



Efeitos da mudança do uso do solo sobre o microclima no Parque *Las Barrancas*, Tarija, Bolívia.

***Effects of land use change on microclimate in Parque Las
Barrancas, Tarija, Bolivia.***

***Efectos del cambio de uso de suelo sobre el microclima en el
Parque Las Barrancas, Tarija, Bolivia.***

MANSILLA, Maria Eugenia Martinez ¹
CORRÊA, Rodrigo Studart ²

¹ Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, DF, Brasil.
me.martinez.mansilla@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4200-7281

² Universidade de Brasília, Faculdade de Planaltina. Brasília, DF, Brasil.
rscorrea@unb.br
ORCID: 0000-0002-9422-2629

Recebido em 13/07/2023 Aceito em 28/08/2023



Resumo

O baixo percentual de áreas verdes nas cidades é atribuído ao planejamento deficiente e ao crescimento urbano descontrolado, uma vez que assentamentos irregulares ocupam áreas verdes e provocam p alterações adversas no microclima urbano. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da mudança no uso do solo no Parque *Las Barrancas* na cidade de Tarija, Bolívia, sobre o microclima local. O método usado compreendeu 1) caracterizar o clima e a vegetação da zona de estudo, 2) calcular o índice CO₂flux para o *Bioparque Urbano* por meio de sensoriamento remoto e 3) simular dois cenários num recorte com uso de solo urbanizado e outro com a superfície vegetada para estimar as temperaturas atmosférica e superficial por meio do *software* ENVI-met versão 5. Os resultados permitiram identificar uma diferença de 16°C entre os dois cenários, o que torna visível os efeitos da ocupação irregular do solo sobre o microclima urbano. Com base nos resultados, recomenda-se a aplicação de estratégias de revegetação na cidade.

Palavras-Chave: Mudança climática, assentamentos, vegetação, simulação.

Abstract

The low percentage of green areas in cities is attributed to poor planning and uncontrolled urban growth, as informal settlements encroach upon green spaces and lead to adverse changes in the urban microclimate. In this context, the aim of this study was to assess the effects of land use change in Parque Las Barrancas, located in the city of Tarija, Bolivia, on the local microclimate. The employed methodology included: 1) characterizing the climate and vegetation of the study area, 2) calculating the CO₂flux index for the Urban Biopark through remote sensing, and 3) simulating two scenarios – one involving urbanized land use and the other with vegetated surfaces – to estimate atmospheric and surface temperatures using ENVI-met software version 5. The results revealed a temperature difference of 16°C between the two scenarios, highlighting the visible impacts of irregular land occupation on the urban microclimate. Based on these findings, the implementation of reforestation strategies in the city is recommended.

Key-Words: Climate Change, settlements, vegetation, simulation.

Resumen

El bajo porcentaje de áreas verdes en las ciudades puede atribuirse a una deficiente planificación y al crecimiento urbano descontrolado por asentamientos irregulares que ocupan áreas verdes y provocan graves alteraciones en el microclima urbano. En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del cambio en el uso del suelo sobre el microclima local del Parque Las Barrancas, ubicado en la ciudad de Tarija, Bolivia. El método utilizado: 1) caracterización del clima y la vegetación de la zona de estudio, 2) cálculo del índice CO₂flux para el Bioparque Urbano a través de teledetección, y 3) simulación computacional de dos escenarios: uno con uso de suelo urbanizado y otro con superficies vegetadas, para estimar las temperaturas atmosférica y superficial utilizando el software ENVI-met versión 5. Los resultados demostraron una diferencia de temperatura de hasta 16°C entre los dos escenarios, resaltando los efectos sobre el microclima urbano por el cambio de uso de suelo debido a la irregular ocupación. Por tanto, se recomienda la implementación de estrategias de revegetación en la ciudad..

Palabras clave: Cambio climático, asentamientos, vegetación, simulación.



1. Introdução

Na avaliação do desempenho climático nos entornos construídos e áreas verdes das cidades, existem fatores ou índices pouco considerados no planejamento urbano. Um desses fatores se associa ao fenômeno da ocupação informal do solo para fins habitacionais. No contexto da Bolívia, o marco constitucional protege o direito à moradia, principalmente para população pobre e vulnerável (CPE, 2009)¹. No entanto, Gamboa (2014) explica que as cidades bolivianas tiveram um crescimento exponencial e descontrolado como consequência dos assentamentos irregulares, que apresentam condições indignas para os seus habitantes. A falta de políticas habitacionais para a população mais vulnerável e o crescente mercado informal de terras são conflitos que afetam as áreas verdes da cidade e o viés social impacta fortemente essa problemática.

Segundo De La Fuente e Cabrera (2016), existe uma pressão demográfica que obriga a ocupação de terras marginais aos centros urbanizados e traz consequentemente efeitos ambientais negativos para a saúde, contaminação e perda de terras agrícolas, principalmente pela ampliação das áreas urbanas pelo mercado imobiliário livre. A ocupação irregular e a consolidação espontânea de assentamentos urbanos ocorrem muitas vezes em áreas “vazias” ou “ociosas” que são de interesse para a preservação ambiental, como parques, córregos e taludes. Essa dinâmica fomentada por “loteamentos clandestinos”² é recorrente no contexto boliviano. Em Cochabamba, por exemplo, no Parque Nacional Tunari (LEDO, 2009) e em Tarija, no Parque Nacional *Las Barrancas*, esse fenômeno muda a destinação do uso do solo. Segundo Molina (2021, p.235), “as transformações materiais vão primeiro e depois vêm as instituições”. Dessa forma, a ocupação de fato será validada pela legalização fundiária.

Por outro lado, o espaço construído definido como a imagem invertida da cidade segundo Alcântara (2011), mostra as diferentes fases de crescimento da cidade (planejado ou espontâneo) e destaca as zonas funcionais dos espaços abertos que são o componente unificador da cidade. Além disso, os parques urbanos apresentam uma influência direta na qualidade de vida e na promoção da saúde física e mental em todas as faixas etárias. Os parques criam *urban cold island*. (UCI), ao combinar os efeitos do sombreamento e evapotranspiração, reduzem o impacto das ilhas de calor. Segundo FU et al, (2022) a temperatura do parque urbano é 0.5°C – 7°C menor em relação às áreas construídas.

O *Central Park*³, em Manhattan, de tamanho semelhante ao Parque *Las Barrancas* (320 ha) é um ícone da infraestrutura verde e tem implicância nos serviços ecossistêmicos e um significativo valor econômico. Segundo Sutton e Anderson (2016), esses valores resultam das interações do capital humano, natural e social determinado por uma avaliação holística, sinalizando assim diversas implicações dos parques urbanos na cidade.

Um método de análise e avaliação dos fenômenos urbanos na cidade pode ser auxiliado por meio de sensoriamento remoto e simulação computacional de cenários com o intuito de visibilizar os efeitos e rever ações de planejamento e gestão sustentável do território. Segundo VOOGT & OKE (2003), o uso do sensoriamento remoto termal contribui a descrição da superfície urbana para o uso de modelos atmosféricos, balanço de energia e observações das validações independentes dos parâmetros da

¹ (CPE, 2019). Art.19. - I. Todas as pessoas têm direito a uma habitação e a um habitat adequados, que dignifiquem a vida familiar e em comunidade. II. O Estado, em todos os níveis de governo, promoverá planos de habitação de interesse social, por meio de sistemas de financiamento adequados, baseados nos princípios da solidariedade e da equidade. Estes planos destinam-se preferencialmente às famílias de baixa renda, aos grupos desfavorecidos e às zonas rurais (tradução nossa).

² Prática de parcelar o território para venda, muitas vezes propiciado por um líder loteador.

³ Projetado pelo paisagista Frederick L. Olmsted e o arquiteto Calvert Vaux.



superfície.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar os efeitos da mudança do uso de solo sobre o microclima urbano numa área consolidada por assentamentos irregulares e comparar com uma área nativa do Parque *Las Barrancas*. A finalidade é compreender como a alteração das características naturais ocasiona modificações na dinâmica da superfície atmosférica, interferindo no balanço térmico e gerando novos microclimas (FREITAS et al, 2021). Por sua vez, reforçar o postulado de que a vegetação condiciona o microclima e é por meio dela que se estabilizam os efeitos do clima sobre os arredores imediatos (Romero, 2013).

O artigo compreende três partes: a primeira consiste numa análise diacrônica histórica, entre 1943 e 2020, das condições de tendência e uso de solo no Parque *Las Barrancas*. A segunda parte consiste na caracterização do uso do solo e relacioná-lo à temperatura superficial. Por fim, no terceiro momento serão analisados cenários com e sem vegetação natural para averiguar o papel da vegetação sobre os efeitos do microclima, como forma de auxiliar na melhoria do planejamento urbano.

2. Histórico do Parque *Las Barrancas*

O presente trabalho adota como estudo de caso o Parque *Las Barrancas* na cidade de Tarija, Bolívia. O Parque sofreu uma redução em sua área devido a diversos conflitos de limites, transferências e deslinde, incluindo a legalização dos assentamentos consolidados nos últimos anos. Para a compreensão dos acontecimentos serão descritos numa linha de tempo aqueles mais relevantes que resultaram na ocupação e mudança de uso do solo. Existiram também processos de revegetação para recuperação das áreas erodidas.

No ano 1943, a municipalidade de Tarija efetuou a compra de um terreno⁴ da família Moreno Brown com 184.01 ha. Com o passar do tempo, os limites da propriedade não ficaram claramente definidos, houve extravio do plano original e falta de cercamento da área. Nessa situação foram efetuadas transferências e disposições a favor de instituições públicas e privadas dentro do perímetro da área em deslinde. Assentamentos e ocupações informais também adquiriram direitos de propriedade por usucapião na área (Testemunho 1.232/2008).

Em 1966, aprovou-se o Decreto Lei nº7.807, que declarou a área como Parque Nacional *Las Barrancas*, com uma superfície de 347 ha 1.059m² para fins conservacionistas (GUTIERREZ, LIMA, TORRICO, 2020). Na área foram introduzidas as espécies xerofíticas *Prosopis ferox*, *Prosopis juliflora*, *Acacia visco* e outras espécies florestais com a finalidade de reflorestar, conservar e recuperar solos e vegetação nativa para criar um parque florestal.

Em 1978 foi administrado um deslinde entre a família Moreno Brown e o Ministério de Assuntos Camponeses e Agropecuários (MACA), quando se determinou transferir a título de venda aproximadamente sete hectares destinados à construção de habitações. Foram consolidados a favor do estado 218 ha e restituição de 126 ha para a família Moreno Brown.

Em 2001 foi administrado um outro deslinde entre o município e a família Moreno Brown para reconhecer a posse de uma área de 234 ha 1.918,85 m², estabelecendo um novo limite para o Parque, distinto daquele estabelecido em 1978. Posteriormente, foi identificada uma área de deslocamento de 501.818.820 m². Para os loteamentos efetuados, a família Moreno Brown não cedeu áreas verdes, deixando uma superfície de 9 ha 8.734,02 m² como área verde. Finalmente, o município adquiriu o direito de propriedade de 184 hectares das 234 ha do deslinde de 2001. Esse saldo, somado à superfície cedida como área verde, equivale a 191 ha 8.834,36 m² (Testemunho 1.232/2008).

⁴ Escritura Pública do 29 de julho de 1943.



Em 2006 foi declarado como prioridade departamental a proteção e conservação do terreno de domínio público do Parque *Las Barrancas* Jorge Paz Rojas para que por nenhum motivo fosse disposta, cedida, transferida ou intervenida fora desses fins. No mesmo ano, foi criada pela Lei nº 3461 o Museo Histórico, Paleontológico e Cultural dentro do “Parque *Las Barrancas* Jorge Paz Garzón”. Aquele projeto não foi alcançado e, posteriormente, com as transferências, cessões e consolidações, constituiu-se um saldo de superfície de propriedade municipal de 117 ha e 1.022,35 m². Esse deslinde não compreende o Parque Nacional *Las Barrancas*.

Em 2011 foram declaradas pela Lei Municipal nº003 as áreas livres da propriedade municipal *Las Barrancas*, identificando duas áreas descontínuas que formam parte da compra realizada em 1943 e esclarecendo que fora desses limites as áreas poderão ser usadas para o desenvolvimento urbano.

Finalmente, a promulgação da Lei nº 1.169 de 2 de maio de 2019 do governo nacional revogou o decreto do ano 1966 e a Lei nº 3.389/2006, permitindo a mudança de uso de solo para a legalização dos assentamentos humanos e consolidar a regularização do direito proprietário no marco da Lei nº 247 de 5 de junho de 2012 e Lei Nº 803 de 9 de maio de 2016. Sob esse cenário, as ações de preservação e conservação do parque foram reduzidas.

Atualmente a superfície do Parque *Las Barrancas* corresponde a 26,73 ha, que se encontram cercados para dar fim às invasões. Segundo a Lei Municipal Autônoma nº03/2011, o Parque passou a ser denominado como Bioparque *Urbano*. A declaratória de área protegida pela Lei Municipal nº 226/2019 o determina como Reserva Natural de Imobilização. O *Bioparque Urbano* foi inaugurado em 3 de julho de 2017 e alberga um importante número de espécies da fauna e da flora dos vales secos, segundo o projeto do Centro de Custódia de Fauna Silvestre (GUTIERREZ, LIMA, TORRICO, 2020).

3. Procedimento metodológico

O procedimento metodológico consistiu na caracterização da vegetação e do clima no perímetro do *Bioparque Urbano*, cálculo do índice CO₂flux por meio de sensoriamento remoto e, por fim, a simulação computacional de cenários para a área com vegetação e sem vegetação.

a) Caracterização climática e da vegetação na zona de estudo

A cidade de Tarija se localiza no sul da Bolívia, entre a latitude 21° 32' 7" Sul e a longitude 64° 43' 46" Oeste, a 1.854 m de altitude. Segundo a atualização do mapa mundial da classificação climática de Kopen-Greiger (PEEL, FINLAYSON, McMAHON, 2007), o clima corresponde ao temperado subúmido de montanha (Cwb). Esses autores explicam que na América do Sul existem três tipos de clima dominantes: o tropical A (60.1%), o temperado C (24.1%) e o árido B (15.0%).

A vegetação identificada na área de estudo se encontra na parte mais preservada na parte sudoeste (quadrante IV) do Parque *Las Barrancas* na parte sudoeste⁵, onde o relevo é extremamente escarpado, (Figura 3a). Essa parte conserva relevo natural e córregos que convergem num espelho de água alimentado por águas pluviais (Morales, 2019).

Segundo Barbosa et al (2020), por meio dos recursos naturais se garante a suficiente presença de oxigênio na atmosfera e isso contribui para amenizar os efeitos do clima. O aproveitamento das espécies nativas deverá ser priorizado em seu uso em serviços ecossistêmicos (Arcos et al, 2021). Nessa etapa é necessária a compreensão do desempenho do solo com as variáveis clima e vegetação.

⁵ Para efeitos de manutenção e controle do plano de manejo do *Centro de Custódia de Fauna Silvestre Bioparque Urbano* a administração dividiu o polígono do parque em quatro quadrantes. A área de nosso interesse se encontra no quadrante IV.

Segundo Acosta, Laime e Florez (2006), um levantamento experimental em Rio Conchas na área do *Bioparque Urbano*, indicou não haver um estudo sobre a vegetação em escala detalhada, lista de espécies e coberturas vegetais. Nesse intuito, com a finalidade de descrever a vegetação do parque foram identificadas massas arbóreas nas áreas mais preservadas das invasões e assentamentos irregulares.

Na visita de campo e coleta de dados⁶ (Figura 1), buscou-se identificar a frequência de espécies e cobertura vegetal numa parcela de 10 m por 20m, seguindo a pauta da área mínima. O critério é baseado no método para comunidades vegetais de climas temperados com parcelas para o levantamento do estrato arbóreo de 200 a 500 m² (Muller-Dombois y Ellenberg, 1974 *apud* Franco *et al*, 1989). Os dados coletados se apresentam na Tabela 1

Tabla 1. Valores de abundância, altura, cobertura das plantas e solo

Parcela 1	Elemento	Nome científico	Nome comum	Abundância	Altura (m)	Cobertura
	Espécie 1	Acacia visco	Jarca	10	6-7	65%
	Espécie 2	Jacaranda mimosifolia	Tarco - cobertura (herbáceo) anual	2	4-5	25%
	Solo	Solo nu		10%		

Fonte. Autores (20 de outubro de 2021)



Figura 1. Visita de campo e coleta de dados no *Bioparque Urbano*. Fonte: Autores (20 de outubro de 2021)

Segundo Gutierrez, Lima e Torrico (2020:9), a guia de árvores e arbustivas no *Bioparque Urbano* serve para a valoração dos espaços urbanos naturais. Esses autores identificaram 31 espécies nativas e introduzidas de árvores e arbustivas distribuídas em 15 famílias botânicas. A mais rica são as famílias *Fabaceae* (31%), seguida da *Bignoniácea* (13%), *Salicacea* e *Olacacea* (10%) (Tabela 2) o saldo 46% correspondem à distribuição das 12 famílias de espécies restantes. Cinco espécies dentre as encontradas se encontram em categoria de ameaça. A amostragem foi realizada em quatro parcelas aleatórias dentro dos quatro quadrantes do *Bioparque Urbano*, que representa apenas 10% de sua área total.

⁶ Guiada pelo Professor Ing. Ismael Acosta, Chefe da Unidade do Hervário da UAJMS.

Tabela 2. Principais espécies arbóreas identificadas no *Bioparque Urbano*

Família		
<i>Fabaceae</i> (31%)	<i>Bignoniácea</i> (13%)	<i>Salicácea e olacácea</i> (10%)
		
Algaroba branco	Ipê rosado	Taco

Fonte. Adaptado de Gutierrez, Lima, Torrico (2020)

Em outro estudo, Gutierrez (2020) realizou um censo florestal dentro do *Bioparque Urbano* e identificou 1.597 indivíduos distribuídos em 9 famílias e 18 espécies, com 32% de abundância representada pela espécie *Prosopis sp.*, que apresentou uma densidade de 19 árvores/ha. A autora também identificou que mais de 80% das árvores apresentam problemas de fitossanidade. Esse censo será a base de dados empregada para a simulação deste estudo (cenário 2: área vegetada) localizada no quadrante IV (Figura 3a).

b) Cálculo do índice CO₂flux para o *Bioparque Urbano* por meio de sensoriamento remoto

Para o Índice de CO₂flux no *Bioparque Urbano*, imagens CIBERS4A, produto disponibilizado gratuitamente em formato GeoTiff e ortorectificado, foram processadas com a finalidade de se calcular o sequestro de carbono e a atividade fotossintética na área de estudo. A multiplicidade de sensores do CIBERS4A atende diversas aplicações, tais como monitorar desmatamentos, queimadas, nível de reservatórios, desastres naturais, expansão agrícola e desenvolvimento das cidades (BAPTISTA, 2021).

O processamento ocorreu em imagem de satélite extraída no Catálogo de Imagens⁷ disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações do Brasil, seguindo o critério de escolha e processamento ministrado na aula de Sensoriamento Remoto Intraurbano⁸.

No catálogo se apresentam diversos sensores. A escolha da imagem considerou a resolução (WPM) e o período temporal entre 1/1/2021 até 14/7/21 (Figura 4). Da busca, foi escolhida a imagem CBERS4A-WPM-L4-DN sob área de interesse.

⁷ <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>

⁸ Aula de Sensoriamento Remoto Intraurbano subministrada pelo Prof. Gustavo Baptista no 2º Encontro Virtual do Reabilita 10 em 14 de maio de 2021.



Figura 4. Obtenção de imagem CIBERS4A-WPM-L4-DN Fonte: Catálogo do INPE (2021)

O processamento da imagem foi realizado no *software* gratuito e aberto QGis Hannover – LTR. Por meio da integração de dados e escolha das bandas 0 (faixa pancromática), 1B (azul), 2G (verde), 3R (vermelho), 4 (infravermelho próximo). As quatro bandas espectrais cobrem a região do visível no pixel (8x8m) do conjunto de dados para isso se define um recorte na área de interesse em todas as bandas. Avaliando o comportamento espectral sob a pancromática e aplicando as operações aritméticas (calculadora raster no Qgis e plugin Orfeo ToolBox – OTB), é possível verificar o comportamento espectral da vegetação, atividade fotossintética e o sequestro florestal de carbono no Parque *Las Barrancas*.

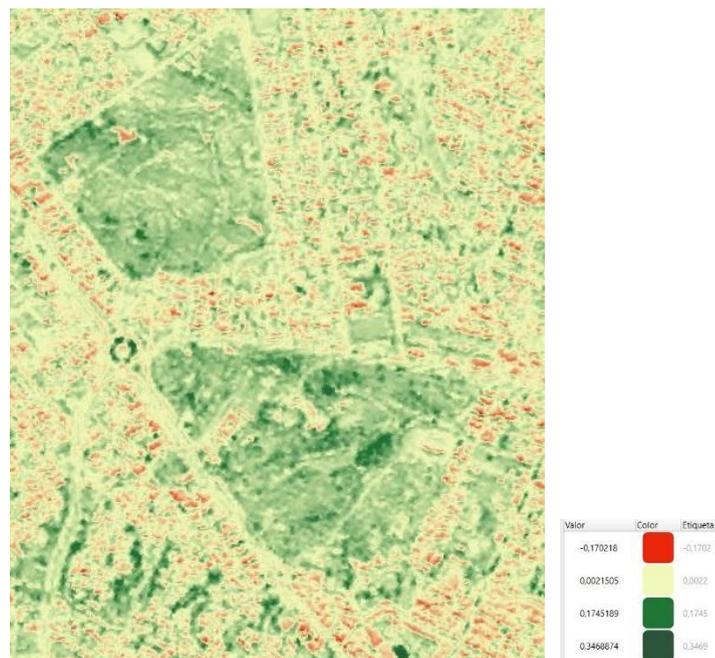


Figura 5. Índice de CO₂flux no *Bioparque Urbano* (Parque *Las Barrancas*) Fonte: Processamento adaptado de Baptista (2021)

No processamento da imagem CIBERS4A e integração do índice espectral *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI (que mede a taxa fotossintética) com o índice *Photochemical Reflectance Index* – PRI (que mede o uso eficiente da luz *Light Use Efficiency* – LUE) no processo fotossintético, é possível determinar o sequestro florestal de CO₂ por meio do índice CO₂flux na fase clara da fotossíntese. Para o cálculo de sequestro do carbono aplicou-se a operação aritmética NDVI*sPRI=CO₂flux, obtendo finalmente o resultado do valor do índice de -0.17 a 0.34, que integra duas absorções, atribuindo como banda de falsa cor com intervalo de quatro cores, como apresenta a Figura 5.

c) Simulação computacional de cenários sim/com vegetação (área urbanizada – área vegetada)

O ENVI-met⁹ V5 é um *software* de simulação tridimensional do microclima. Seus módulos interativos analisam cientificamente os efeitos de diferentes cenários urbanos. Ele foi desenvolvido por Michael Bruse, Daniela Bruse e Helge Simon na Alemanha em 1994, e diversos estudos adotam uma abordagem integral dos efeitos produzidos num determinado espaço urbano, simulando a dinâmica microclimática em um ciclo diário (Martinez, 2021). A ferramenta avalia a relação entre o solo, atmosfera e vegetação baseado num arquivo climático com detalhamento de microescala para um estudo específico.

Neste estudo, foram avaliados dados de temperatura superficial e atmosférica em dois cenários reais: sob o atual uso do solo urbanizado e outro considerando a superfície do solo coberta por vegetação).

Para a simulação computacional muitas vezes é preciso adotar medições *in-loco* sempre que exista a disponibilidade dos recursos humanos e materiais. Shinzato e Duarte (2020) consideram fundamental o processo de calibração do modelo para as condições climáticas locais. Neste trabalho de simulação foi adotado para validação em campo o dia típico mais quente do ano 2020, segundo o histórico dos dados obtidos do SISMET para o dia 26/9/2020.

A simulação computacional pode ser entendida como um processo e ela requer a coleta de dados e posterior análise/discussão dos resultados. No ENVI-met são considerados cinco procedimentos: configuração dos parâmetros espaciais e modelagem em 2.5D (*Spaces*), configuração da base de dados (*BD Manager* e *Albero*), configuração climática e meteorológica (*Forcing Manager* e *ENVI-guide*), simulação do modelo (*ENVI-core*) e extração dos mapas (*Leonardo*). Os parâmetros e dados de entrada requeridos no modelo, se consideram na tabela 3.

Tabela 3. Valores utilizados nas condições do modelo

Variável	Parâmetro
Tamanho do tabuleiro	110*140*30
Data de simulação	26/09/20
Tempo total da simulação	24h
Hora de início	06.00.00
Velocidade do vento (m/s)	1.60
Direção do vento (deg)	90.00
Rugosidade	0.010
Temperatura do Ar T(°C)	12 (min) 38 (máx.)
Umidade q (%)	28 (min) 88 (máx.)

Fonte: Autores (2021)

O recorte de 220 m por 280 m definido para simulação computacional tem uma superfície de 6.16 ha, que representa a superfície do quadrante IV e equivale a 23% da área total do *Bioparque Urbano*. O estudo foi realizado em dois cenários: uma área fora do polígono do parque (área urbanizada) (Figura 2a) e o outro cenário dentro do Parque (área vegetada) (Figura 3a).

Cenário 1: área fora do parque (área urbanizada - assentamento irregular). Compreende o assentamento urbano em processo de consolidação, com moradias precárias e 90% das habitações dotadas de um pavimento. Os materiais predominantes nas edificações são tijolo e telhado ondulado (placa de metal/acero). Todas as ruas se encontram com o solo exposto e a vegetação é escassa. Existe uma escola na parte norte do recorte e um córrego interrompido pela consolidação das moradias do lado sudoeste.

⁹ <https://www.envi-met.com/>



Figura 2. a) Recorte área urbanizada. b) Modelo em planta no *software* ENVI-met. c) Modelo em 3D no *software* ENVI-met. Fonte: Google Earth (2020). Elaboração própria (2021).

Cenário 2: área dentro do parque (área vegetada - *Bioparque Urbano*). Compreende a superfície com maior cobertura vegetal do parque, onde foram identificadas, segundo o inventário florestal de Gutierrez (2020), as espécies arbóreas *chañar*, *jarca*, *taco*, *tarco*, *churqui* e *eucalipto*. Essas espécies foram adaptadas no *Albero* da *Database tools* do ENVI-met V5.



Figura 3. a) Recorte área vegetada em imagem satélite. b) Modelo em planta no *software* ENVI-met c) Modelo em 3D no *software* ENVI-met. Fonte: Adaptado de Gutierrez, (2020). Elaboração própria (2021).

Da simulação se pretende estimar as variáveis de temperatura radiante média (*Mean Radiant Temperature*), temperatura do ar (*Potential Air Temperature*) e temperatura de superfície (T Surface) para ambos cenários.

4. Resultados e discussão

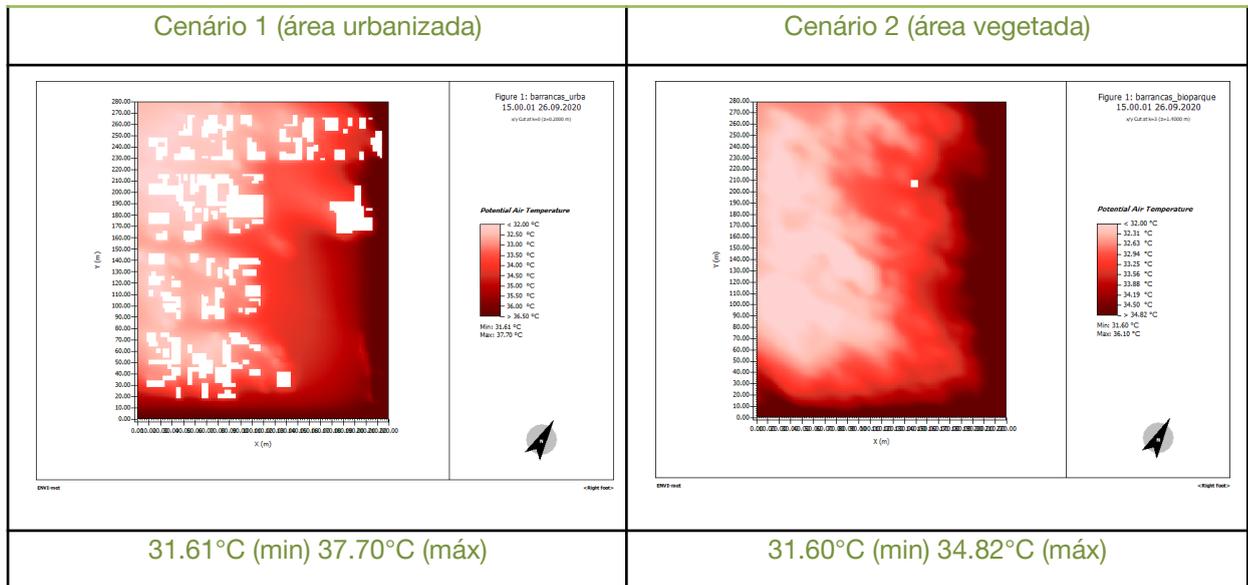
Conforme o desenvolvimento do procedimento metodológico sobre a avaliação dos cenários, apresentam-se os seguintes resultados:

- a) Mapas da simulação dos cenários urbanizado (1) e vegetado (2)

Os cenários foram simulados às 15h, quando se registraram os maiores valores de temperatura no dia 26/9/2020. Adotou-se a altura de 1.40 m da superfície do solo, que se refere ao plano do pedestre.

Temperatura do Ar (*Potential Air Temperature*): no cenário 1 registrou-se o valor máximo de Temperatura de Ar de 37.7°C e no cenário 2 o valor de 34.82°C, obtendo-se a diferença de 2.88°C entre os cenários (Tabela 4).

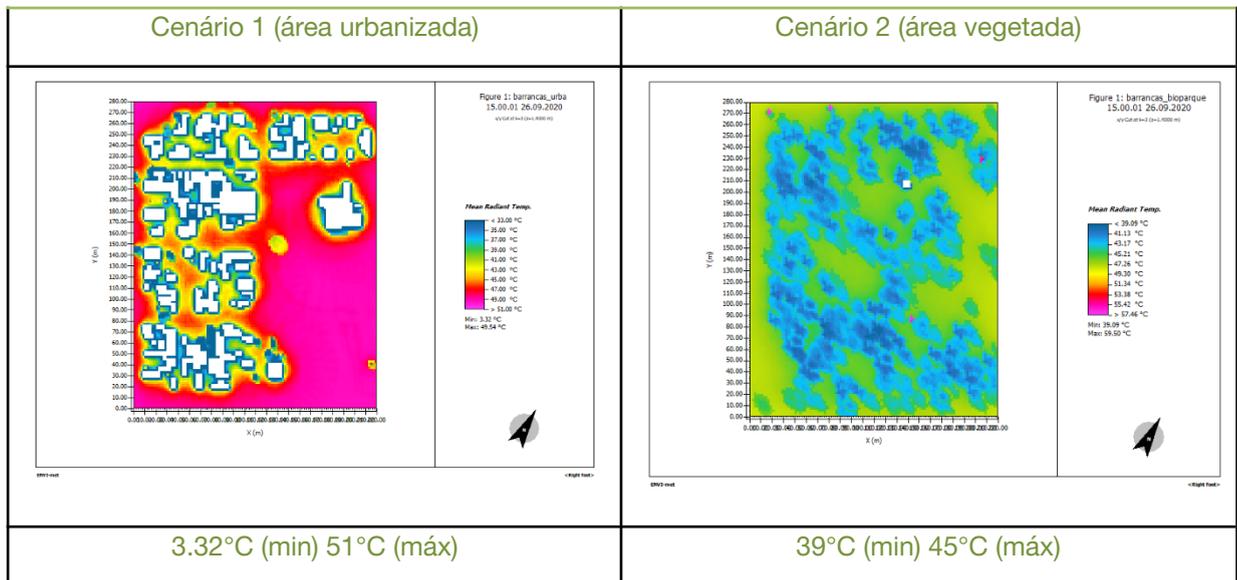
Tabela 4. Comparação mapa de Temperatura do Ar entre os cenários 1 e 2



Fonte: Leonardo plugin do ENVI-met

Temperatura Radiante Média (*Mean Radiant Temp.*): no cenário 1 registrou-se o valor de 51°C de Temperatura Radiante Média e no cenário 2 registrou-se a temperatura de até 45°C, obtendo uma diferença de 6°C entre ambos cenários (Tabela 5).

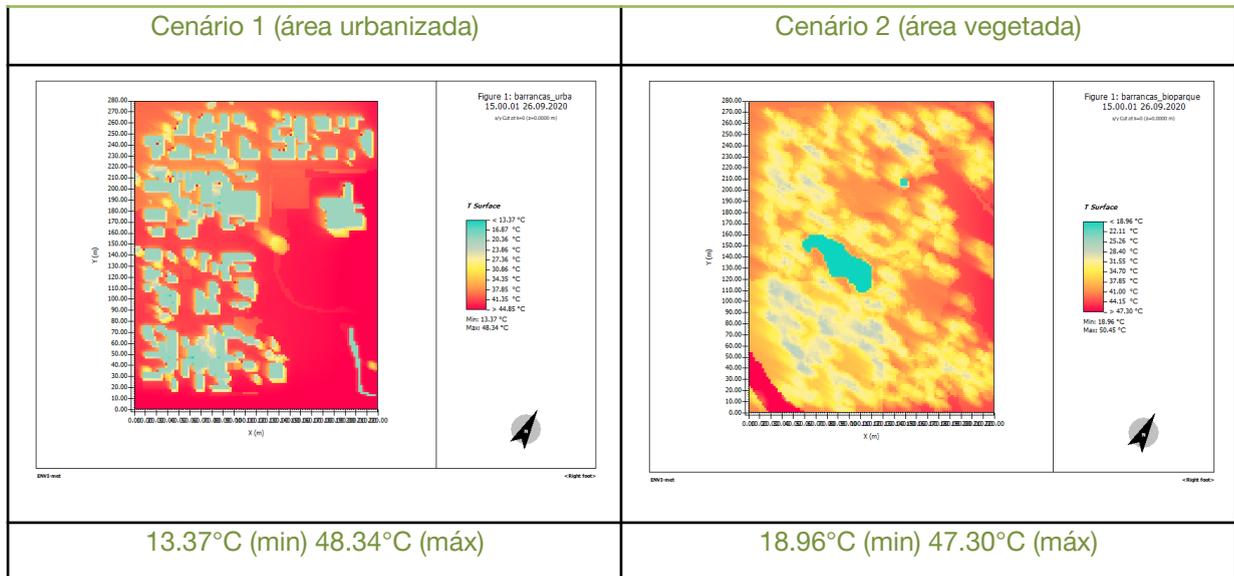
Tabela 5. Comparação mapa de Temperatura Radiante Média entre os cenários 1 e 2



Fonte: Leonardo plugin do ENVI-met

Temperatura da superfície (*T Surface*): no cenário 1 registrou-se o valor máximo de 44.85°C e no cenário 2 registrou-se o valor máximo de 47.3°C em uma superfície asfaltada no limite sudoeste do parque. Nas áreas de solo exposto, parte leste do recorte, registrou-se 28.40°C. Nesse mesmo cenário 2, a superfície do corpo d'água e superfícies com sombra mantiveram temperaturas inferiores a 18°C. Considerando o registro da superfície do solo nos dois cenários, a diferença entre eles alcançou 16.45°C, principalmente na área circundante das moradias (Tabela 6).

Tabela 6. Comparação das Temperaturas da Superfície entre os cenários 1 e 2



Fonte: Leonardo *plugin* do ENVI-met

Finalmente, a Figura 6 apresenta os resultados obtidos da simulação de cenários. O cenário 1 (urbanizado) apresentou valores de temperatura do ar, radiante e superficial mais elevadas do que aquelas calculadas para o cenário 2 (vegetado).

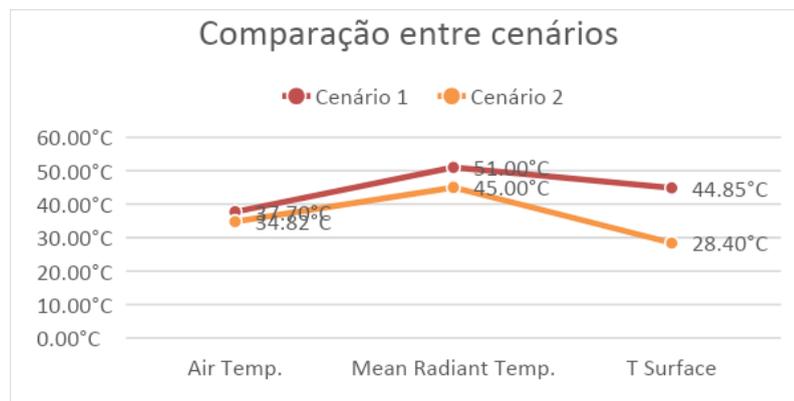


Figura 6. Gráfica comparativa dos resultados Fonte: Autores, 2021

As variáveis ambientais e de conforto térmico podem ser analisadas em diferentes horários em um mesmo dia, tal qual o caso de estudo de Silva, Santos, Tenedório (2017), que identificaram a redução dos valores extremos de temperatura do ar durante a manhã e incremento de umidade à noite em uma avenida em Lisboa, Portugal, após o acréscimo de vegetação.

Por outro lado, Shinzato e Duarte (2020) encontraram que a temperatura radiante media foi a que mais variou sob dossel da vegetação arbórea no parque Trianon em São Paulo. As autoras encontraram uma diferença de 17,4°C entre o piso do solo exposto e solo abaixo do dossel da vegetação arbórea (IAF 3 m²/m²). As medições da temperatura superficial em áreas rurais ou suburbanas contribuem para identificar ilhas de calor (COSTA, BAPTISTA, SILVA, 2017), fenômeno que traz maiores implicações no clima urbano.

O desempenho ambiental nos cenários simulados da área urbanizada (cenário 1) encontrou uma diferença de até 16°C na temperatura superficial do solo. Nesse sentido, infere-se acerca da dimensão



social, materializada pela consolidação de moradias, sobre a dimensão ambiental representada pela perda de massa arbórea ou parque na cidade. O grande desafio versa sobre o equilíbrio dessas dimensões para alcançar a sustentabilidade urbana e mitigar os efeitos das mudanças climáticas nas cidades.

O solo exposto atinge temperaturas semelhantes às medidas em superfícies asfálticas. Dessa forma, deve-se priorizar ações de revegetação de áreas urbanas com solo exposto. A vegetação existente no *Bioparque Urbano*, que representa uma fração do I do Parque *Las Barrancas*, tem potencial de captura de emissões de CO₂ além da identificada neste trabalho. Os corpos de água amenizam a temperatura superficial e melhoram o conforto térmico. Finalmente, as edificações na área de estudo poderiam se adaptar a melhores condições e reformas na estrutura e considerar acréscimos de vegetação.

5. Conclusões

A área inicialmente destinada para o Parque *Las Barrancas* sofreu redução de sua superfície e área verde, que acarretaram mudança de uso do solo. Como resultado, as superfícies alteradas sofreram efeitos negativos do microclima urbano, porque suas superfícies são mais aquecidas. A falta de preservação das espécies arbóreas na área de estudo agrava a situação dentro e fora do *Bioparque Urbano*.

A frequente mudança de normas que regulam o uso do parque no decorrer do tempo (área de conservação, museu paleontológico, habitação, venda, invasões irregulares, legalização) expõe as fraquezas da gestão do meio urbano na cidade.

Porém, a consideração do potencial natural das áreas verdes na cidade é chave para o desenvolvimento urbano sadio. As mudanças de uso e ocupação do solo geralmente resultam em efeitos ambientais graves no entorno urbano e no clima.

O uso de ferramentas de geoprocessamento como simulação computacional auxilia a compreensão dos fenômenos climáticos e possibilita a identificação de estratégias para mitigar os efeitos das mudanças climáticas no contexto local.

Recomenda-se desdobrar este estudo em trabalhos futuros e replicar o método em outras áreas verdes das cidades (bolivianas para refletir a prática de legalização dos assentamentos irregulares, principalmente nas áreas de proteção ambiental. Também se recomendam estudos com viés econômico e social que acompanhem as mudanças de uso de solo.

6. Referências

ALCANTARA, S. El verde en la ciudad, la ciudad en el verde. Informe 2005. P.19 - 26.

ARCOS, G., ARAVENA, T., FIGUEROA, J., JAKSIC, F., CASTRO, S. Native trees provide more benefits than exotic trees when ecosystem services are weighted in Santiago, Chile. Springer - Trees (2021) 35:1663-1672 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02144-5>

ACOSTA, I., LAIME, J., FLOREZ, E. Levantamiento florístico preliminar de la estación experimental "Rio Conchas". Revista de Ciencias Rurales AGROciencias. Vol 2, N4. 20-27, 2006.

BARBOSA, R., CADETE, E., MARTINS, A., NASCIMENTO, B. Espécies arbóreas em espaços públicos para amenização de efeitos térmicos do microclima urbano de cidades tropicais de baixa latitude, uma revisão sistemática. Anais Santana do Araguaia: IICONARA, 2020.



BAPTISTA, G. Sensoriamento Remoto para Análise Intra urbana. Oficina do 2º Encontro Virtual R10. 2021

COSTA, R., BAPTISTA, G., SILVA, F. Use of remote sensing in the identification of Urban Heat Islands and in the evaluation of Human Thermal Comfort. Open Journal Systems. Journal os Hyperspectral Remote Sensing v.7, n7, 408-422. 2017

DE LA FUENTE, M., CABRERA, J. La expansión urbana y la pérdida de tierras agrícolas en el valle central de Cochabamba y Sacaba. Fundación Tierra, 2016.

FRANCO, J., CRUZ, G., ROCHA, A., NAVARRETE, N., FLORES, G., KATO, E., SÁNCHEZ, S., ABARCA, L., BEDIA, C. Manual de Ecología. 2ª Ed, Mexico: Trillas, 1989. ISBN 968-24-3218-9

FREITAS, R., AZEREDO, J., CARVALHO, L., COSTA, R. Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, V,23. Disponível em: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202108pt>. 2021.

FU, J., WANG, Y., ZHOU, D., CAO, S. Impact of urban park design on microclimate in cold regions using newly developed prediction method. *Sustainable Cities and Society*. 80. 103781. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103781>

GAMBOA, N. El asentamiento irregular como principal fuente de crecimiento urbano en Bolivia: entre ilegalidad y constitucionalidad. Flacso – Sede España. ISSN: 1130-2887 DOI: <http://doi.org/10.14201/alh2014685778> 2014.

GUTIERREZ, J., LIMA, G., TORRICO, L. Guía de árboles y arbustos del “Bioparque Urbano Urbano”. Valorando los espacios urbanos naturales. *Bioparque Urbano Urbano* – G.A.M.T. Tarija – Bolivia. 2020.

GUTIERREZ, M. Evaluación silvicultural para determinar el estado fitossanitário del estado arbóreo em el *Bioparque Urbano Urbano* de la ciudad de Tarija. Tesis para Grado Académico en Ingeniería Forestal. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Tarija – Bolivia. 2020.

LEDO, C. Urbanización y pobreza en la ciudad de Cochabamba. Em WANDERLEY, Fernanda. *Estudios Urbanos: en la encrucijada de la interdisciplinarietà*. La Paz: CIDES-UMSA, 2009: 117-151

LEI N° 7807 de 29 agosto de 1966. Declara Parque Nacional el área denominada “Las Barrancas” situado en la provincia Cercado de Tarija. Acesso em 6/10/2021. Disponível em: <https://www.derechoteca.com/gacetabolivia/decreto-ley-7807-del-29-agosto-1966/>

LEI N° 3389 de 3 de maio de 2006. Declara prioridade departamental la protección y conservación del terreno de domínio público que abarca el Parque “Las Barrancas Jorge Paz Rojas” situado en la provincia Cercado del Departamento de Tarija. Acesso em 6/10/2021. Disponível em: https://www.lexivox.org/norms/BO-L-3389.html?dcmi_identifier=BO-L-3389&format=html

LEI N 3461 de 15 de agosto de 2006. Declara prioridade departamental, la creación del Museo Histórico, paleontológico y Cultural que estará ubicado em el “Parque Las Barrancas Jorge Paz Rojas”.

LEI MUNICIPAL AUTONOMA N° 003 de 23 de dezembro de 2011. Ley Parque Municipal “Las Barrancas”. Disponível em: <https://gacetamunicipal.tarija.bo/assets/ley-03---ley-parque-municipal-de-las-barrancas.pdf>

LEI N° 247 de 5 de juno de 2012. Ley de Regularización del derecho propietario sobre bienes inmuebles urbanos destinados a vivienda. Disponível em: https://www.lexivox.org/norms/BO-L-N247.html?dcmi_identifier=BO-L-N247&format=html

LEI N° 803 de 9 de maio de 2016. Ley de modificación a la Ley 247. Disponível em: https://www.lexivox.org/norms/BO-L-N803.html?dcmi_identifier=BO-L-N803&format=html



LEI N° 1169 de 2 de maio de 2019. Ley que abroga el Decreto Ley N° 7807 y la Ley N° 3389. Disponível em: <https://www.lexivox.org/norms/BO-L-N1169.html>

LEI MUNICIPAL N° 226 de 26 de novembro de 2019. Declaratoria de Área Protegida Municipal al *Bioparque Urbano* Urbano. Disponível em: [http://www.gacetamunicipal.tarija.bo/assets/ley-226---2019-declaratoria-de-%C3%A1rea-protegida-municipal-al-Bioparque Urbano-urbano.PDF](http://www.gacetamunicipal.tarija.bo/assets/ley-226---2019-declaratoria-de-%C3%A1rea-protegida-municipal-al-Bioparque-Urbano-urbano.PDF)

MOLINA, C. Vivir en ciudades. Em: Bolivia siglo XXI. De la República al Estado plurinacional. Harvard Club de Bolivia. Plural Editores. p. 233-280, 2021

MORALES, M. Respuesta comunicación interna N°275/19. Gobierno Municipal de la Ciudad de Tarija y la Provincia Cercado. *Bioparque Urbano* Urbano, 2019

PEEL, M., FINLAYSON, B., McMAHON, T. *Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification*. Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. Hydrology and Earth System Sciences 11. p. 1633-1644, 2007.

ROMERO, Marta A. Bustos. *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. 1a. Ed. Brasília: 2013. Editora UnB, 2013.

SHINZATO, P., DUARTE, D. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo – vegetação – atmosfera. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.18, n.2, p. 197-215. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000200250>

SILVA, C., SANTOS, T., TENEDÓRIO, J. Urban vegetation as a strategy to reduce heat island. Effects in the Mediterranean climate context, Lisbon – Portugal. PLEA 2017 Edinburgh. Design to Thrive. 2017.

SUTTON, P. ANDERSON, S. Holistic valuation of urban ecosystem services in New York City's Central Park. *Ecosystem Services*. Vol.19 p.87-91. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.04.003>

TESTEMONHO N°1.232/2008 de 27 de junho de 2008. Escritura pública aclarativa de deslinde voluntario sobre la superficie, límites y colindancias de terrenos de propiedad municipal de la ciudad de Tarija, com propiedad de la familia Moreno Brown, sobre *Las Barrancas*.

VOOGT, J. OKE, T. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*. 86 p.370-384. 2003. doi:10.1016/S0034-4257(03)00079-8

Maria Eugenia Martinez Mansilla



Arquiteta urbanista boliviana, doutoranda em Arquitetura e Urbanismo na UnB, vinculada ao LaSUS com interesse em estudos sobre sustentabilidade urbana, clima urbano, mobilidade urbana, paisagem e bem comum urbano.

Contribuição de coautoria: Concepção, Curadoria de dados, Análise, Coleta de dados, Metodologia, Supervisão, Validação, Visualização, Redação – rascunho original, Redação – revisão e edição.

Rodrigo Studart Corrêa

Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade de Brasília (1990) e em Engenharia Ambiental pelo Instituto de Engenheiros da Austrália (2000). Especialista em Degradação de Solos e Desertificação pela Universidade de Dresden (Alemanha, 1991), M.Sc. em Ecologia pela Universidade de Brasília (1995), Ph.D. em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de Melbourne (2002) e Pós-Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Paraná (2016). Possui experiência em Ecologia Aplicada, atuando na recuperação de áreas degradadas e no uso de resíduos para a revegetação de substratos minerados. Orcid - 0000-0002-9422-2629 Researcher ID - AAB-6089-2021

Contribuição de coautoria: Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Software; Supervisão; Validação; Visualização; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição

Como citar: MANSILLA, M. E. M., CORRÊA, R. S. Efeitos da mudança do uso do solo sobre o microclima no Parque Las Barrancas, Tarija, Bolívia. Revista Paranoá, n.36, Edição Temática Reabilitação Ambiental Sustentável - 2023. DOI 10.18830/issn.1679-0944.n36.2023.02.

Editor responsável: Caio Silva (PPG-FAU/UnB) e Teresa Santos (Universidade Nova de Lisboa, Portugal).

Assistente Editorial: Lucídio Avelino.