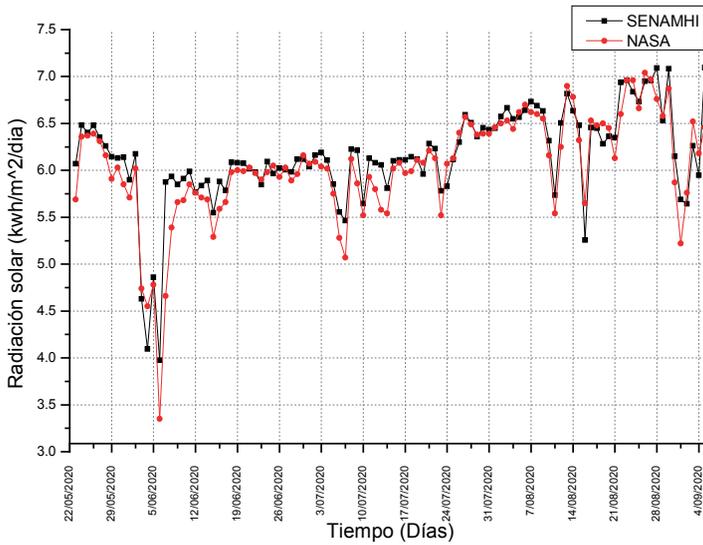
Al realizar la comparación de datos se obtiene una ecuación lineal de relación entre los datos de la NASA y SENAMHI el cual es:

$$R_S = 0.9826 * R_N + 0.0951 \quad (5)$$

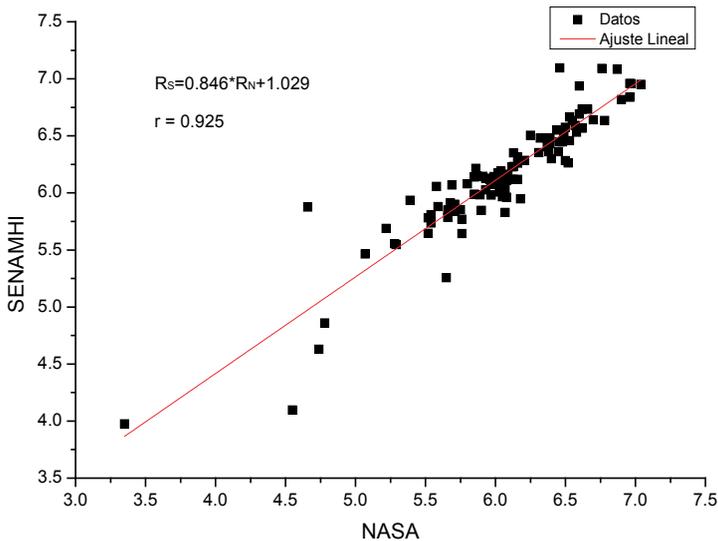
Donde R_S es la radiación solar medido por SENAMHI y R_N es la radiación solar estimado por la NASA, esta ecuación nos va permitir estimar datos para la ciudad de Puno.

Ahora analicemos el periodo de días del 01 de abril al 23 de julio del 2020, en el cual se presenta un mínimo número de días con nubosidad, sin presencia de lluvias como se observa en la figura 6a, donde se observa una sobre estimación de la radiación solar global por los datos obtenidos de NSRDB comparados con la estación, estos resultados concuerdan con los trabajos de (Antón et al., 2010; Buchard et al., 2008; Nolasco et al., 2018) donde se indican que los datos obtenidos de satélites sobre estiman los valores de radiación solar entre 17 a 40%, esto debido a las características climáticas del lugar (Blal

et al., 2020). Por ello realizamos el análisis de dispersión de datos mediante el coeficiente de correlación lineal encontrando $r = 0.952$, lo que indica del total de datos para cielos sin nubosidad y lluvias el 95.2% tienen relación lineal como se muestra en la figura 6b.



(a)



(b)

Figura 6 (a) Radiación solar global (b) Dispersión de datos NSRDB y estación

Para realizar la corrección de datos obtenidos satelitales por medio de la web según los autores (Jacobs et al., 2004; Mazorra Aguiar et al., 2019; Nolasco et al., 2018) se

considera la ecuación de la regresión lineal de los datos NSRDB y estación para la ciudad de Puno, se obtiene la ecuación

$$R_s = 0.846 * R_a + 1.029 \quad (6)$$

Donde R_s , es la radiación solar global ajustado para la ciudad de Puno, R_a es la radiación solar global obtenido de NASA ambos en unidades de $\text{kwh/m}^2/\text{día}$.

Promedio de la radiación solar global para la ciudad de Puno por meses y horas para el periodo 2013 a 2020 de los datos medidos por la estación meteorológica de SENAMHI, se muestra en la figura 7, considerando la totalidad de días nublados, parcialmente nublados y despejados.

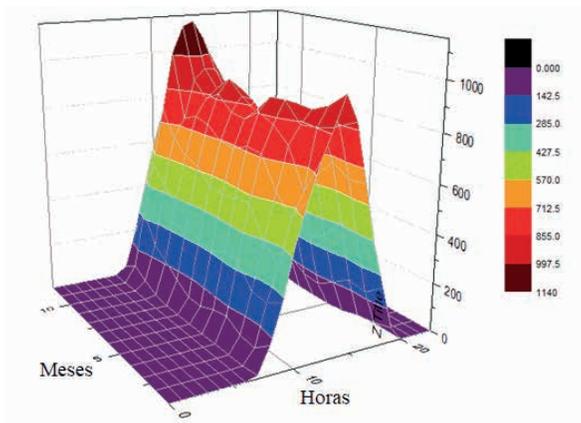


Figura 7. Promedios horarios de la radiación solar global en la ciudad de Puno 2020.

En la figura 8 se observa radiación solar global promedio mensual del periodo 2010-2018 en el cual se observa que los valores mínimos se presentan en la estación de invierno y los valores máximo se presenta en la estación de verano lo cual está de acuerdo a la distancia del sol y la tierra según (Iqbal, 1983) y el comportamiento de los valores promedio mensuales es estacional y cíclico de los valores de radiación solar global promedio mensual.

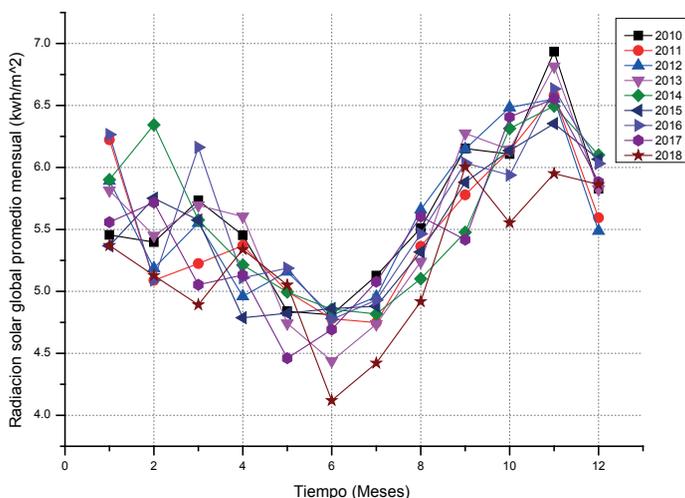


Figura 8. Radiación solar global promedio mensual del periodo 2010-2018

4 | CONCLUSIONES

Se ha llegado a la conclusión de que es factible obtener datos confiables sobre radiación solar a partir de las bases de datos proporcionados por el National Solar Radiation Data Base y las estaciones meteorológicas UNAP y SENAMHI, y estableciendo relaciones lineales de corrección basadas en mediciones de estaciones meteorológicas que miden la radiación solar global. Sin embargo, una limitación importante para estimar la radiación solar global en la ciudad de Puno radica en la falta de estaciones meteorológicas que abarquen toda la provincia de Puno. Además, las estimaciones de radiación solar global proporcionadas por las bases de datos de la National Solar Radiation Data Base son para áreas extensas, lo que puede diferir de las mediciones puntuales realizadas por estaciones meteorológicas. Esta discrepancia en la escala de medición puede afectar la precisión de las estimaciones de radiación solar global en la ciudad de Puno.

REFERENCIAS

Alexandris, S., Kerkides, P. y Liakatas, A. (2006). Daily reference evapotranspiration estimates by the «Copais» approach. *Agricultural Water Management*, 82(3), 371-386. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.08.001>

Antón, M., Cachorro, V. E., Vilaplana, J. M., Toledano, C., Krotkov, N. A., Arola, A., Serrano, A. y De la Morena, B. (2010). Comparison of UV irradiances from Aura / Ozone Monitoring Instrument (OMI) with Brewer measurements at El Arenosillo (Spain) – Part 1 : Analysis of parameter influence. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 6797-6827.

- Antón, M., Román, R., Sanchez-Lorenzo, A., Calbó, J. y Vaquero, J. M. (2017). Variability analysis of the reconstructed daily global solar radiation under all-sky and cloud-free conditions in Madrid during the period 1887–1950. *Atmospheric Research*, 191, 94-100. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.03.013>
- Ayodele, T. R. y Ogunjuyigbe, A. S. O. (2015). Prediction of monthly average global solar radiation based on statistical distribution of clearness index. *Energy*, 90, 1733-1742. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.137>
- Blal, M., Khelifi, S., Dabou, R., Sahouane, N., Slimani, A., Rouabhia, A., Ziane, A., Neçaibia, A., Bouraiou, A. y Tidjar, B. (2020). A prediction models for estimating global solar radiation and evaluation meteorological effect on solar radiation potential under several weather conditions at the surface of Adrar environment. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 152, 107348. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107348>
- Buchard, V., Brogniez, C., Auriol, F., Bonnel, B., Lenoble, J., Tanskanen, A., Veeffkind, P., Buchard, V., Brogniez, C., Auriol, F., Bonnel, B., Lenoble, J., Buchard, V., Brogniez, C., Auriol, F., Bonnel, B. y Lenoble, J. (2008). Comparison of OMI ozone and UV irradiance data with ground-based measurements at two French sites To cite this version : HAL Id : hal-00328314 Comparison of OMI ozone and UV irradiance data with ground-based measurements at two French sites. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, European Geosciences Union*, 8(2), 4309-4351.
- Cervantes-Osornio, R., Arteaga Ramírez, R., Vázquez Peña, M. A. y Ojeda Bustamante, W. (2017). Red neuronal artificial backpropagation versus modelos empíricos para estimación de radiación global diaria en Sinaloa, México*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1029. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.229>
- Gallagher, R. P. y Lee, T. K. (2006). Adverse effects of ultraviolet radiation : A brief review. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 92, 92, 119-131. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.02.011>
- Habte, A., Sengupta, M. y Lopez, A. (2017). Evaluation of the National Solar Radiation Database (NSRDB): 1998-2015. *Technical Report TP-5D00-67722, April*, 1-38. <https://doi.org/10.2172/1351858>
- Jacobs, J. M., Anderson, M. C., Friess, L. C. y Diak, G. R. (2004). Solar radiation, longwave radiation and emergent wetland evapotranspiration estimates from satellite data in Florida, USA. *Hydrological Sciences Journal*, 49(3), 461-476. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.3.461.54352>
- Jimenez, V. A., Barrionuevo, A., Will, A. y Rodríguez, S. (2016). Neural Network for Estimating Daily Global Solar Radiation Using Temperature, Humidity and Pressure as Unique Climatic Input Variables. *Smart Grid and Renewable Energy*, 07(03), 94-103. <https://doi.org/10.4236/sgre.2016.73006>
- Levels, U. R. (2017). *fenotipos e infraestructura de protección solar en instituciones educativas de Piura , Perú Ultraviolet Radiation Levels , Phenotypes , and Infrastructure*. 1621, 40-49.
- Mayhua, F. (2019). *Estudio comparativo y modelación de la radiación global y ultravioleta en la ciudad de Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Mazorra Aguiar, L., Polo, J., Vindel, J. M. y Oliver, A. (2019). Analysis of satellite derived solar irradiance in islands with site adaptation techniques for improving the uncertainty. *Renewable Energy*, 135, 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.099>
- Mubiru, J. (2008). Predicting total solar irradiation values using artificial neural networks. *Renewable Energy*, 33(10), 2329-2332. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.01.009>

- Nolasco, M., Sayago, S. y Bocco, M. (2018). Un modelo lineal para estimar radiación solar global en la provincia de Córdoba a partir de datos satelitales CERES _ SYN1. En S. A. de I. e I. Operativa (Ed.), *CAI, Congreso Argentino de Agroinformatica* (pp. 216-223).
- Norval, M. (2006). The Effect of Ultraviolet Radiation on Human Viral Infections. *Photochemistry and Photobiology*, 82(6), 1495-1504. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2006.tb09805.x>
- Pahkala, M., Merilä, J., Ots, I. y Laurila, A. (2003). Effects of ultraviolet-B radiation on metamorphic traits in the common frog *Rana temporaria*. *Journal of Zoology*, 259(1), 57-62. <https://doi.org/10.1017/S0952836902002984>
- Sengupta, M., Xie, Y., Lopez, A., Habte, A., Maclaurin, G. y Shelby, J. (2018). The National Solar Radiation Data Base (NSRDB). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(September 2017), 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.003>
- Sindhu, S., Nehra, V. y Luthra, S. (2016). Identification and analysis of barriers in implementation of solar energy in Indian rural sector using integrated ISM and fuzzy MICMAC approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 70-88. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.033>
- Sordo, C. y Gutiérrez, C. (2013). Cáncer de piel y radiación solar: experiencia peruana en la prevención y detección temprana del cáncer de piel y melanoma. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30(1), 113-117. <https://doi.org/10.1590/S1726-46342013000100021>
- Sweet, M., Kirkham, N., Bendall, M., Currey, L., Bythell, J. y Heupel, M. (2012). Evidence of melanoma in wild marine fish populations. *PLoS ONE*, 7(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041989>
- Tabari, H. (2010). Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates. *Water Resources Management*, 24(10), 2311-2337. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9553-8>
- Tanskanen, A., Lindfors, A., Ma, A., Krotkov, N., Herman, J., Kaurola, J., Koskela, T., Lakkala, K., Fioletov, V., Bernhard, G., McKenzie, R., Kondo, Y., Neill, M. O., Slaper, H., Outer, P. Den, Bais, A. F. y Tamminen, J. (2007). Validation of daily erythemal doses from Ozone Monitoring Instrument with ground-based UV measurement data. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112, 1-15. <https://doi.org/10.1029/2007JD008830>
- Verbeek, C. J. R., Hicks, T. y Langdon, A. (2011). Degradation as a result of UV radiation of bloodmeal-based thermoplastics. *Polymer Degradation and Stability*, 96(4), 515-522. <https://doi.org/10.1016/j.polymerdegradstab.2011.01.003>
- Zhang, L., Hartwell, L., Jr, A., Vaughan, M. M., Hauser, B. A. y Boote, K. J. (2014). Agricultural and Forest Meteorology Solar ultraviolet radiation exclusion increases soybean internode lengths and plant height. *Agricultural and Forest Meteorology*, 184(July 2011), 170-178. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.09.011>

DESEMPENHO TÉRMICO DE UM COLETOR ARMAZENADOR SOLAR HORIZONTAL

Data de submissão: 01/07/2023

Data de aceite: 01/09/2023

Ânoar Abbas El Aouar

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia de Alimentos
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/1621124045380683>

Maria Cecília Soares Correia

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia de Alimentos
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/7086989241593559>

Pierre Correa Martins

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia de Alimentos
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/1815784268131348>

Joselma Araújo De Amorim

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia de Alimentos
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/5009831008235769>

Geraldo Dantas Silvestre Filho

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia de Alimentos
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/2010792824442012>

RESUMO: A energia solar é uma modalidade de energia limpa que pode ser utilizada como fonte de energia térmica em secadores convectivos. Seu aproveitamento pode ser realizado através do uso de coletores solares, responsáveis por transformar a energia da radiação solar em energia térmica, visando o aquecimento do ar ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho térmico de um coletor armazenador solar. O coletor construído foi do tipo placa plana horizontal e para maximizar a absorção da radiação solar foram utilizados, separadamente uma, chapa metálica de zinco e uma palha de aço comercial. Medidas das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido e das velocidades do ar na entrada e saída do coletor, em intervalos de uma hora no período de 9 às 17 horas, foram realizadas. Para a avaliação da eficiência instantânea do equipamento, foram determinados inicialmente o ganho de energia útil, a área útil do coletor e a irradiação global. Os resultados demonstraram que a maior temperatura obtida na saída coletor foi 48 °C, utilizando a configuração com a palha de aço. A irradiação global média obtida foi na faixa de 124 a 636 W/m². Foi observado que não houve uma grande variação entre

as velocidades do ar na entrada e saída do coletor, como também entre as vazões mássicas. A configuração com a chapa metálica de zinco apresentou uma eficiência média de 52 %, pouco menor que a com palha de aço que foi 53 %, não havendo diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre elas. Assim, a utilização da palha de aço como material absorvente se demonstrou mais aplicável do que a chapa metálica de zinco, por ser mais acessível e possuir menor custo de aquisição.

PALAVRAS-CHAVE: Coletor armazenador solar horizontal, secagem solar, eficiência térmica.

THERMAL PERFORMANCE OF A HORIZONTAL SOLAR STORAGE COLLECTOR

ABSTRACT: Solar energy is a clean energy that can be used as a source of thermal energy in convective dryers. Its use can be carried out through solar collectors, converting solar energy into thermal energy, aiming at heating the ambient air. The objective of this work was to evaluate the thermal performance of a solar storage collector. The collector built was a horizontal flat plate type and to maximize the absorption of solar radiation, a zinc metal sheet and a commercial steel wool were used separately. Measurements of dry bulb and wet bulb temperatures and air velocities at the collector inlet and outlet, at one-hour intervals from 9 am to 5 pm, were performed. To evaluate the instantaneous efficiency of the equipment, the useful energy gain, the useful area of the collector and the global irradiation were initially determined. The results showed that the highest temperature obtained at the collector outlet was 48 °C, using the steel wool configuration. The average global irradiation obtained was in the range of 124 to 636 W/m². It was observed that there was not a great variation between the air velocities at the collector inlet and outlet, as well as between the mass flows. The configuration with zinc metal sheet showed an average efficiency of 52%, slightly lower than that with steel wool, which was 53%, with no significant difference ($p \leq 0.05$) between them. Thus, the use of steel wool as an absorbent material proved to be more applicable than zinc metal sheet, as it is more accessible and has a lower acquisition cost.

KEYWORDS: Horizontal solar collector, solar drying, thermal efficiency.

1 | INTRODUÇÃO

A secagem é uma alternativa amplamente utilizada para a redução de perdas e preservação da qualidade de produtos agrícolas, pois remove a sua umidade através da transferência de calor e massa (OLIVEIRA, 2018). Na operação de secagem, utilizam-se, normalmente, secadores convencionais (convectivos), tendo como fonte de aquecimento do ar o uso de resistências elétricas e de outros dispositivos resultantes da queima de diversos tipos de combustíveis, tais como: lenha, resíduos agrícolas e combustíveis fósseis (gás) (PRECCI et al., 2001). Esses dispositivos exigem elevado investimento e altos custos de funcionamento e manutenção, além de trazerem problemas ao meio ambiente. Como a radiação solar no Brasil é abundante, em quase todo o ano, a secagem solar se torna uma alternativa adequada, reduzindo custos de processamento e possíveis impactos ambientais

(SILVEIRA, 2016).

A energia solar é uma modalidade de energia limpa que pode ser utilizada como fonte de energia térmica, para aquecimento de ambientes e de fluidos (SILVA, 2015). No Brasil, esta possui alto potencial de exploração, pois a irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro varia de 4.200 a 6.700 kWh/m²/ano, superior às verificadas em outros países que utilizam bastante a energia solar (PEREIRA et al., 2006).

A Região Nordeste possui o maior potencial de energia solar disponível no Brasil, com uma radiação global média estimada em 5,9 kWh/m², de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (SILVA, 2015). Essa região também apresenta elevados valores anuais de temperatura do ar (20 a 28 °C), decorrentes, exatamente, da sua alta incidência de radiação solar (PEREIRA et al., 2006).

Na região semiárida do estado da Paraíba, os pequenos produtores rurais sofrem com a escassez dos recursos, e por esse motivo se afiliam às cooperativas, que compram antecipadamente a sua produção para posterior distribuição nos mercados da circunvizinhança (SCHMIDT, 2008). Para que a agricultura familiar não seja prejudicada pelas altas temperaturas da região, seus produtores devem encontrar novos meios para comercializar seus produtos e de melhorar sua renda. Uma possível alternativa é a secagem de uma parte da produção, através da radiação solar, pois o semiárido paraibano possui elevada incidência solar, quando comparada a outros estados.

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica para aquecimento de fluidos. Seu aproveitamento pode ser realizado através do uso de coletores ou concentradores solares (COSTA, 2010; FALCÃO FILHO, 2011). O coletor solar pode ser definido como um tipo de trocador de calor, responsável por transformar a energia da radiação solar em energia térmica, visando o aquecimento do ar ambiente (CARVALHO & SIONEK, 2015). Um modelo simples de coletor é aquele constituído por uma câmara plana ou suporte (geralmente de madeira), um tampo de vidro, intercalados por uma chapa metálica (coletora). A radiação atravessa o vidro, incide na placa coletora e passa a aquecer o ar que atravessa o sistema, no qual ocorre uma diferença de temperatura e de taxa mássica entre as suas correntes de entrada e saída do coletor, resultando em uma descarga de ar aquecido desse equipamento (BECKER, 2014).

O presente trabalho teve como objetivo principal a construção de um coletor armazenador solar plano horizontal de custo mais acessível a pequenos produtores rurais das áreas mais secas do Brasil, que poderão realizar a secagem de sua produção agrícola facilitando a comercialização de seus produtos e aumentando sua renda familiar.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Realização dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA/CT/UFPB), João Pessoa - PB. O clima da região onde foram realizados os ensaios apresenta temperatura média anual de 25 °C e precipitação média anual de 1.900 mm (INMET, 2018).

Desenvolvimento do projeto do coletor armazenador solar

O coletor solar construído foi do tipo placa plana horizontal. Esta escolha se deve ao fato de se optar por uma convecção forçada do ar. Estudos comprovam que a velocidade do ar possui uma maior influência no início do processo de secagem sobre a menor temperatura, não exercendo influência significativa na maior temperatura de secagem (ARAÚJO, 2005; EL AOUAR, 2002; AZOUBEL, et al., 2009), o que justifica a utilização de uma convecção forçada do ar. O referido coletor foi constituído de uma caixa em aglomerado de madeira, com dimensões de 1,00 x 0,50 x 0,15 m; 4 separadores internos (290,0 x 10,0 x 150,0 mm), também em aglomerado de madeira com a finalidade de aumentar o percurso do ar para aproveitar melhor a área de transferência de calor; um soprador para a movimentação forçada do ar; e um tampo de vidro.

Toda a estrutura foi fixada por meio de parafusos e devidamente vedada com silicone. Este dimensionamento foi determinado de acordo com recomendações de Bezerra (2001), onde para cada metro cúbico da câmara de secagem é necessária uma área de 8 m² de coletor solar, formando uma proporção de 1 m³:8 m².

O desenho esquemático do coletor solar está apresentado nas Figuras 1 e 2 a seguir.

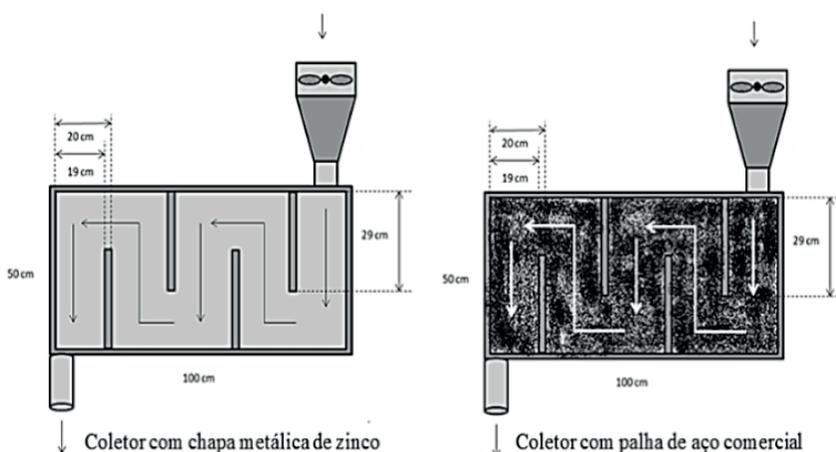


Figura 1 – Vista superior do coletor solar com (a) chapa metálica de zinco e com (b) palha de aço comercial.

Fonte: Autor (2023).



Figura 2 – Vista lateral do coletor solar.

Fonte: Autor (2023).

Para maximizar a absorção da radiação solar foram utilizados separadamente dois elementos absorvedores distintos: uma chapa metálica de zinco (CM) e uma palha de aço comercial (PA). Esses elementos foram cobertos por tinta de cor preta, para promover uma maior absorção. As dimensões dessas duas últimas partes constituintes do coletor foram acertadas no momento de sua construção. A espessura de PA utilizada foi de 2,5 cm. A convecção forçada de ar foi obtida a partir de um ventilador axial de baixo custo, conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2.

Análise térmica do coletor

Foram realizados testes na área externa do Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), com o intuito de obter dados suficientes para o cálculo da eficiência instantânea, bem como caracterizar as condições psicrométricas do ar ambiente e do ar que percorreu o coletor. Foi utilizado um termômetro de mercúrio, para obter temperaturas de bulbo seco e úmido, e um anemômetro de fio quente da marca AKSO modelo AK833 para verificar as velocidades na entrada e saída do coletor.

Em todos os testes, o coletor ficou na posição horizontal e os dados de temperatura e radiação solar foram registrados com intervalos de uma hora. Os valores de temperaturas de bulbo seco e úmido coletadas na entrada e saída do coletor foram suficientes para obter as propriedades termodinâmicas do ar, com o auxílio do Software Grapsi® desenvolvido por Melo et al. (2004).

Desempenho do coletor solar

Após a coleta dos dados experimentais, foi realizada a avaliação do desempenho do coletor solar, seguindo a metodologia proposta por Silveira (2016). O desempenho do coletor foi determinado pela eficiência (η_i), obtida pela equação 1 (DUFFIE & BECKMAN, 2013).

$$\eta_i = \frac{\dot{Q}_u}{A_C \times G_T} \quad \text{eq.1}$$

O cálculo da eficiência foi realizado para ambas as configurações, contudo, para melhor comparação entre elas optou-se por usar uma média das eficiências obtidas nos ensaios com a chapa metálica de zinco para comparar com as eficiências adquiridas no ensaio com a palha de aço. Para poder calcular a eficiência, precisou-se saber inicialmente

o ganho de energia útil (\dot{Q}_u) (vide equação 2) (KALOGIROU, 2014), a área útil do coletor (A_c), encontrada a partir da medição do comprimento e largura úteis do coletor, por onde o ar circula, e também o valor da irradiação global (IG).

$$\dot{Q}_u = \dot{m} \times c_p \times (T_{BS_s} - T_{BS_e}) \quad \text{eq.2}$$

Para a obtenção dos dados da irradiação global nos horários da medição (de hora em hora), foi necessário um levantamento no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O site disponibiliza dados de temperatura máxima e mínima, ponto de orvalho, umidade relativa, como também a radiação e a quantidade de chuva em um determinado local a cada hora. Como o valor disponível era de radiação (R) em unidade de energia (kJ/m^2), e para o cálculo da eficiência instantânea é necessária a irradiação (IG) em unidade de potência (W/m^2), foi feita a conversão utilizando a equação 3.

$$IG = \frac{R \times 1000}{3600} \quad \text{eq.3}$$

Multiplicou-se por mil para transformar de kJ para J , e dividiu-se por 3600 para converter horas em segundos, e passar a ser J/s que é o mesmo que W . Foi feita essa conversão para cada valor coletado. No site o horário era dado em UTC, por isso foi preciso fazer um ajuste para o estado da Paraíba, adicionando três horas ao horário informado no site.

O ganho de energia útil foi determinado a partir da equação 2, que relaciona as temperaturas de entrada (T_{BS_e}) e saída (T_{BS_s}) do coletor, o calor específico do ar (c_p), obtido segundo Singh (2009), e a vazão mássica de ar (\dot{m}), calculada pela equação 4. Essa última grandeza, relaciona a média entre as velocidades de saída e entrada (v_a), a área da seção transversal (A_s), obtida a partir do diâmetro da tubulação onde é coletada a velocidade de saída.

$$\dot{m} = A_s \times \rho_a \times v_a \quad \text{eq.4}$$

A massa específica do ar (ρ_a) foi encontrada pela equação 5, desenvolvida por Monteiro et al. (2010), que depende da temperatura média de entrada e saída do coletor (T_m).

$$\rho_a = \frac{353,44}{T_m + 273,15} \quad \text{eq.5}$$

Tratamento estatístico dos dados experimentais

Os dados obtidos experimentalmente foram analisados por meio do pacote estatístico STATISTICA 7.0, mediante Análise de Variância (ANOVA) sobre a eficiência instantânea do coletor, para ambas as configurações mencionadas anteriormente.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desenvolvimento do projeto do coletor

O coletor construído foi baseado na metodologia desenvolvida por Silva (2013), que tinha como intuito construir um coletor solar de baixo custo, para aplica-lo na secagem de produtos alimentícios. Outra metodologia que inspirou esse trabalho foi a de Oliveira (2018), que desenvolveu um coletor solar acoplado a um secador híbrido.

Na Figura 3 é possível ver ambas as configurações testadas.



Figura 3 – Coletor solar com as configurações (a) CM e (b) PA.

Fonte: Autor (2023).

Análise térmica do coletor

A análise térmica do coletor foi realizada a partir das medidas de temperatura de bulbo seco na entrada e saída do mesmo, assumindo duas configurações distintas: o coletor com a chapa metálica de zinco (CM) e com a palha de aço comercial (PA).

A Tabela 1 apresenta os dados de temperaturas na entrada e saída do coletor e irradiação global, para ambas as condições mencionadas anteriormente, ao longo do dia.

Horário (h)	CM			PA		
	T_{Bse} (°C)	T_{BSs} (°C)	IG (W/m ²)	T_{Bse} (°C)	T_{BSs} (°C)	IG (W/m ²)
9	33	37	458	30	33	487
10	34	39	606	33	36	463
11	34	39	639	34	39	589
12	33	38	591	38	48	595
13	35	39	434	35	41	838
14	35	40	555	32	35	432
15	34	36	455	33	35	335

16	30	31	301	32	35	284
17	30	30	98	31	31	150

Tabela 1 – Análise térmica do coletor solar, comparando as duas configurações utilizadas (CM e PA) em relação às temperaturas de bulbo seco de entrada e saída e irradiação global.

Fonte: Autor (2023).

Observando os dados da Tabela 1, percebe-se que, na primeira hora do experimento, já houve uma variação de 4°C na temperatura da configuração CM, enquanto na PA aumentou 3 °C na temperatura de entrada do coletor. No horário de 12 horas, a temperatura de bulbo seco na saída da configuração CM teve uma queda com relação a medição anterior, ficando 38 °C, diferente da configuração PA, que já iniciou a medição com essa temperatura na entrada, chegando a alcançar, na saída, a maior temperatura de todas as medições (48 °C). No fim da tarde, as temperaturas das duas configurações foram iguais na entrada e na saída, pois a posição do coletor nesse momento era na sombra. Além disso, foi observado que coletor apresentou características de armazenador para a configuração PA, quando às 16 horas, mantendo praticamente a mesma variação de temperatura em relação às 15h.

A irradiação global média variou de 124 a 636 W/m², aproximadamente, em uma medição que se iniciou de 9 horas e foi até às 17 horas, conforme ilustrado na Figura 4.

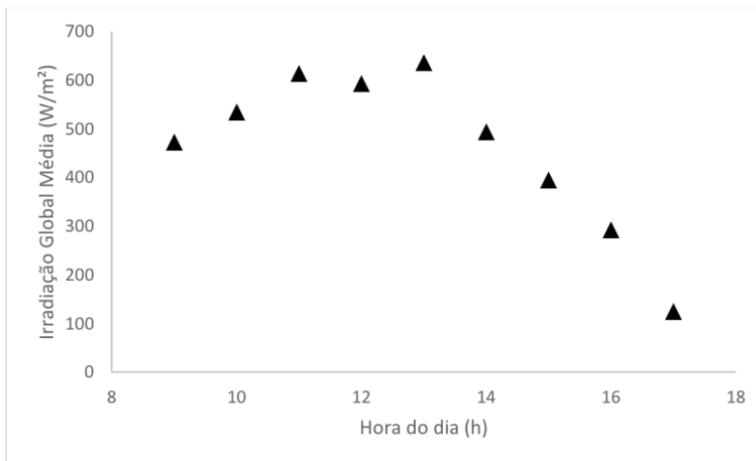


Figura 4 – Irradiação global média em função da hora do dia.

Fonte: Autor (2023).

A curva apresentada na Figura 4 mostra que no período de 9 a 11 horas houve um crescimento no valor da irradiação, reduzindo um pouco ao meio dia. O período do dia com maior irradiação média global foi de 13 horas, com um valor de 636,22 W/m². Oliveira (2018) obteve, em junho na cidade de Seropédica-RJ, uma irradiação máxima de 593,67

W/m², no período de meio dia, valor bastante semelhante ao encontrado nesse trabalho (593,01 W/m²). Já Silva (2013), obteve um valor médio de 611,60 W/m², na cidade de Coimbra em Portugal, em um dia nublado do mês de setembro. Após alcançar o pico, o valor cai bruscamente, e mantém esse comportamento até o fim do dia.

Desempenho do coletor solar

A Figura 5 mostra a relação entre a temperatura de bulbo seco de saída e a irradiação solar global, comparando as duas configurações utilizadas.

Observa-se na Figura 5 que a relação entre a variação da irradiação global e a variação de temperatura de bulbo seco de saída apresentou comportamento próximo à função linear.

O coeficiente de determinação R² indica o quão explicativo é o modelo linear; para a configuração CM, seu valor foi de 0,84 e para a configuração PA foi de 0,69. Portanto, o melhor modelo linear é o da configuração CM, que explica 84 % da variância dos dados. Valores condizentes com um comportamento linear da relação acima mostrada foram encontrados por Oliveira (2018) (0,82) e por Silveira (2016) (0,98).

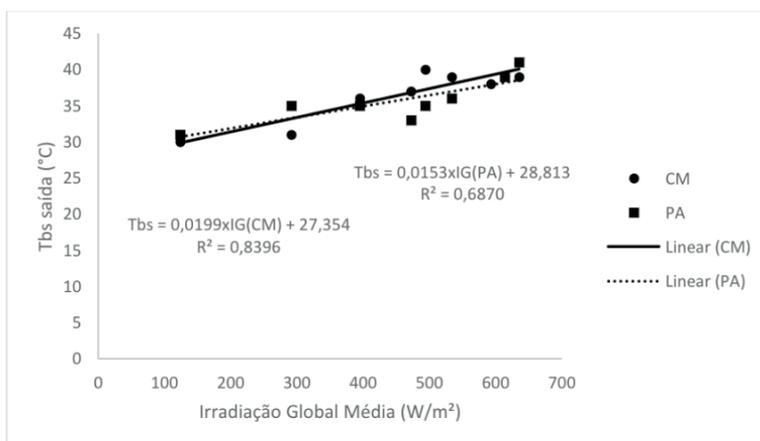


Figura 5 – Temperatura de bulbo seco de saída (°C) para cada configuração por irradiação global média (W/m²).

Fonte: Autor (2023).

Ainda pela Figura 5, percebe-se que as equações das retas para ambas as configurações são, praticamente, iguais, o que confirma o observado na prática.

De acordo com a metodologia proposta por Silveira (2016), foi possível obter os valores médios de velocidade, massa específica e vazão mássica do ar, os quais foram, respectivamente, de 3,67 m/s, 1,15 kg/m³ e 0,0331 kg/s. A área da seção transversal foi de 0,00785 m², obtida a partir do diâmetro da tubulação de saída (0,1 m) (MONTEIRO et al., 2010).

A partir dos valores mencionados, foram calculadas as eficiências do coletor, para

ambas as configurações, a cada hora do dia, conforme a Figura 6.

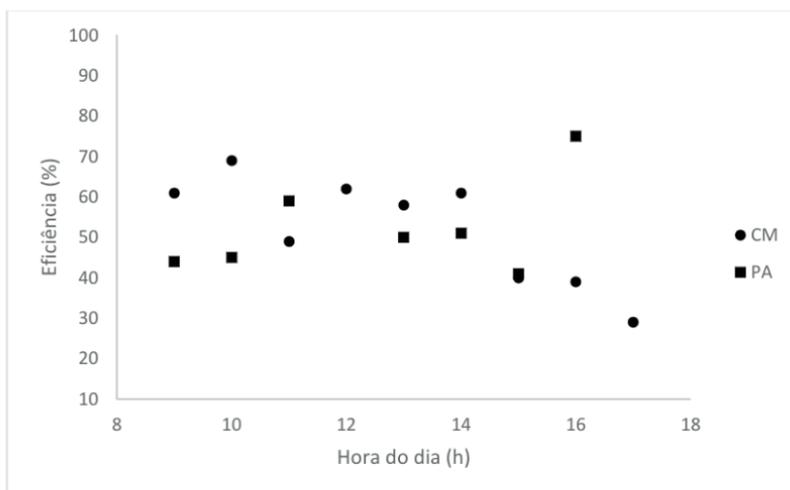


Figura 6 – Eficiência instantânea de cada configuração por hora do dia.

Fonte: Autor (2023).

Verifica-se, na Figura 6, que nos primeiros horários de medição, o coletor com a configuração CM se mostrou mais eficiente que o com a configuração PA. Já das 11 até às 12 horas o mais eficiente foi o coletor com a PA. A menor eficiência instantânea foi no fim da tarde, graças à sombra formada no local onde estava localizado o coletor.

Hedge et al. (2015) avaliaram a eficiência para um sistema de secagem solar de banana, comparando os resultados para passagem do fluxo de ar entre a placa absorvedora e a cobertura do coletor e para a passagem do fluxo entre a placa absorvedora e uma camada de isolamento. Esses autores iniciaram a medição também às 9 horas e atingiram a eficiência máxima de 50% às 16 horas.

Fudholi et al. (2015) obteve 28 % de eficiência do coletor solar para a secagem de pimenta vermelha com fluxo de massa de ar de 0,07 kg/s. Já Lingayat et al. (2017) ao avaliar um secador solar indireto para a secagem de banana estimaram a eficiência média do coletor em 31,50 %, em condições de irradiação solar média de 724 W/m².

Oliveira (2018) obteve um valor de 25,9 % de eficiência média global em um coletor solar plano acoplado em secador híbrido para secagem de produtos agrícolas. Enquanto isso Potdukhe e Thombre (2008) obtiveram 34 % de eficiência em um coletor na secagem solar de pimentões e folhas de feno-grego. Em todos esses estudos os autores encontraram valores de eficiência inferiores às duas configurações apresentadas nesse trabalho.

A configuração com a chapa metálica de zinco apresentou uma eficiência média de 52 %, pouco menor que a com palha de aço que foi 53 %, não havendo diferença significativa a $p \leq 0,05$. Com isso, a utilização da palha de aço como material absorvente mostrou-se, aparentemente, mais eficiente que a chapa metálica de zinco, além de ser mais vantajosa

com relação aos custos, pois uma folha de zinco de dimensões 100 x 100 x 0,5 mm custa em média R\$ 10,18 no site do AliExpress, e para cobrir a área do coletor são necessárias 10 folhas, totalizando um custo de R\$ 101,80. Já a palha de aço pode ser encontrada em qualquer supermercado com o preço variando de R\$1,50 a R\$3,00, sendo Bombril a marca mais conhecida. Para a utilização no coletor, seriam necessários 4 pacotes do produto, o que não ultrapassaria R\$12,00, tendo uma economia de aproximadamente 88 %.

4 | CONCLUSÕES

O coletor construído apresentou algumas perdas resultantes do tipo de ventilador escolhido e da estrutura onde este se encontrava acoplado. A maior temperatura de bulbo seco na saída do coletor e a maior irradiação média global foram obtidas utilizando a configuração com a palha de aço, no período de 12 às 13 horas, mesmo em dias nublados.

Foi observado durante os experimentos que não houve uma grande variação tanto entre as velocidades de entrada e saída do coletor quanto entre as vazões mássicas do ar. A configuração com a chapa metálica de zinco apresentou uma eficiência média pouco menor que a com palha de aço. A análise estatística mostrou que não houve diferença significativa entre as duas configurações estudadas, à 5% de significância. Portanto a palha de aço comercial pode ser utilizada como meio absorvedor ao invés da chapa metálica de zinco, pois é bem mais acessível tanto do ponto de vista de disponibilidade quanto de preço.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Eder Augusto Furtado. Estudo do processo combinado de desidratação osmótica e secagem de nectarina (*Prunus persica*). Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas-SP, 2005.

AZOUBEL, P.M.; EL AOUAR, A.A; TONON, R.V.; KUROZAWA, L.E.; ANTONIO, G.C.; MURR, F.E.X.; PARK, K.J. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. *International Journal of Food Science and Technology*, v.44, p.980-986, 2009.

BECKER, M.I.W.; MACHADO, N. Construção e ensaio de um coletor solar térmico para aquecimento do ar. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, Porto Alegre, 2014.

BEZERRA, A. M. Aplicações térmicas da energia solar, Editora Universitária da UFPB, João Pessoa, 2001.

CARVALHO, F.R.; SIONEK, M.C. Análise da eficiência de um coletor solar plano, Trabalho de Conclusão de Curso, DAMEC, UTFPR, Curitiba, 2015.

COSTA, J.B.S. Obtenção e caracterização de farinha de caju através do uso de um sistema de secagem solar de baixo custo, Tese de Mestrado, UFRN, Natal, 2010.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. *Solar engineering of thermal processes*. 4 ed. New York etc.: JOHN WILEY & SONS, Inc., p. 936, 2013.

EL AOUAR, A.A.; AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, v.59, p.85-91, 2003.

FALCÃO FILHO, R.S. Produção de passas de talo de abacaxi pérola por processo osmo-solar, Tese de Mestrado, UFPB, João Pessoa, 2011.

FUDHOLI, A., SOPIAN, K., BAKHTYAR, B., GABBASA, M., OTHMAN, M. Y., RUSLAN, M. H. Review of solar drying systems with air based solar collectors in Malasia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 51, pp. 1191-1204, 2015.

HEDGE, V. N., HOSUR, V. S., RATHOD, S. K., HARSOOR, P. A., NARAYANA, K. B. Design, fabrication and performance evaluation of solar dryer for banana, *Energy, Sustainability and Society*, pp. 5-23, 2015.

KALOGIROU, S.A. *Solar energy engineering: process and systems*. 2nd ed. Oxford: Academic Press, p. 819, 2014.

LINGAYAT, A., CHANDRAMOHAN V.P., RAJU, V.R.K. Design, Development and Performance of Indirect Type Solar Dryer for Banana Drying, *Energy Procedia*, v. 109, pp. 409-416, 2017.

MELO, C.E.; LOPES, D.C.; CORRÊA, P.C. Grapsi - Programa computacional para cálculo das propriedades psicrométricas do ar, 2004.

MONTEIRO, L.; BLANCO, J.; MIRANDA, T.; ROJAS, S.; CELMA, A. R. Design, construction and performance testing of a solar dryer for agroindustrial by-products. *Energy Conversion and Management*, v. 51, n.7, p. 1510-1521, 2010.

OLIVEIRA, L. C. T. G.; PAES, J. L.; GUIMARÃES, C.L. Avaliação da eficiência do coletor solar plano acoplado em secador híbrido. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar; Gramado-RS; abr 2018.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE. 2006.

POTDUKHE, P., THOMBRE, S. Development of a new type of solar dryer: its mathematical modelling and experimental evaluation, *International Journal of Energy Research*, v. 32, pp. 765–82, 2008.

PRECCI, R. L.; SOBRINHO, J.C.; SILVA, J. de Sousa e; SILVA, J.N. da. Fontes de energia para secagem. In: SILVA, J. de Sousa e (Ed.). *Secagem e armazenagem de café: tecnologias e custos*. Viçosa: Jard Editora Ltda, c. 4, p.111-132, 2001.

SCHMIDT FILHO, Ricardo; MOUTINHO, Lúcia Maria Góes. Recursos ambientais e dinâmica populacional no semiárido paraibano. *Revista de Economia, Universidade Federal do Paraná*, v.34, n.2, 2008.

SILVA, Rutelly Marques da. *Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios*. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, fevereiro/2015.

SILVA, Vítor Manuel Alves da. Coletor solar de baixo custo. Aplicação à secagem de produtos agroalimentares. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade de Coimbra. 2013.

SILVEIRA, L.R. Modelagem de um secador solar de produtos agrícolas com sistemas de armazenagem de energia térmica. Tese de Doutorado, ESALQ, USP, Piracicaba, 2016.

ESTUDO DAS CURVAS DE DURAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO ESTRUTURAL UTILIZANDO DIFERENTES ARQUIVOS CLIMÁTICOS DA CIDADE DE BELÉM-PA

Data de aceite: 01/09/2023

David Lohan Pereira de Sousa

Universidade Federal do Pará, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica
Ananindeua – PA
<http://lattes.cnpq.br/2436569184881553>

Jean Carlos de Almeida Nobre

Universidade Federal do Pará, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica
Ananindeua – PA
<http://lattes.cnpq.br/7734211201557548>

Larissa dos Santos Borges

Universidade Federal do Pará, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica
Ananindeua – PA
<http://lattes.cnpq.br/7459210958889959>

Silvio Bispo do Vale

Universidade Federal do Pará, Faculdade
de Engenharia de Energia
Ananindeua – PA
<http://lattes.cnpq.br/4884492375891611>

Luiz Claudio Fialho Andrade

Universidade Federal do Pará, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Belém – PA
<http://lattes.cnpq.br/3988224151528149>

Jerson Rogério Pinheiro Vaz

Universidade Federal do Pará, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica
Ananindeua – PA
<http://lattes.cnpq.br/1623983294183975>

RESUMO: Simulações termoenergéticas foram realizadas em uma edificação localizada em Belém-PA utilizando os softwares *SketchUp*, *OpenStudio*, *EnergyPlus* e *DView* para avaliar o comportamento térmico do espaço e determinar a representatividade (%) em que o ambiente se mantém dentro dos parâmetros estabelecidos pela Norma ISO 9241. Cinco arquivos climáticos diferentes foram utilizados para comparar o desempenho térmico do ambiente: TRY, IWEC, SWERA, INMET e TMY. Com base na análise da curva de duração, constatou-se que o arquivo climático TRY teve o melhor desempenho, pois a zona termal permaneceu dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma ISO 9241 por 2.960 horas, correspondendo a 33,8% do período anual.

PALAVRAS-CHAVE: Simulações. Arquivos

climáticos. Comportamento térmico.

STUDY OF DURATION CURVES FOR THERMAL AND STRUCTURAL BEHAVIOR EVALUATION USING DIFFERENT CLIMATE FILES FROM THE CITY OF BELÉM-PA

ABSTRACT: Thermoenergetic simulations were carried out in a building located in Belém-PA using SketchUp, OpenStudio, EnergyPlus and DView software to evaluate the thermal behavior of the space and determine the representativeness (%) in which the environment remains within the parameters established by ISO 9241 Standard Five different climate files were used to compare the thermal performance of the environment: TRY, IWEC, SWERA, INMET and TMY. Based on the analysis of the duration curve, it was found that the TRY climate file had the best performance, as the thermal zone remained within the parameters established by the ISO 9241 standard for 2.960 hours, corresponding to 33.8% of the annual period.

KEYWORDS: Simulations. Climate files. Thermal behavior.

1 | INTRODUÇÃO

O comportamento térmico de um edifício é uma questão crítica para a eficiência energética. É importante entender como o clima e outros fatores externos afetam o desempenho termoenergético de um edifício para que se possa tomar decisões informadas sobre como melhorar sua eficiência.

A análise do comportamento térmico em um edifício pode ser feita por meio de modelagem de simulação numérica, que permite a previsão do desempenho em diferentes condições climáticas.

Um dos métodos para avaliar o comportamento térmico é através do uso do gráfico de curva de duração. Este gráfico fornece uma visualização de como a temperatura interna do ar varia ao longo do tempo, permitindo uma análise aprofundada das condições climáticas e da eficiência termoenergética.

O objetivo deste artigo é avaliar o comportamento térmico do ar em uma edificação por meio da análise da curva de duração utilizando os *softwares SketchUp, OpenStudio, EnergyPlus e DView*. Além disso, serão avaliados os impactos de diferentes arquivos climáticos na análise, os resultados são comparados com os parâmetros da norma reguladora ISO 9241 (2011).

Ao compreender o comportamento térmico do ar de um edifício por meio da curva de duração, pode-se tomar decisões precisas sobre como gerenciar a energia de maneira mais eficiente e sustentável. Ao utilizar os *softwares* de simulação termoenergética pode-se ter uma visão clara e precisa sobre como melhorar a eficiência termoenergética de um ambiente.

Ao utilizar arquivos climáticos diferentes, pode-se analisar como as condições climáticas afetam o comportamento térmico do ar em um edifício. *e.g.* se uma edificação for

simulada com dados climáticos de uma região com clima quente e úmido, pode-se prever como o comportamento térmico deste ambiente seria diferente em uma região com clima frio e seco. Isso permite avaliar as opções de gerenciamento de energia mais eficientes para diferentes condições climáticas e determinar qual é a melhor solução para cada situação.

Em resumo, a análise do comportamento térmico de um ambiente estrutural utilizando arquivos climáticos diferentes via *softwares* de simulação termoenergética se torna uma ferramenta necessária para avaliar a eficiência térmica de um ambiente, baseando-se em normas regulamentadoras.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Frota e Schiffer (2003), o conforto térmico é a sensação que o corpo humano experimenta ao descarregar calor produzido pelo metabolismo sem precisar usar mecanismos de regulação térmica. Bittencourt e Cândido (2008) afirmam que conforto térmico é a condição de bem-estar psicológico quanto às condições térmicas de um ambiente que mantém a estabilidade corporal. A norma americana ASHRAE 55 (2004) define conforto térmico como a situação em que uma pessoa está satisfeita com seu entorno. Alguns autores também usam o termo conforto higrotérmico, mas a literatura mais recente refere-se ao conforto térmico. A ASHRAE 55 (2004) estabelece que, para se ter conforto térmico, pelo menos 80% dos ocupantes devem expressar satisfação com as condições térmicas.

Akutsu, Sato e Pedroso (1987) enfatizam que a satisfação com o ambiente térmico é uma resposta que depende de diversos fatores, incluindo condições ambientais (temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação) e pessoais (vestimenta e atividade). Romero (2013) ressalta a importância de compreender como as variáveis ambientais afetam a percepção térmica humana. Para garantir o equilíbrio entre o homem e seu meio ambiente, segundo Rivero (1986), é preciso garantir o conforto térmico em qualquer ambiente, seja interno ou externo.

Diante da necessidade de definir os parâmetros de conforto térmico, foram realizados inúmeros estudos bioclimáticos para equacionar a satisfação humana quanto às variáveis climáticas.

2.1 Norma regulamentadora ISO 9241 (2011)

A norma recomenda que as temperaturas do ambiente sejam mantidas dentro de certos limites para garantir o conforto dos usuários, sendo eles: a temperatura ideal, no verão entre 20 °C e 24 °C e no inverno entre 23 °C e 26 °C, com umidade relativa do ar entre 40% e 80%.

2.2 Arquivos climáticos

São conjuntos de dados que descrevem as condições climáticas de uma determinada

área, incluindo informações sobre temperatura, umidade, velocidade do ar, precipitação e outros fatores. Nesta pesquisa foram utilizados os seguintes arquivos climáticos da cidade de Belém-PA: *International Weather for Energy Calculations* (IWECC), *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), *Test Reference Year* (TRY) e *Typical Meteorological Year* (TMY).

2.3 Softwares de simulação termoenergética

São programas que simulam as condições climáticas e as cargas térmicas em edifícios e outros tipos de estruturas. Nesta pesquisa foram utilizadas as seguintes ferramentas computacionais: O *software* de modelagem 3D *SketchUp* (Figura 1) foi utilizado para modelar o ambiente, enquanto o *plug-in OpenStudio* (Figura 2) serviu como conexão entre as diferentes ferramentas de *software*. O *EnergyPlus* (Figura 3) foi utilizado para as simulações térmicas, e os resultados foram visualizados por meio do *DView* (Figura 4), que forneceu os gráficos que serão apresentados na seção de resultados e discussões.

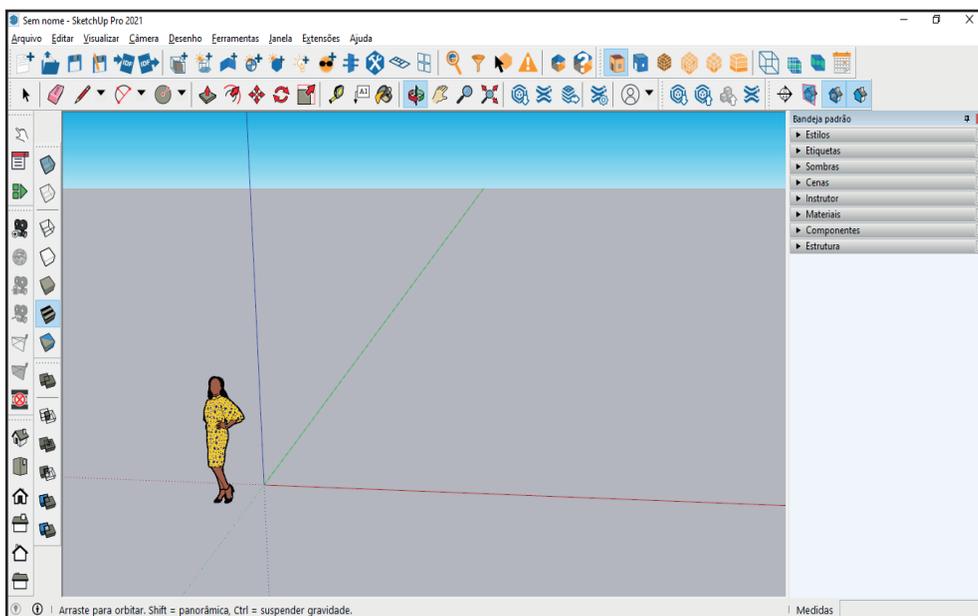


Figura 1. Interface do *software SketchUp*. Fonte: Autores, (2023).

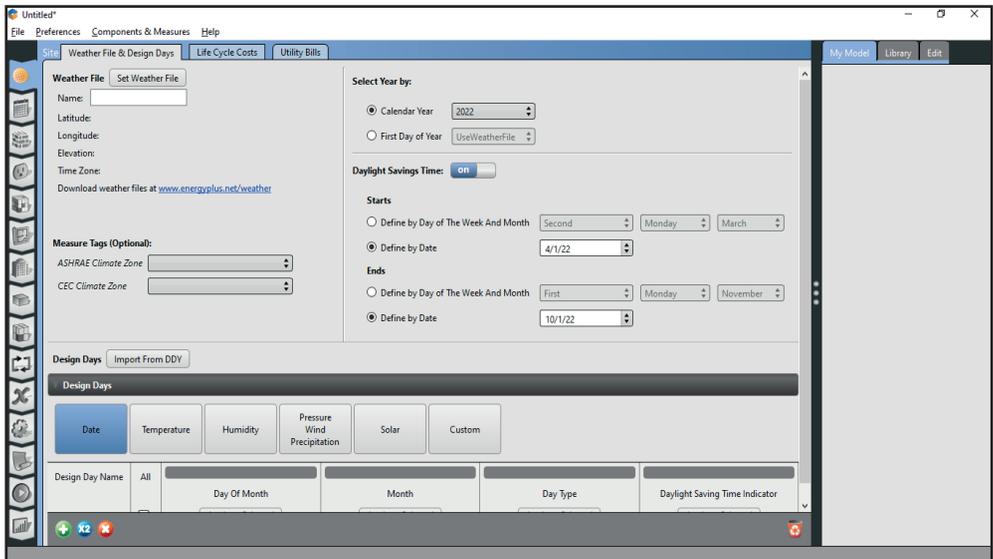


Figura 2. Interface do software *OpenStudio*. Fonte: Autores, (2023).

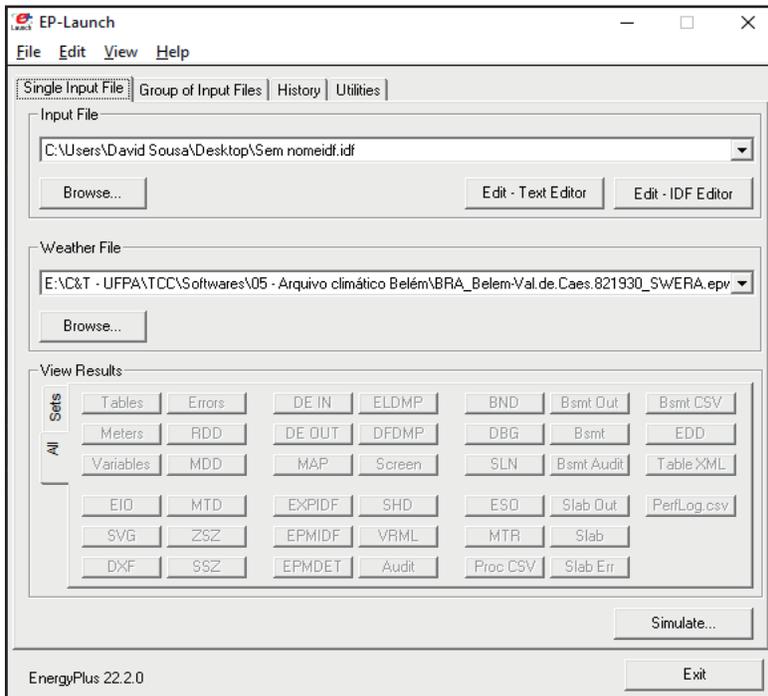


Figura 3. Interface do software *EnergyPlus*. Fonte: Autores, (2023).

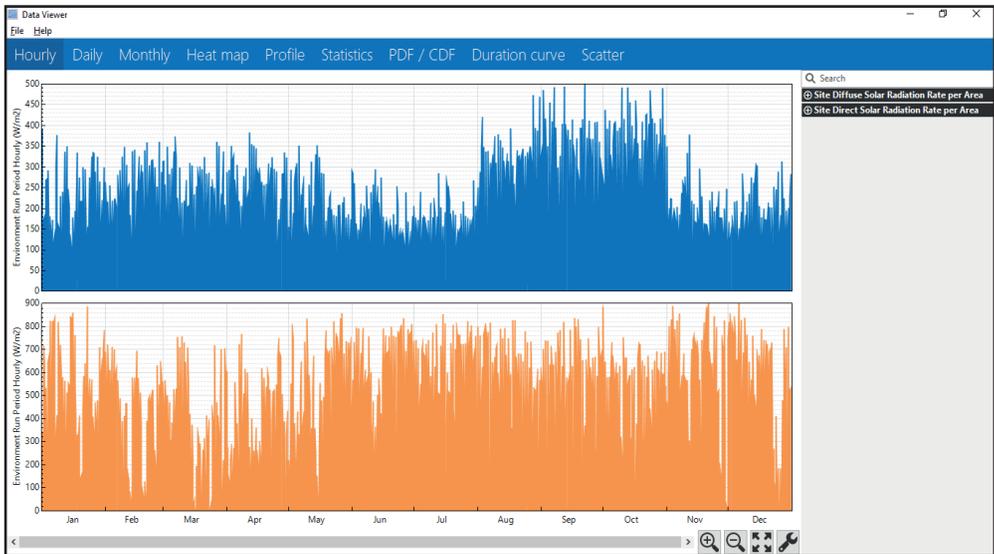


Figura 4. Interface do *software DView*. Fonte: Autores, (2023).

3 | CARACTERIZAÇÃO DO TERRITÓRIO

Belém-PA é a capital do estado brasileiro do Pará, situada na região Norte do país. A caracterização do território é uma etapa fundamental para compreender o desempenho térmico de ambientes. Isso ocorre porque a localização geográfica, o clima e outros fatores ambientais podem ter um grande impacto na temperatura, umidade e outros aspectos do ambiente.

A Tabela 1 caracteriza as informações da Cidade de Belém-PA.

POPULAÇÃO	
População estimada	1.506.420 [2021]
População no último censo	1.393.399 [2010]
Densidade demográfica	1.315,26 habitantes/km ² [2010]
MEIO AMBIENTE	
Área urbanizada	147,35 km ² [2019]
Esgotamento adequado	67,9 % [2010]
Arborização de vias públicas	22,3 % [2010]
TERRITÓRIO	
Área territorial	1.059,466 km ² [2021]

Tabela 1. Dados da cidade de Belém-PA. Fonte: IBGE – Cidades e Estados, (2023).

A Tabela 2 caracteriza a localização geográfica da Cidade de Belém-PA.

Município	Localização Geográfica		Altitude (m)
	Latitude sul	Longitude W-Gr	
Belém	01°27'20"	48°30'15"	22

Tabela 2 – Localização geográfica da cidade de Belém-PA. Fonte: CODEM, (2011).

A Figura 5 mostra o mapa da Região Metropolitana de Belém.

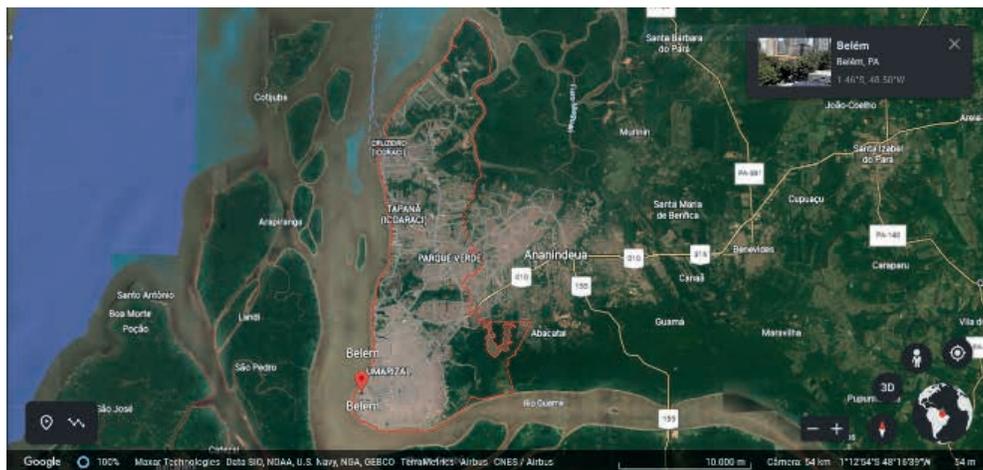


Figura 5. Região metropolitana de Belém-PA. Fonte: Google Earth, (2023).

O Mapa de Zoneamento Bioclimático é uma ferramenta que divide o território brasileiro em zonas bioclimáticas, levando em consideração características climáticas e geográficas, como temperatura, umidade, altitude, latitude, entre outras. O objetivo do mapa é auxiliar na concepção de projetos de arquitetura e urbanismo mais adequados ao clima e condições ambientais de cada região.

O mapa é uma importante ferramenta para orientar o desenvolvimento de projetos arquitetônicos e urbanísticos mais eficientes e sustentáveis, que considerem as condições climáticas de cada região do país. Com isso, é possível proporcionar mais conforto térmico e melhor qualidade de vida aos usuários dos espaços construídos, além de reduzir o consumo de energia e minimizar os impactos ambientais.

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas, conforme indicado na Figura 6.

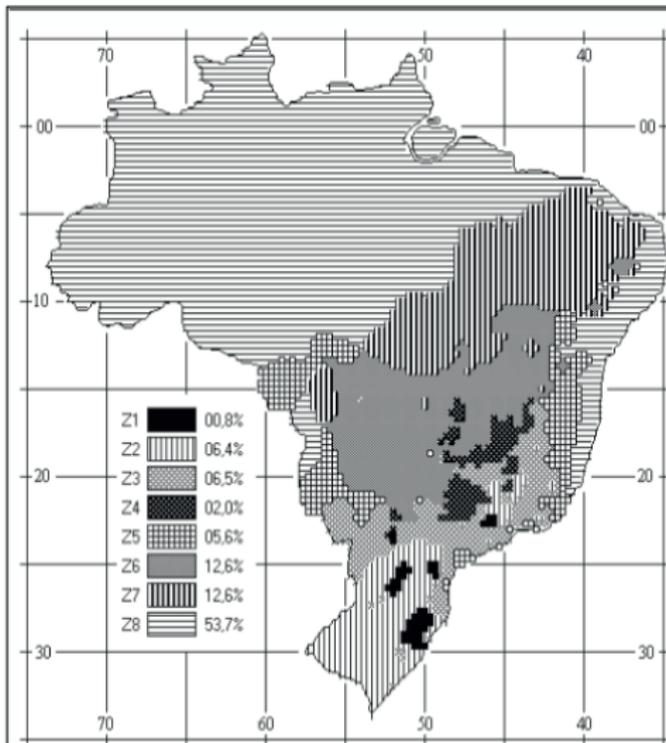


Figura 6. Zoneamento bioclimático brasileiro. Fonte: NBR 15220-3, (2005).

4 | MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se simulações numéricas utilizando os *softwares SketchUp* (v21.0.391), *OpenStudio* (v3.5.1), *EnergyPlus* (v22.2.0) e *DView* (v1.2.0) juntamente dos arquivos: IWEC, SWERA, INMET, TRY e TMY da cidade de Belém-PA para analisar o comportamento térmico do ar em um edifício por meio da análise da curva de duração, com isso, exibir a representatividade (%) em que o ambiente estrutural fica dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma ISO 9241 (2011), avaliado a diferença de resultados com o uso de diferentes arquivos climáticos utilizados. Por fim, é mostrado um gráfico com a média dos resultados dos arquivos climáticos gerando um mapa de calor, mostrando os pontos quentes e frios dentro do edifício.

A partir do *software SketchUp*, foi modelado um ambiente em 3D (Figura 7). Os materiais utilizados na construção foram aplicados a partir do *OpenStudio*, e a simulação realizada por meio do *EnergyPlus*. Os resultados foram apresentados em forma de gráficos através do *DView*.

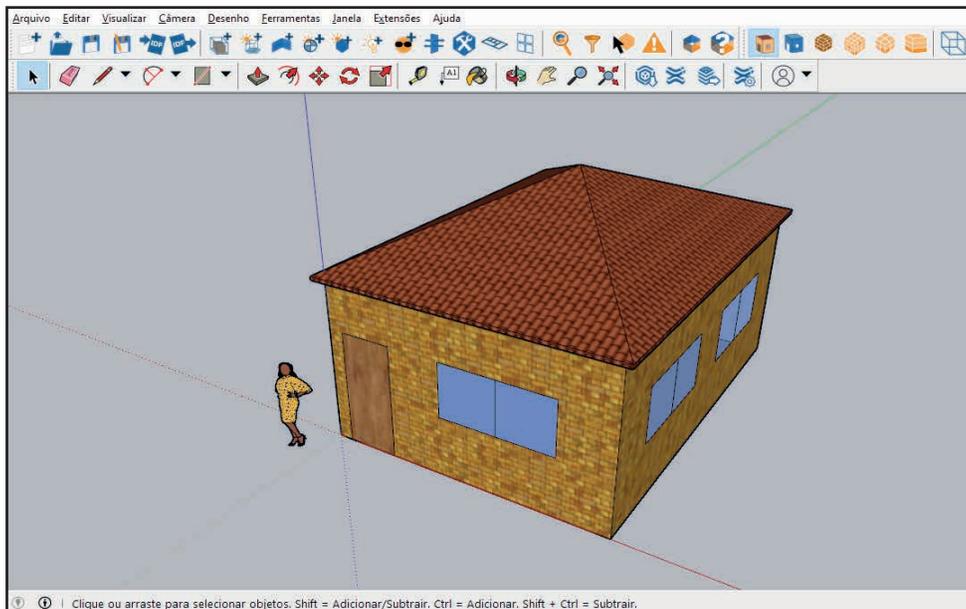


Figura 7. Edifício básico modelado no *software SketchUp*. Fonte: Autores, (2023).

As dimensões do edifício simulado são: 7 m de comprimento, 5 m de largura e 3 m de altura, com uma área total de 35 m².

Os materiais construtivos do edifício e suas propriedades térmicas são mostrados na Tabela 3.

Material	Espessura (m)	Condutividade (W/mK)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kgK)
Piso cerâmico	0,010	0,90	1600	920
Argamassa	0,015	1,15	1600	1000
Reboco	0,025	1,15	1800	1000
Telha cerâmica	0,020	0,70	1000	920
Porta (madeira)	0,030	0,15	614	2300
Janela (vidro)	0,003	0,90	-	-
Bloco cerâmico	0,096	0,90	1764	920

Tabela 3. Propriedades térmicas dos materiais. Fonte: ABNT NBR 15220-2, (2003).

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Arquivo climático IWEC: o resultado apresentado na Figura 8 indica que a zona térmica do edifício em questão está fora dos parâmetros de conforto térmico na maior parte do ano, representando 74,5% do período anual. Isso significa que, durante 6.500 horas, a temperatura está acima de 26 °C e 30 horas abaixo de 24 °C, o que pode tornar o ambiente

desconfortável para os ocupantes.

Por outro lado, a figura também mostra que a zona térmica do edifício está dentro dos parâmetros de conforto térmico durante 2.230 horas, o que representa 25,5% do período anual. Isso significa que há momentos em que a temperatura está dentro do intervalo desejado para o conforto dos ocupantes.

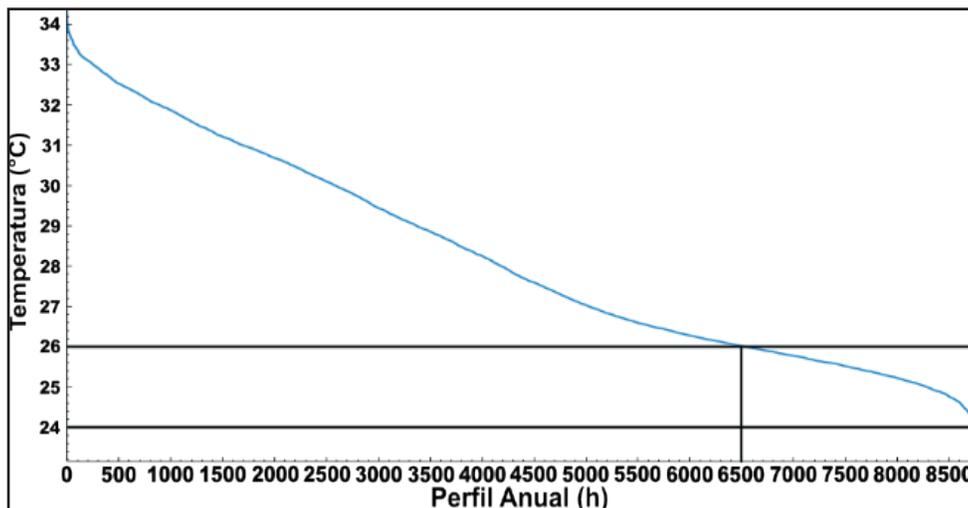


Figura 8. Perfil anual da curva de duração (IWEC). Fonte: Autores, (2022).

Arquivo climático SWERA: O resultado apresentado na Figura 9 indica que a zona térmica do edifício em questão apresenta um grande desafio para o conforto térmico dos ocupantes, uma vez que a temperatura está acima dos parâmetros de conforto térmico durante a maior parte do ano, representando 81% do período anual, ou seja, durante 7.100 horas. Demonstrando que a maioria dos ocupantes pode experimentar desconforto térmico, afetando negativamente a produtividade, o bem-estar e a saúde dos ocupantes.

Além disso, a figura mostra que a zona térmica do edifício está dentro dos parâmetros de conforto térmico apenas durante 1.660 horas, representando 19% do período anual. Esse período é relativamente curto, o que pode ser insuficiente para garantir um ambiente confortável para os ocupantes.

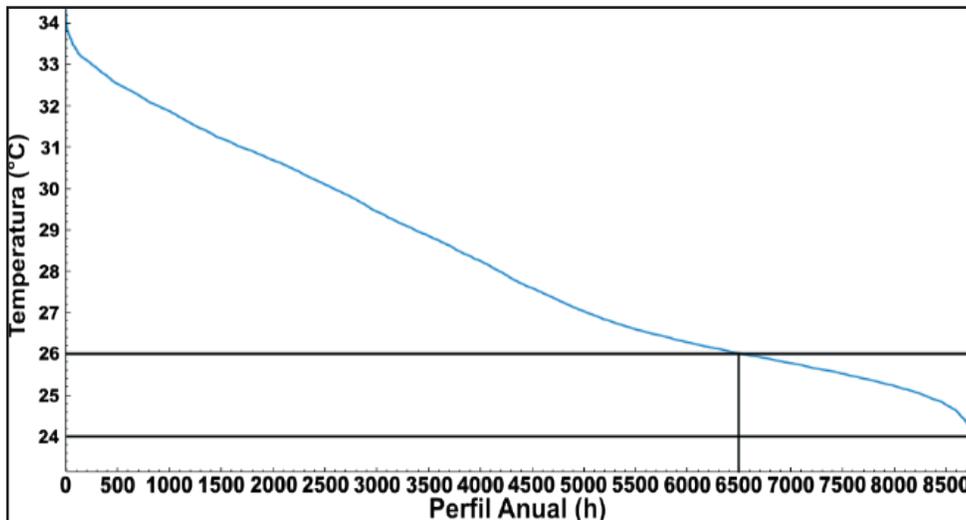


Figura 9. Perfil anual da curva de duração (SWERA). Fonte: Autores, (2022).

Arquivo climático INMET: O resultado apresentado na Figura 10 é semelhante ao apresentado na Figura 8, mostrando que a zona térmica do edifício está fora dos parâmetros de conforto térmico durante 6.600 horas, pois a temperatura está acima de 26 °C e 30 horas abaixo de 24 °C, o que representa 75,6% do período anual.

Esses dados indicam que o ambiente pode ser desconfortável para os ocupantes e isso pode afetar negativamente sua produtividade, bem-estar e saúde.

Além disso, a figura mostra que a zona térmica do edifício está dentro dos parâmetros de conforto térmico durante 2.130 horas, representando 24,4% do período anual. Embora seja relativamente baixo, esse valor é importante e deve ser valorizado, pois representa oportunidades para que os ocupantes se sintam confortáveis durante o ano.

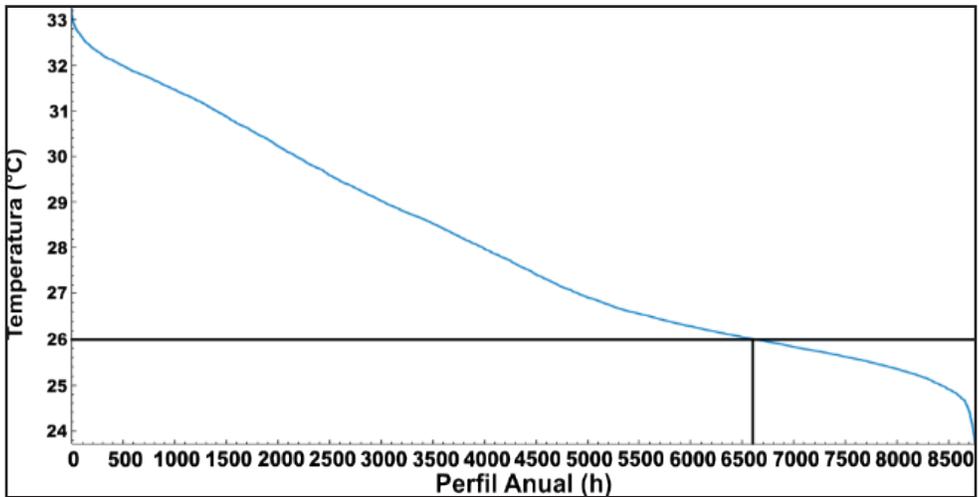


Figura 10. Perfil anual da curva de duração (INMET). Fonte: Autores, (2022).

Arquivo climático TRY: a Figura 11 indica que houve uma melhora significativa no conforto térmico da zona em comparação com os resultados dos demais arquivos climáticos apresentados. Durante 2.960 horas, a temperatura está dentro dos parâmetros de conforto térmico, representando 33,8% do período anual. Esse valor é o mais alto encontrado em todo o estudo, o que é um resultado positivo.

Embora a maioria do período ainda esteja fora dos parâmetros de conforto térmico, com a temperatura acima de 26 °C por 5.800 horas, o fato de a zona estar dentro dos parâmetros de conforto térmico por quase um terço do ano é um avanço significativo. Isso significa que os ocupantes terão mais oportunidades para trabalhar e viver em um ambiente confortável.

Além disso, é importante notar que as horas fora dos parâmetros de conforto térmico, representando 66,2% do período anual, ainda são consideravelmente altas, o que indica que ainda há espaço para melhorias no projeto e na operação do edifício.

Portanto, é importante que medidas adicionais sejam adotadas para melhorar o conforto térmico da zona, como a implementação de sistemas de ventilação e ar-condicionado mais eficientes, uso de materiais de construção com propriedades térmicas isolantes e consideração da orientação do edifício e uso de elementos de sombreamento adequados.

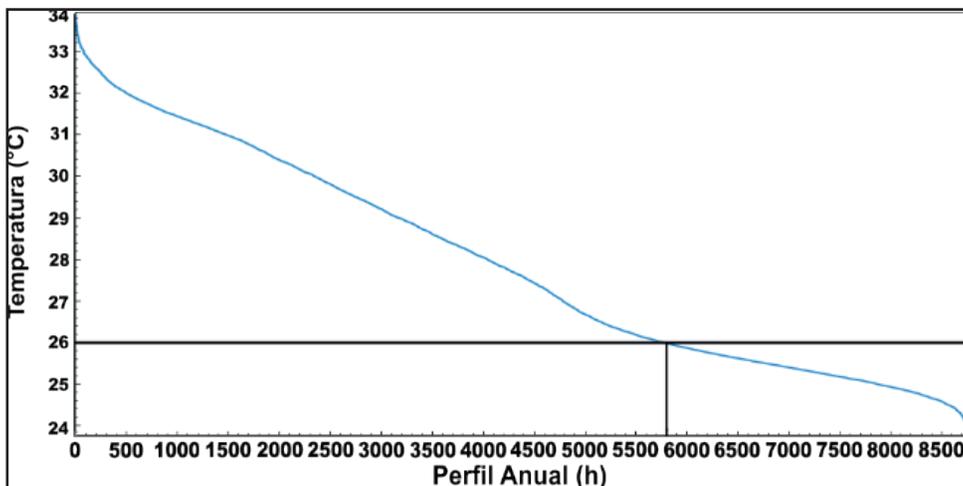


Figura 11. Perfil anual da curva de duração (TRY). Fonte: Autores, (2022).

Arquivo climático TMY: a Figura 12 indica que a zona térmica do edifício apresenta sua temperatura fora dos parâmetros de conforto térmico durante 85,1% do período anual. Durante 7.400 horas, a temperatura está acima de 26 °C e 60 horas abaixo de 24 °C. A figura também mostra que a zona térmica do edifício está dentro dos parâmetros de conforto térmico durante 1.300 horas, representando 14,9% do período anual. Embora esse valor seja relativamente baixo, ele representa oportunidades para que os ocupantes se sintam confortáveis durante o ano.

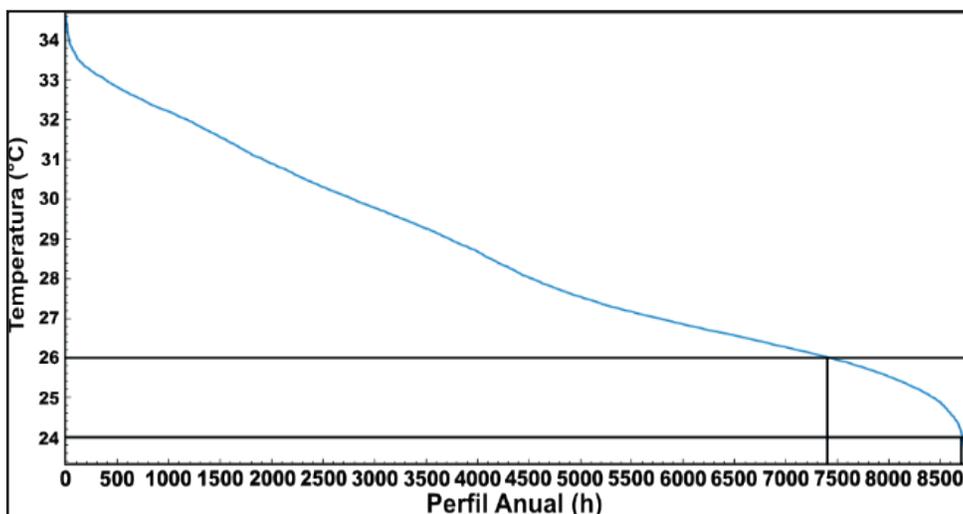


Figura 12. Perfil anual da curva de duração (TMY). Fonte: Autores, (2022).

A Tabela 4 exhibe o resumo dos resultados das curvas de duração.

CURVAS DE DURAÇÃO		
Arquivo climático	Dentro dos parâmetros (ISO 9241)	Fora dos parâmetros (ISO 9241)
IWEC	25,5%	74,5%
SWERA	19,0%	81,0%
INMET	24,4%	75,6%
TRY	33,8%	66,2%
TMY	14,9%	85,1%

Tabela 4. Curvas de duração (resumo). Fonte: Autores, (2023).

Através da análise das curvas de duração da temperatura na zona térmica do edifício, pode-se observar que o desempenho mais satisfatório em termos de conforto térmico foi registrado utilizando o arquivo climático TRY. Durante 2.960 horas, a temperatura permaneceu dentro dos parâmetros definidos pela norma ISO 9241, o que equivale a 33,8% do período anual. Esse é um resultado positivo, indicando que a escolha do arquivo climático pode ter um grande impacto no conforto térmico de um edifício.

Embora a zona ainda tenha ficado fora dos parâmetros de conforto térmico por 66,2% do período anual, o resultado obtido com o arquivo climático TRY é o mais alto encontrado em todo o estudo. Isso indica que a seleção cuidadosa do arquivo climático pode ser um fator crítico para garantir um ambiente confortável para os ocupantes do edifício.

É importante ressaltar que, apesar do bom desempenho observado no arquivo climático TRY, ainda há espaço para melhorias na busca de soluções mais eficientes para garantir o conforto térmico da zona. Isso pode incluir a implementação de estratégias passivas, como o uso de sombreamento adequado e o emprego de materiais de construção com propriedades térmicas isolantes, além do uso de sistemas de ventilação e ar-condicionado mais eficientes.

Por fim, a escolha do arquivo climático é um fator crítico para garantir o conforto térmico de um edifício, e a seleção cuidadosa do arquivo pode ter um grande impacto na satisfação dos ocupantes.

6 | CONCLUSÃO

Pode-se afirmar que a análise da curva de duração é uma técnica de grande importância em estudos relacionados à eficiência energética e conforto térmico em edificações. Os resultados obtidos indicam que a utilização do arquivo climático TRY proporcionou um desempenho superior em termos de conforto térmico em comparação a outros arquivos climáticos analisados, com a zona permanecendo dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma ISO 9241 por 2.960 horas ao longo do período anual, o que representa 33,8% do tempo.

É fundamental destacar que a norma ISO 9241 estabelece parâmetros para o

conforto térmico em ambientes, considerando fatores como temperatura, umidade e velocidade do ar. Assim, o fato de a zona ter permanecido dentro desses parâmetros por um tempo significativo indica que o ambiente oferece condições adequadas para a realização de atividades.

REFERÊNCIAS

AKUTSU, M. SATO, N. M. PEDROSO, N. G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais escolares: manual de procedimentos para avaliação, ITP, Divisão de Edificações**, São Paulo, 1987.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 55**. Thermal Environment Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, Atlanta, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. ABNT NBR 15220-3. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. ABNT NBR 15220-2. Rio de Janeiro. 2003.

BITTENCOURT, L., CÂNDIDO, C. **Introdução a Ventilação Natural**. EDUFAL: Maceió, 2008.

CODEM - Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (2011). **Caracterização do Território**. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/1_01_Caracterizacao%20do%20Territorio.pdf. Acesso em: 08 fev. 2023.

DVIEW v1.2.0. **[Software]**. Disponível em: <https://github.com/NREL/wex/releases/tag/v1.2.0>. Acesso em: 08 fev. 2023.

ENERGYPLUS v22.2.0. **[Software]**. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 08 fev. 2023.

ENERGYPLUSTM. **Arquivos Climáticos**: International Weather for Energy Calculations (IWEC), Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA). Disponível em: https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA. Acesso em: 30 jan. 2023.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, R. S. **Manual de Conforto Térmico**. Ed. Studio Nobel, 7a ed., São Paulo, 2003.

GOOGLE EARTH - **Região metropolitana de Belém-PA**. Disponível em: https://earth.google.com/web/search/Bel%c3%a9m,+PA/@-1.38256748,-48.42298292,16.12403255a,72159.54322787d,35.00000329y,0h,0t,0r/data=CnUaSxJFCiUweDkyYTQ2MWmODQ3NTZjZTE6MHg1NzBkNTQwMjE1ODY0YzM1GSMl_IYuTfe_IT1CzZAqQ EjaKgpCZWzDqW0sIFBBGAlgASlmCiQJF9VSN7Bt9b8RXpInkrZx9b8ZoiMXSQEYsMAhZkQINSYySMA. Acesso em: 07 fev. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Ergonomics - Determination of metabolic heat production, **ISO 9241**. Genebra, 2011.

LAWRIE, L, K; DRURY, B, C. **Arquivos Climáticos**: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Test Reference Year (TRY), Typical Meteorological Year (TMY). Disponível em: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html#IDPA_Para-. Acesso em: 30 jan. 2023.

OPENSTUDIO v3.5.1. **[Software]**. Disponível em: <https://openstudio.net/>. Acesso em: 08 fev. 2023.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 2ª edição, D. C. Luzzatto Editores, Porto Alegre, 1986.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. SciELO-Editora UnB, 2013.

SKETCHUP PRO 2021 v21.0.391. **[Software]**. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>. Acesso em: 08 fev. 2023.

TRABALHO DE CAMPO COMO PRÁTICA DE ENSINO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS: O EXEMPLO DA ILHA ANCHIETA, UBATUBA/SP

Data de aceite: 01/09/2023

Rodrigo Artur Perino Salvetti

Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio (CEUNSP)

Valéria Leite Aranha

Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio (CEUNSP)

Rita de Cassia Frenedo

Universidade Cruzeiro do Sul

Natália Lavínia Andreello de Souza

Universidade de Santo Amaro (UNISA)

RESUMO: Este trabalho apresenta as considerações sobre uma prática de campo realizada com estudantes do curso de Ciências Biológicas na Ilha Anchieta, região de Ubatuba/SP. O trabalho de campo consistiu em observação, descrição e interpretação da sucessão ecológica e das feições geomorfológicas e geológicas presentes ao longo das trilhas oficiais existentes na Ilha, além de sua evolução histórica. Dada a interdisciplinaridade da atividade desenvolvida, os alunos tiveram acesso a uma grande quantidade de informações, em situação e condições que não seriam possíveis de serem atingidas em sala de aula, significando

substancialmente o ensino-aprendizagem dos temas discutidos.

PALAVRAS-CHAVE: Trabalho de campo. Ensino de Biologia. Ensino de Geociências. Ilha Anchieta.

ABSTRACT: This paper presents the considerations about a field practice carried out with students of the Biological Sciences course in Anchieta Island, region of Ubatuba/SP. The fieldwork consisted of observation, description and interpretation of the ecological succession and the geomorphological and geological features present along the official trails existing on the Island, in addition to its historical evolution. Given the interdisciplinarity of the activity developed, the students had access to a large amount of information, in a situation and conditions that would not be possible to be reached in the classroom, substantially meaning the teaching-learning of the topics discussed.

KEYWORDS: Fieldwork. Biology teaching. Teaching of Geosciences. Anchieta Island.

INTRODUÇÃO

O ensino atualmente praticado já não é mais o mesmo de outrora. Nas

últimas décadas, muitas discussões sobre como organizar o fazer pedagógico, de forma a torná-lo mais significativo aos alunos, tem norteado as pesquisas na área educacional e provocado reflexões sobre a prática docente (BELIZARIO, 2020). Nesse sentido, cresce a busca por metodologias ativas e práticas de ensino que promovam a interdisciplinaridade e o desenvolvimento do pensamento crítico ao estudante, aumentando seu protagonismo, seu interesse e seu envolvimento com a disciplina estudada.

Uma prática comumente utilizada nos cursos de Ciências Biológicas, e nas Ciências Naturais em geral, é o trabalho de campo. Os trabalhos de campo são aquelas atividades que envolvem o deslocamento dos alunos para um ambiente não formal e alheio aos espaços de estudos contidos na escola (FERNANDES, 2007; SALVETTI e FRENEDOZO, 2022). Esse tipo de atividade é adotado tanto no ensino superior quanto na educação básica, sendo utilizado como prática na produção ou reprodução de conhecimentos por professores, pois possibilitam a observação e contato direto com elementos da paisagem e processos que ocorrem no espaço geográfico (SALVETTI e FRENEDOZO, 2022), favorecendo a compreensão de fenômenos naturais (SANTOS & JACOBI, 2011) pela interação do estudante com situações reais que estimulam sua curiosidade e sentidos (VIVEIRO e DINIZ, 2009, SCHRADER e FRENEDOZO, 2015) e desenvolvendo um processo criativo relevante para a formação do estudante (CARNEIRO et al., 1993).

Os trabalhos de campo como atividades de ensino-aprendizagem podem proporcionar aos alunos a motivação de descobrir e aprender os conteúdos curriculares a partir da avaliação de um espaço natural existente ou de sua própria realidade, externo ao ambiente escolar formal (GRANDI e MOTOKANE, 2012; SCHRADER e FRENEDOZO, 2015). A aplicação de trabalhos de campo possibilita o ensino das temáticas físico-naturais e ambientais, por muitas vezes muito difíceis de serem exploradas em sala de aula, tanto pela limitação do livro didático quanto pela acomodação e a fragilidade teórica docente (BELIZARIO, 2020).

Entendendo o trabalho de campo como uma metodologia ativa aplicada em um espaço não-formal de ensino, a atuação do professor torna-se essencial nesse processo, pois com sua abordagem possibilita aos alunos exercitarem sua autonomia, dando importância a atuação deles na construção dos seus próprios conhecimentos, valorizando suas expectativas e seus conhecimento prévios (SANTOS e JACOBI, 2011; SCHRADER e FRENEDOZO, 2015; BELIZARIO, 2020). Além disso, contribui para o desenvolvimento do pensamento crítico, pois faz com que os alunos exerçam a sua capacidade de posicionar-se, de elaborar e aplicar projetos, de trabalhar em grupo de maneira interativa e produtiva, além de relacionar o que se está aprendendo, o que se sabe e a prática (BARBOZA e RODRIGUES, 2016; BELIZARIO, 2020).

Com isso em vista, o presente trabalho relata uma prática de campo realizada com estudantes do curso de Ciências Biológicas para estudo de conceitos relacionados a ecologia, geologia, dinâmica costeira e impactos ambientais de uma área litorânea

localizada no município de Ubatuba/SP.

TRABALHOS DE CAMPO

Trabalho de campo é toda atividade realizada externamente ao ambiente formal escolar, e que proporciona ao estudante o contato com múltiplas realidades (GRANDI e MOTOKANE, 2012). Tradicionalmente, os trabalhos de campo são aplicados nas disciplinas que desenvolvem estudos do meio (natural ou artificial), e se concretiza pela imersão orientada pelo professor do estudante na complexidade de um determinado espaço geográfico (LOPES e PONTUSCHKA, 2009), permitindo o estabelecimento de um diálogo inteligente com o mundo e a produção de conhecimento científico (GRANDI e MOTOKANE, 2012).

Durante uma atividade de campo, os alunos são convidados a explorar, por si próprios, a realidade do meio em que estão inseridos, analisando os fenômenos (naturais, ecológicos, sociais, urbanos etc.) que ocorrem no mundo real, e a comparar essas informações com os conceitos obtidos em sala de aula ou na literatura, alicerçando a consolidação do conhecimento e a aculturação científica.

Nesse sentido, os trabalhos de campo se tornam um exemplo interessante de metodologia ativa de prática de ensino desenvolvida em um espaço não-formal de aprendizagem, que prima pela atividade tanto do professor quanto do aluno. As metodologias ativas diferem da “Pedagogia Tradicional” ao dar mais ênfase ao aluno em detrimento do professor, fazendo com que o professor deixe simplesmente de transmitir os conteúdos (prontos e acabados) e passe a “dirigir, estimular e orientar as condições externas e internas do ensino, de modo que, pela atividade dos alunos os conhecimentos e habilidades façam progredir seu desenvolvimento mental” (LIBÂNEO, 2013, p. 113). Fundamentam as metodologias ativas: a aprendizagem significativa, a interação do aluno com o outro (professor e demais alunos) e com o objeto de conhecimento, a valorização da experiência do indivíduo e a autonomia do sujeito (DIESEL, BALDEZ e MARTINS, 2017).

Ao entrarmos em contato com o mundo real, as possibilidades de apreensão dos conhecimentos científicos se ampliam. COMPIANI (2007, p. 35) deixa claro que “em relação ao ensino [das Ciências Naturais], o campo – a natureza – significa o contato com objetos, fenômenos concretos, ambiente, ou seja, o contexto a partir do qual se criam situações e estratégias de aprendizagem”. Assim, a partir do contato direto com os fenômenos reais que compõem o meio natural, podemos programar atividades que explicitem o processo de formação desses fenômenos, permitindo a melhor compreensão da relação do ser humano com a natureza (COMPIANI, 1990) e das ações do Homem na construção das paisagens (MUNHOZ, 2013), contribuindo para que os alunos percebam sua real participação no mundo.

Desta forma, o conhecimento científico adquirido pelas práticas de campo

passa a se relacionar diretamente à atuação da sociedade na natureza, uma vez que a compreensão da ciência por todos permite que o sujeito perceba sua participação real no mundo (COMPIANI; 1990; BONITO, 1999; GRANDI e MOTOKANE, 2012; MUNHOZ, 2013; LEMOS, 2021).

Além disso, é inegável que as práticas de campo despertam nos estudantes a curiosidade, pois o simples fato de estarem fora do ambiente formal escolar já é considerado um incentivo para que eles participem ativamente da atividade proposta.

Exatamente por isso, as atividades de estudos do meio possuem, pois, papéis didáticos importantíssimos (LOPES e PONTUSCHKA, 2009; LEMOS, 2021), e devem ser pautadas nas “funções que determinada atividade assume dentro do processo de ensino-aprendizagem, decididas de maneira deliberada ou não, que exercem algum significado para o alcance de objetivos didáticos” (COMPIANI e CARNEIRO, 1993, p. 90). Desse modo, as atividades não devem se resumir a deixar, momentaneamente, o espaço formal de aprendizagem, a sala de aula, e se transformar num mero passeio pelo espaço informal, mas precisam ter um significado para o aprendizado do aluno de modo a contribuir com suas leituras de mundo e de sua formação como cidadão crítico (MUNHOZ, 2013).

Torna-se claro, portanto, que as práticas de campo devem ser bem planejadas e direcionadas, de modo a desenvolver nos alunos as habilidades e competências esperadas (CRUZ, 1997; LOPES e PONTUSCHKA, 2009; MUNHOZ, 2013; SILVA, FARIAS e LEITE, 2019). A seleção do lugar a ser visitado, a determinação dos objetivos a serem alcançados e questões a serem respondidas na pesquisa de campo, o planejamento, a execução e a avaliação da atividade, devem ser orientadas tanto pela “dialogicidade” quanto pelo despertar da “curiosidade epistemológica” de todos os membros da comunidade escolar envolvida (FREIRE, 2000). Ou seja, todas as etapas e ações que estruturam uma prática de campo devem ser mediadas pelos professores e realizadas na busca de acordos e contratos pedagógicos que têm, como ponto de partida e chegada, a realidade do espaço geográfico estudado (LOPES e PONTUSCHKA, 2009).

Posteriormente, é importante ainda avaliar as práticas aplicadas de modo a se determinar se os objetivos propostos com aquela atividade foram atingidos.

TRABALHO DE CAMPO NO PARQUE ESTADUAL DA ILHA ANCHIETA, UBATUBA/SP

Com o interesse de apresentar a alunos do curso superior de Ciências Biológicas, foi organizado um trabalho de campo no Parque Estadual da Ilha Anchieta, constituído por uma área insular de proteção ambiental administrada pelo Instituto Florestal do Governo do Estado de São Paulo, localizada em Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo (figura 1).



Figura 1. Localização do Parque Estadual da Ilha Anchieta.

Fonte: do autor.

A Ilha Anchieta localiza-se na parte interna da plataforma continental e é separada do continente por um estreito canal chamado “Boqueirão”, de 600 m de largura e 35 m de profundidade. Todo o Parque Estadual está inserido no Domínio da Floresta Atlântica e abriga remanescentes de Floresta Ombrófila Densa e de Restinga, de clima tropical úmido (CICCHI et al., 2009). Como resultado de fortes pressões antrópicas, a Ilha Anchieta compreende hoje um mosaico vegetacional composto por florestas em diferentes estágios de regeneração e formações campestres antrópicas (CICCHI et al., 2009), o que resultou em perda expressiva de sua biodiversidade original. Geologicamente, a ilha compõe os Domínios Costeiros (no conceito de HASUI et al., 1981), representado por terrenos metamórficos migmatíticos com granitização variada semelhante aos observados na área continental.

O Parque possui algumas trilhas pré-definidas, cujo percurso é realizado sob a orientação de guias do local. Para esta prática foram percorridas duas trilhas principais. A primeira parte da Praia do Presídio, localizada na face norte da Ilha (figura 2) e termina na Praia do Sul, na porção ocidental da Ilha. A segunda trilha parte da Praia do Sul e vai até a Praia das Palmas, passando pelo Cemitério dos Búlgaros (figura 2).

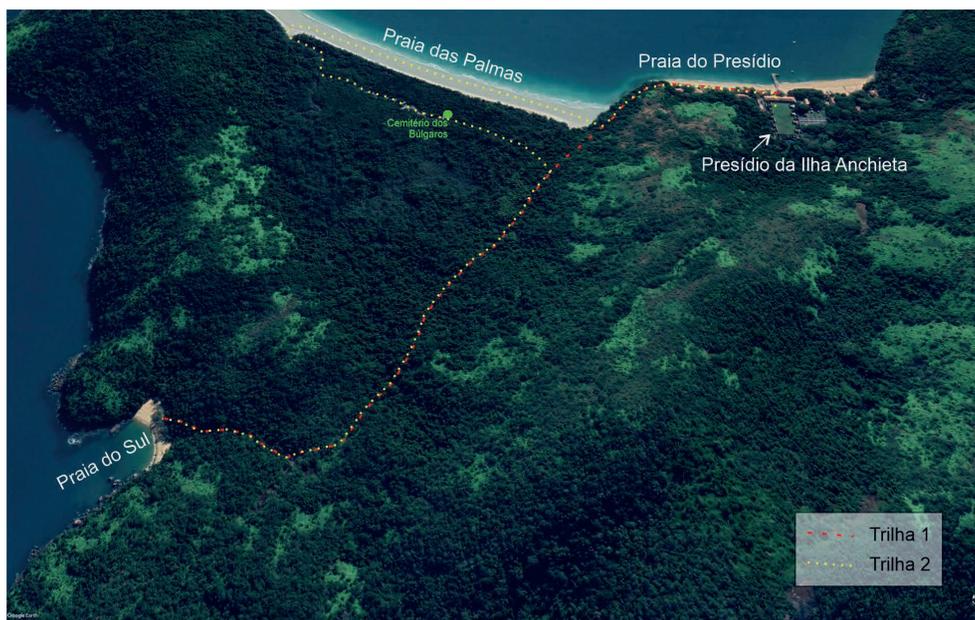


Figura 2. Trilhas realizadas durante os trabalhos de campo na Ilha Anchieta.

Fonte: do autor.

Como a Ilha foi fortemente afetada pela ação antrópica ao longo do século XX, sobretudo devido ao funcionamento do presídio, a vegetação da ilha apresenta reduzida diversidade florística (GUILLAUMON e FONTES,1992) e a fauna nativa foi praticamente eliminada, sendo boa parte das espécies ali presentes introduzidas em 1983 pelo Zoológico de São Paulo (GUILLAUMON et al. 1989), resultando em grave desequilíbrio ecológico.

Nesse contexto ecológico, os alunos puderam observar, ao longo das trilhas percorridas, a sucessão vegetal e identificar algumas espécies da flora e fauna existentes. Muitas das espécies vegetais identificadas foram consideradas exóticas para o local, pois não pertencem a mata nativa da Ilha ou mesmo à Mata Atlântica.

Na Praia do Sul, os alunos participaram de mergulhos guiados para observação da fauna presente no costão rochoso submerso (figura 3-1) e aéreo, além da faixa de areia da praia (figura 3-3). Nesse local foi possível observar, ainda, as características da dinâmica costeira e fluvial da região (figura 3-4).



Figura 3. Atividades realizadas na Praia do Sul, Ilha Anchieta. 1. Alunos participando de mergulho guiado para observação do costão rochoso submerso. 2. Crustáceo filtrador (*Chthamalus*) fixos nas rochas do costão rochoso. 3. Caranguejo (*Ocypode quadrata* - Maria-farinha ou Guaruçá) identificado na faixa de areia da Praia do Sul. 4. Canal fluvial desaguando na Praia do Sul.

Fonte: do autor.

A trilha 2, que corta a área de restinga próxima a Praia das Palmas, é toda construída sobre plataformas suspensas (figura 4-1), o que permite a visão detalhada da vegetação e dos animais presentes nesse trecho. Essa trilha (vide figura 2) passa pelo Cemitério dos Búlgaros (figura 4-2), importante registro arqueológico existente na Ilha.



Figura 4. Trecho da Trilha 2, sobre plataformas suspensa de madeira. 1. Alunos observam explicação do guia sobre a vegetação presente no local. 2. Vista geral do Cemitério dos Búlgaros.

Fonte: do autor.

O término da visita guiada se deu na área do Presídio da Ilha Anchieta (figura 5), local histórico que data do início do século XX e que foi utilizado como presídio político e de segurança máxima até seu fechamento, em 1955 (MEMORIAL DA RESISTÊNCIA, 2022).



Figura 5. Vista geral da área do Presídio da Ilha Anchieta.

Fonte: do autor.

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE

Ao término das atividades de campo os alunos foram convidados a dar sua opinião sobre a prática realizada. Através de um questionário tipo *likert*, onde os alunos indicavam se concordavam ou discordavam das afirmações propostas, foram apresentadas as seguintes afirmativas:

1. Você ficou satisfeito com o trabalho de campo realizado na disciplina.
2. A atividade de campo executada contribuiu para consolidar os conceitos teóricos trabalhados em sala de aula.
3. A aula de campo foi adequada e seguiu os roteiros propostos.

4. Aprendi novas técnicas de levantamento de dados durante a aula de campo.
5. Antes da aula de campo, não me considerava apto(a) para executar as tarefas solicitadas.
6. Após a aula de campo, me considero mais preparado para executar levantamentos de dados na prática.
7. Os professores e monitores que conduziram a aula de campo possuem conhecimento sobre os tópicos discutidos.
8. Atividades de campo são práticas importantes para a minha formação profissional?

As respostas obtidas estão sintetizadas na figura 6 a seguir.

Em termos gerais, é possível notar que a maioria dos alunos que responderam ao formulário concordam que a atividade de campo realizada foi importante para consolidar os conceitos e informações discutidos em sala de aula, e contribuir para a formação profissional desses estudantes. Adicionalmente, os alunos afirmaram que o trabalho de campo permitiu maior contato com o mundo real, possibilitando visualizar os conceitos trabalhados em sala de aula fora do ambiente escolar, considerado às vezes deveras controlado e maçante.

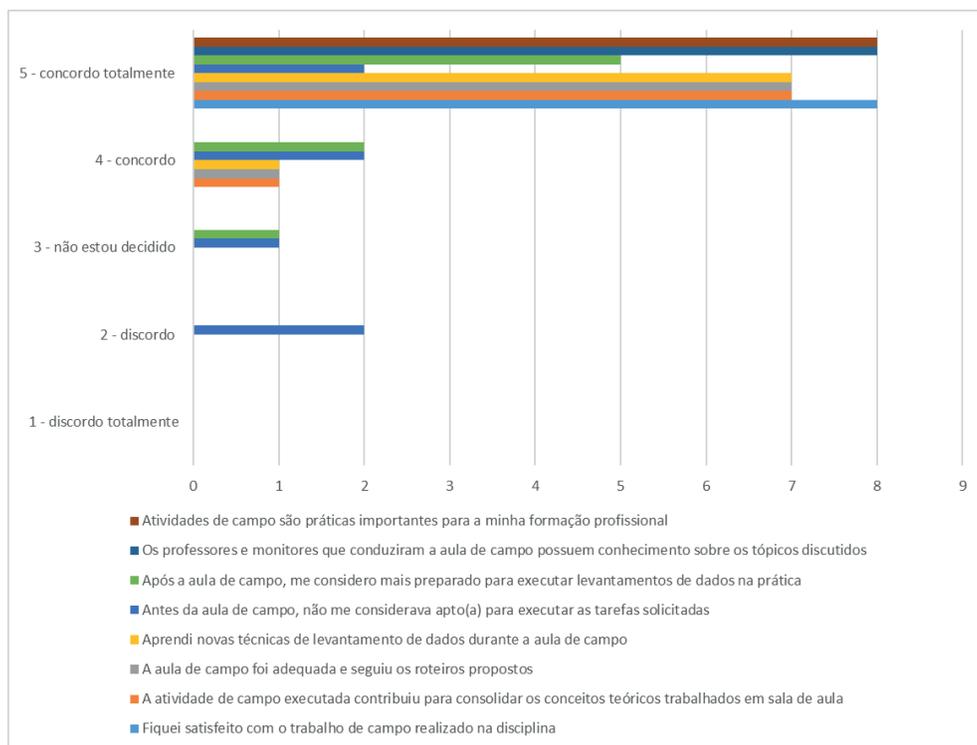


Figura 6. Respostas obtidas dos alunos sobre a prática efetuada.

Fonte: do autor.

Dada a interdisciplinaridade da prática efetuada, considera-se que a atividade desenvolvida permitiu aos alunos o acesso a uma grande quantidade de informações, em situação e condições que não seriam possíveis de serem atingidas em sala de aula, significando substancialmente o ensino-aprendizagem dos temas discutidos.

CONCLUSÃO

O emprego dos trabalhos de campo como metodologia ativa de ensino se mostra uma ferramenta muito eficaz para a consolidação do conhecimento dentre os estudantes, por permitir que eles, investigando e avaliando o meio natural, avaliem suas feições e características e cheguem a conclusões sobre o ambiente estudado.

As atividades de campo permitem que os estudantes tenham total acesso às feições do meio natural, situação impossível dentro do ambiente escolar. Assim, entende-se que os trabalhos de campo são a expressão máxima do emprego dos ambientes não-formais na aprendizagem e possuem enorme potencial que pode ser explorado para consolidar os conceitos trabalhados pelos professores em sala de aula.

Complementarmente, esse tipo de prática desperta no aluno o pensamento e o senso crítico, despertando o interesse pelos estudos ambientais e estimulando-os a desenvolver técnicas de levantamento de campo mais aprimoradas.

Por fim, os próprios estudantes sentem-se interessados em participar das atividades de campo, e julgam esse tipo de prática importante para sua vivência acadêmica e consolidação do conhecimento científico.

REFERÊNCIAS

BARBOZA, B. S. S.; RODRIGUES, H. M. Prática de ensino: a importância da aula de campo em disciplinas acadêmicas para formação docente em geografia. **XVIII Encontro Nacional de Geógrafos**, São Luiz, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2016.

BELIZARIO, W.S. O trabalho de campo como metodologia ativa no ensino de geografia. **Revista Capim Dourado: Diálogos em Extensão**, Palmas, TO, v.3, n.3, p.166-184, nov./2020. doi: 10.20873/9982-v3n3

BONITO, Jorge. Da importância do ensino das Geociências: algumas razões para o “ser” professor de Geociências. **Metodologia do ensino das ciências. Investigação e prática dos professores**, Évora: Universidade de Évora, v. 1, n. 1, p. 41-55, jul./1999.

Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/16541>. Acesso em: 6 out. 2020.

CARNEIRO, C. D. R., CUNHA, C. A. L. S., & CAMPANHA, G. A. C. (1993). A teoria e a prática em Geologia e o eterno retorno. **Revista Brasileira de Geociências**, 23(4), 339-346. URL: <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11661>. Acesso 02.03.2022.

CICCHI, P.J.P.; SERAFIM, H.; SENA, M.A.; CENTENO, F.C.; JIM, J. Herpetofauna em uma área da Floresta Atlântica na Ilha Anchieta, município de Ubatuba, sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, v.9, n.2, 2009.

COMPIANI, M. O lugar e as escalas e suas dimensões horizontal e vertical nos trabalhos práticos – implicações para o ensino de ciências e educação ambiental. **Ciência e Educação**, Bauru, vol. 13, 2007.

COMPIANI, M.; CARNEIRO, C. D. R. Os papéis didáticos das excursões geológicas. **Enseñanza de las Ciencias de la Tierra**, 1993 (1.2), p. 90-98.

CRUZ, R. de C. A. da. Os caminhos da pesquisa de campo em geografia. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 93-97, 1997.

DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.1997.123230. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123230>. Acesso em: 3 jun. 2021.

DIESEL, Aline; BALDEZ, Alda Leila Santos; MARTINS, Silvana Neumann. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Revista Thema**, vol 14, n. 1, p. 268-288, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313960490_Os_principios_das_metodologias_ativas_de_ensino_uma_abordagem_teorica. Acesso em: 17 maio 2021.

FERNANDES, J. A. B. **Você vê essa adaptação? A aula de campo em ciências entre o retórico e o empírico**. Tese de Doutorado, São Paulo: Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2007.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**. 15. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2000.

GUILLAUMON, J.R., MARCONDES, M.A.P., NEGREIROS, O.C., MOTA, I.S., EMMERICH, W., BARBOSA, A.F., BRANCO, I.H.D.C., CÂMARA, J.J.C., OSTINI, S., PEREIRA, R.T.L., SCORVO FILHO, J.D., SHIMOMICHI, P.Y., SILVA, D.A., MELO NETO, J.E. Plano de manejo do Parque Estadual da Ilha Anchieta. **IF-Série Registros**, São Paulo, 1989.

GUILLAUMON, J.R. & FONTES, M.A. Estudo para manejo dos campos antrópicos do Parque Estadual da Ilha Anchieta - Zona de Recuperação. In **Anais do 2º Congresso Nacional sobre Essências Nativas**. Unipress, São Paulo, 1992.

GRANDI, L.A.; MOTOKANE, M. T. O potencial pedagógico do trabalho de campo em ambientes naturais: o ensino de biologia sob a perspectiva da enculturação científica. **EDUCERE - Revista da Educação**, Umuarama, v. 12, n. 1, p. 59-72, jan./jun. 2012.

HASUI, Y.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICH, C. A. O embasamento Pré-Cambriano e Eo-Paleozóico em São Paulo. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1.500.000**. São Paulo: IPT, v.1, p.12-45, 1981.

LEMOS, Linovaldo Miranda. O trabalho de campo como experiência educativa em Geografia. **GEOgrafia**, vol. 23, n. 50, 2021. DOI:10.22409/GEOgraphia2021.v23i50.a41079, acesso em 10/06/2021.

LIBÂNEO, José Carlos. **Didática**. 2 ed. São Paulo: Cortez, 2013.

LOPES, C.S.; PONTUSCHKA, N.N. Estudo do meio: teoria e prática. **Geografia** (Londrina), v. 18, n. 2, p. 173-191, 2009.

MEMORIAL DA RESISTÊNCIA. **Presídio da Ilha Anchieta**. URL: <http://memorialdaresistenciasp.org.br/lugares/presidio-ilha-anchietaera-vargas/>. Acesso 02.08.2022.

MUNHOZ, Edson. **As práticas de campo como metodologia de ensino em Geociências e Educação Ambiental e a mediação docente no município de Pinhalzinho/SP**. Dissertação de Mestrado, Campinas: UNICAMP, 174p., 2013.

SALVETTI, R.A.P., FRENEDOZO, R.C. Mapeamento dos artigos sobre trabalhos de campo no ensino de Geociências publicados no Congresso Brasileiro de Geologia (2002-2021). **Terrae Didática**, Campinas, SP, v.18, p.1-13, 2022. doi: 10.20396/td.v18i00.8668040.

SANTOS, V. M. N. D; JACOBI, Pedro Roberto. Formação de professores e cidadania: projetos escolares no estudo do ambiente. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 263-278, ago./2011. URL: <http://www.scielo.br/pdf/ep/v37n2/v37n2a04.pdf>. Acesso em: 15.04.2022.

SCHRADER, G.W.; FRENEDOZO, R.C. Espaços não formais de aprendizagem: a elaboração de uma trilha interpretativa como ferramenta para a educação ambiental. **Rev. Prod. Disc. Educ. Matem.**, São Paulo, v.4, n.1, p.18-29, 2015. URL: <https://revistas.pucsp.br/index.php/pdemat/article/view/22969/16642>. Acesso 02.04.2022.

SILVA, A.S.; FARIAS, R.C.; LEITE, C.M.C. O trabalho de campo para além de uma atividade prática nas aulas de geografia: uma metodologia de viabilização da construção do conhecimento geográfico. **Rev. Tamoios**, São Gonçalo (RJ), ano 15, n. 1, pág. 31-45, jan-jun 2019.

VIVEIRO, Alessandra Aparecida; DINIZ, R. E. D. S. Atividades de campo no ensino das ciências e na educação ambiental: refletindo sobre as potencialidades desta estratégia na prática escolar. **Ciência em Tela**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 1-12, dez./2009. URL: <http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/0109viveiro.pdf>. Acesso 02.03.2022.

FABRÍCIO MORAES DE ALMEIDA - Possui graduação em Matemática pela UFMT (2000), Físico - Lei n. 13.691, de 10 de julho de 2018, Especialização em Física Básica - UFMT (2001), Esp. em Redes de Computadores - UNIRONDON (2009), mestrado em Física pela Universidade Federal do Ceará (2002) e Doutorado em Física pela UFC (2005), Pós-doutorado - UFMT/CNPq (2009). E também com formação em Engenharia de Computação/Produção. Têm várias pesquisas científicas com temas Multidisciplinares de Engenharia Elétrica, Computação/Produção; Inovação, Modelagem, Gestão e Desenvolvimento Regional; Modelagem Matemática e pesquisas interdisciplinares. É líder do grupo de pesquisa GEITEC/UFRO. Já orientou dezenas de teses, dissertações e monografias. E com centenas de publicações científicas em diversas revistas internacionais e nacionais. De forma geral, as áreas de atuação, são: Ciência de dados e Engenharia; Engenharia de computação; Engenharia de Software, Engenharia Elétrica; Engenharia de Produção; Gestão, Tecnologia e Inovação.; Modelagem e Ciências Ambientais; Sistema de Computação e Energia (para saber mais, acesse: <http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhorh/5959143194142131>). Adicionalmente, têm especializações pela FUNIP, em: Engenharia Elétrica, Engenharia de Produção, Engenharia de Controle e Automação Industrial; Engenharia de Software e Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Tem experiência com: consultoria de pesquisa, tecnologia, engenharia, inovação e negócios; mais de 20 anos de experiência com administração e gerência de empresas públicas e privadas; também com vasto conhecimento em gestão de projetos; mais de 22 anos de estudos/pesquisas com computação e análise de dados. Atualmente, é professor associado 3 do departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Rondônia e docente do Programa de Pós-graduação: Doutorado/Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da Fundação Universidade Federal de Rondônia (para saber mais, acesse: <http://lattes.cnpq.br/5959143194142131>).

A

Arquivos climáticos 49, 50, 51, 52, 56, 60, 62, 63, 64

B

Belém-PA 49, 50, 52, 54, 55, 56, 63

C

Coletor armazenador solar horizontal 37, 38

Curvas de duração 49, 61, 62

D

Datos satelitales 25, 28, 36

E

Ecuación de la regresión lineal 33

Eficiência térmica 38, 51

Energia solar 37, 39, 47, 48

EnergyPlus e DView 49, 50

Ensino de Biologia 65, 75

Ensino de Geociências 65

Estación meteorológica 25, 27, 28, 29, 33

F

Factor analysis 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 17, 18, 19, 20, 22

G

Geomorphological and Geological 65

I

Indicators 1, 2, 3, 4, 5, 18, 19, 21, 22, 23, 24

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) 42, 52, 64

Interdisciplinaridade 65, 66, 74

International Weather for Energy Calculations (IWEC) 52, 63

M

Multivariate analysis 2, 18, 24

Municipality of Porto Velho 22

N

National Solar Radiation Data Base (NSRDB) 25, 26, 28, 34, 36

O

OpenStudio 49, 50, 52, 53, 56, 64

P

Predominance of epidemiological variables 2, 22

Principal component analysis 1, 4, 6, 10, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22

R

Radiación solar global 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36

Rondônia 1, 2, 3, 4, 5, 6, 13, 17, 19, 20, 22, 24, 77

S

Secagem solar 38, 46, 47

Significance of epidemiological 1

Simulações termoenergéticas 49

Socioeconomic variables 2, 5, 20, 22

Softwares SketchUp 49, 50, 56

Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) 52

Solar storage collector 38

Statistical and Health 2

Statistical inferences 1, 18

T

Teaching of Geosciences 65

Temperatura de bulbo seco 43, 44, 45, 47

Test Reference Year (TRY) 52, 64

Thermal behavior 50

Thermal efficiency 38

Typical Meteorological Year (TMY) 52, 64

U

Ubatuba/SP 65, 67, 68

ESTUDOS MULTIDISCIPLINARES:

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

 Atena
Editora

Ano 2023

ESTUDOS MULTIDISCIPLINARES:

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Atena
Editora

Ano 2023