

# NOTA TÉCNICA PARA AVALIAÇÃO DE SUPRESSÃO VEGETAL EM ÁREAS URBANAS

v0.2

## Resumo

Sob o contexto da ausência de critérios para avaliação da supressão vegetal em ambientes urbanos, a proposta do trabalho a seguir é descrever a metodologia e desenvolvimento de um modelo de valoração de supressão vegetal em áreas urbanas, orientado ao efeito de ilhas de calor urbana, afim de chegar estabelecer uma Área Equivalente de Biodiversidade (EBA) contextualizada na escala urbana. A proposta se baseou no modelo de Resfriamento Urbano (*Urban Cooling*) do InVEST para valoração da superfície vegetal, derivada do Índice de Mitigação de Calor (*Heat Mitigation Index - HMI*).

## Introdução

O artigo foi idealizado como parte do Plano Diretor de Canela, a fim de fornecer uma análise semelhante a aplicação da Área Equivalente de Biodiversidade (EBA), no qual a escala de análise adequa-se às UGPAs e áreas rurais ou não consolidadas. Seguindo a mesma linha, a proposta do artigo é oferecer um modelo de análise de áreas equivalentes de vegetação aplicadas às UVs, escala de análise para o meio urbano de Canela.

## Materiais e métodos

### Indicadores Ambientais

#### **Heat Mitigation Index e Cooling Capacity Index**

Os benefícios da arborização urbana permeiam desde aspectos da saúde física e mental à questão paisagística e estética da cidade. Contudo esses elementos, embora de grande valor para o meio urbano, são dados que não apresentam uma forma de fácil mensuração estatística devido a natureza de sua forma, qualitativa e indireta. A proposta busca levantar medições possíveis para que possamos elaborar melhores decisões para compensações que permeiam as estratégias do No Net Loss.

<b>Serviço Ecossistêmico</b>	<b>Descrição</b>
Benefícios Estéticos	A presença de árvores e parques aumenta a percepção de beleza das pessoas e, assim, sua felicidade. Esse benefício tem valor monetário; por exemplo, casas com árvores na frente valem significativamente mais.
Recreação	Áreas verdes são frequentemente usadas para recreação — desde caminhadas até prática de esportes e momentos de relaxamento.
Saúde Física	Áreas verdes são utilizadas para recreação, o que contribui para a melhoria da saúde das pessoas.
Saúde Mental	Pesquisas mostram que a interação com a natureza diminui o estresse e aumenta a concentração.

<b>Serviço Ecossistêmico</b>	<b>Descrição</b>
Valor Espiritual e Sentimento de Lugar	O que seria de Nova York sem o Central Park? Áreas verdes muitas vezes desempenham um papel importante na vida espiritual das pessoas e na apreciação de sua cidade.
Biodiversidade	A presença de árvores e parques ajuda a fornecer um habitat para a biodiversidade.
Prevenção de Erosão	Árvores e outras vegetações reduzem a erosão ao estabilizar o solo.
Mitigação de Águas Pluviais	Árvores e áreas úmidas, sejam naturais ou construídas, ajudam a aumentar a infiltração de águas pluviais e a filtrar poluentes dessas águas.
Mitigação de Risco de Inundação	Ao desacelerar o movimento das águas pluviais a jusante, árvores e áreas úmidas reduzem o risco de inundações locais. Em planícies de inundação, habitats naturais oferecem um espaço para as águas da enchente, retardando seu fluxo a jusante.
Proteção Costeira	Ao longo das costas, habitats naturais, como florestas de manguezais, oferecem proteção contra a elevação do nível do mar.
Purificação do Ar (partículas, ozônio)	Árvores reduzem as concentrações de poluição do ar.
Sombra e Mitigação de Ondas de Calor	O foco deste relatório: árvores reduzem as temperaturas ambientais.

O Heat Mitigation Index (HMI) do modelo InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) é uma ferramenta que avalia a capacidade das áreas verdes e do solo em mitigar o calor urbano. Esse índice é útil para o planejamento urbano sustentável, ao identificar áreas de maior necessidade de vegetação para redução de ilhas de calor. O indicador do HMI é um valor que varia de 0 a 1, estando os valores positivos atrelados a magnitude do impacto em cada pixel relativo às massas vegetadas próximas, e negativos o quanto mais distantes dessas massas vegetadas. Os parâmetros para execução do modelo dependem de 4 dados de entrada, sendo o mapa de uso do solo em formato TIF, evapotranspiração (TIF), área de interesse (SHP) e tabela biofísica (CSV), onde serão determinados os pesos de cada classe de uso do solo para cada condicional, sendo elas:

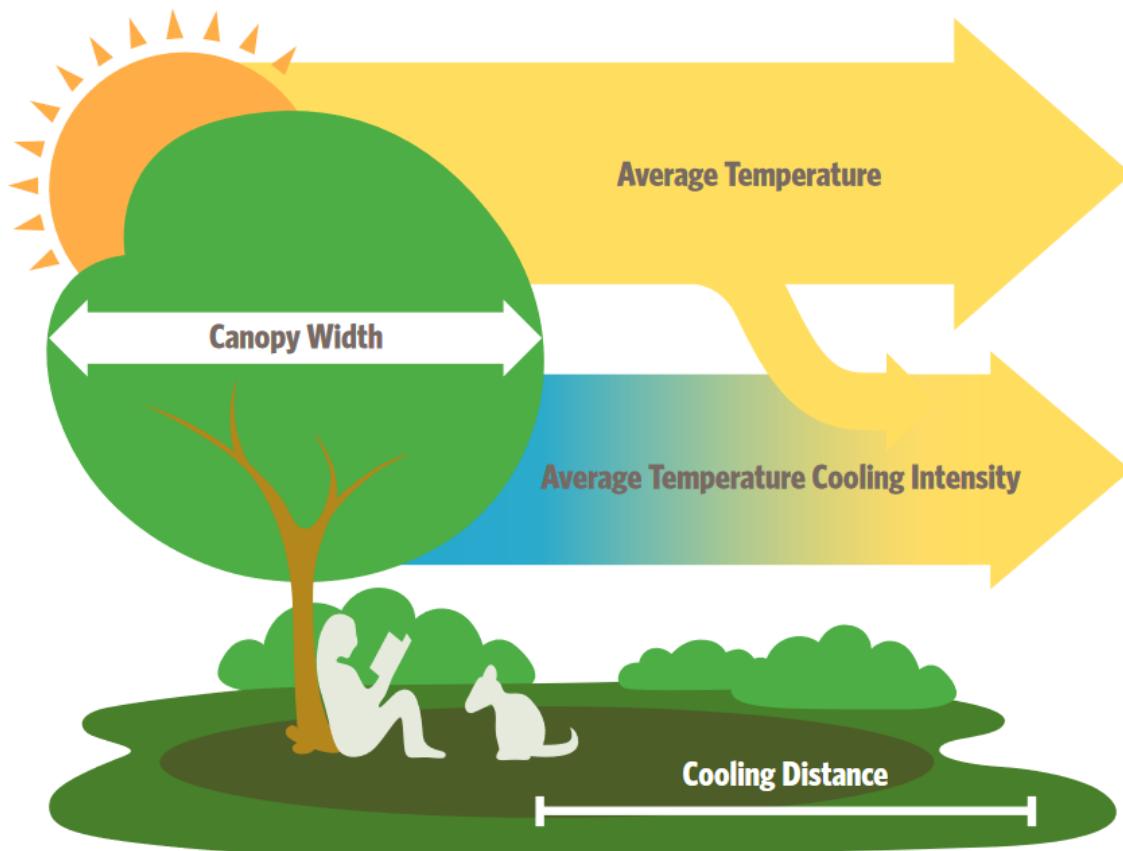
- **lucode**: *int* – Código da classe de uso do solo
- **kc**: *float* – Coeficiente de colheita (razão de evapotranspiração para o tipo de vegetação)
- **green\_area**: *int* – Valor booleano de identificação se classe é **vegetação** (1) ou **não-vegetação** (0)
- **shade**: *float* – Proporção de área da classe coberta por dossel de árvores de pelo menos 2 metros de altura
- **albedo**: *float* – Proporção de radiação solar refletida pela superfície da classe de uso do solo
- **building\_intensity**: *float* – Razão de área construída pela área total

Essas condicionais devem ser avaliados de acordo com cada classe de uso do solo. A classificação do uso do solo deve especificar suas classes considerando essas condicionais como fator de impacto. Agregado à esses dados de entrada, complementa-se ao modelo dados de referência das condições meteorológicas da área de estudo, sendo elas:

- **Reference Air Temperature** ( $^{\circ}\text{C}$ ) - Temperatura média de referência em área rural, onde o efeito de ilha de calor urbana não é observado
- **UHI Effect** ( $^{\circ}\text{C}$ ) - Urban Heat Island. Diferença entre temperatura média de áreas rurais e temperatura máxima observada em áreas urbanas.
- **Air Blending Distance** (m) - Raio sobre o qual se calcula a média das temperaturas do ar para contabilizar a mistura do ar.
- **Maximum Cooling Distance** (m) - Distância sobre quais áreas verdes maiores que 2 ha possuem efeito de resfriamento
- **Cooling Capacity Method** (booleano) - Método de predição da temperatura do ar. Daytime x Nighttime

O Heat Mitigation Index (HMI) e o Cooling Capacity Index (CCI) são conceitos usados em análises ambientais para avaliar a capacidade de uma área em mitigar o calor e, embora relacionados, possuem enfoques diferentes. Ambos podem ser utilizados em modelos como o InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs), mas desempenham papéis distintos no contexto de mitigação de ilhas de calor. Vamos explorar as diferenças entre eles:

#### 1. Cooling Capacity Index (CCI)



1.1. Definição: O Cooling Capacity Index (CCI) mede a capacidade inerente de uma área (geralmente coberturas vegetais) em reduzir ou mitigar o aumento da temperatura ambiente. O CCI está

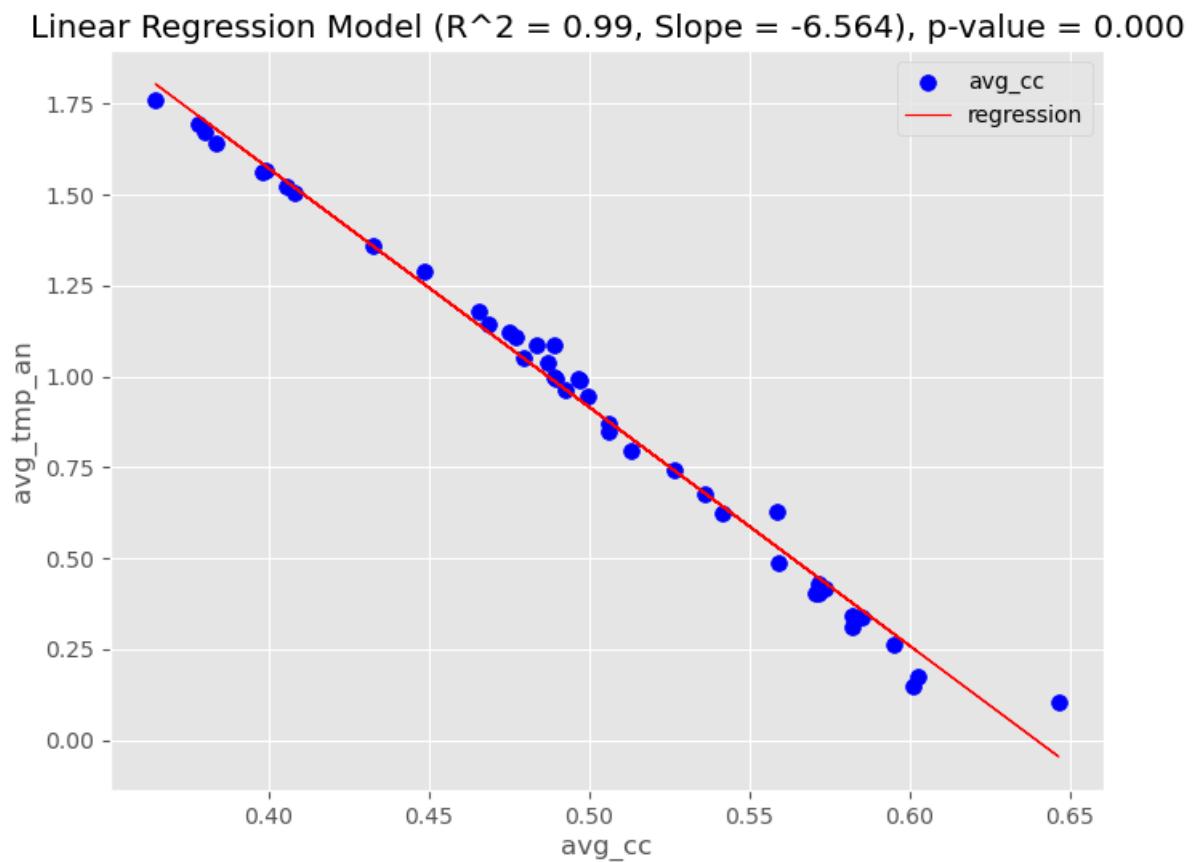
relacionado a características físicas de uso do solo que contribuem para o resfriamento, como áreas verdes, parques, florestas urbanas, superfícies de água, etc

$$CCi = 0.6 \cdot shade + 0.2 \cdot albedo + 0.2 \cdot ETI$$

1.2. Objetivo: Avaliar a potencialidade natural de uma área para reduzir o calor, sem levar em consideração necessariamente o efeito real na temperatura

1.3. Fatores influenciadores: Cobertura de vegetação (principalmente árvores e gramados). Presença de superfícies de água (lagos, rios, áreas úmidas). Tipo de solo (solo permeável vs. pavimentado)

1.4. Aplicação: O CCI é útil para identificar áreas com alto potencial de resfriamento natural e pode ser usado para guiar decisões sobre onde manter ou melhorar infraestrutura verde em áreas urbanas.



O gráfico apresenta a dispersão (scatter plot) com uma regressão linear entre duas variáveis:

Eixo X: Representa o Average Cooling Capacity (avg\_cc).

Eixo Y: Representa o Average Temperature Increase (avg\_tmp\_an).

Principais informações do gráfico:

$R^2$  (Coeficiente de Determinação): O valor de 0.990 indica que o modelo de regressão linear ajusta-se muito bem aos dados. Isso significa que 99% da variação na variável dependente (aumento médio de temperatura) pode ser explicada pela variável independente (capacidade de resfriamento médio). Em outras palavras, há uma forte correlação entre essas duas variáveis.

Coeficiente angular (slope b): O valor do coeficiente angular é -6.564, indicando que para cada aumento unitário em avg\_cc, o aumento médio da temperatura (avg\_tmp\_an) diminui em aproximadamente 6.564 unidades. Isso reforça a ideia de que há uma correlação negativa entre as duas variáveis: à medida que a capacidade de resfriamento aumenta, o aumento médio da temperatura diminui.

Significância dos coeficientes (P-value): Os valores de P-value (0.000) indicam que tanto a constante quanto o coeficiente angular são estatisticamente significativos, ou seja, existe uma relação real entre avg\_cc e avg\_tmp\_an.

Interpretação geral:

Há uma relação inversamente proporcional forte entre a Cooling Capacity e o aumento de temperatura. Áreas com maior capacitação de resfriamento estão associadas a um menor aumento de temperatura, o que é esperado em termos de mitigação de ilhas de calor. O gráfico também sugere que o modelo linear é uma boa representação dessa relação, dado o alto valor de  $R^2$  e a linearidade clara entre as duas variáveis.

## 2. Heat Mitigation Index (HMI)

2.1. Definição: O Heat Mitigation Index (HMI), por outro lado, é uma medida que considera tanto a capacidade de resfriamento de uma área quanto o seu impacto real na redução da temperatura. Ou seja, o HMI considera como a presença de áreas com alto CCI impacta efetivamente as temperaturas locais, levando em conta não apenas a capacidade inerente de resfriamento, mas também o efeito de mitigação que já está ocorrendo

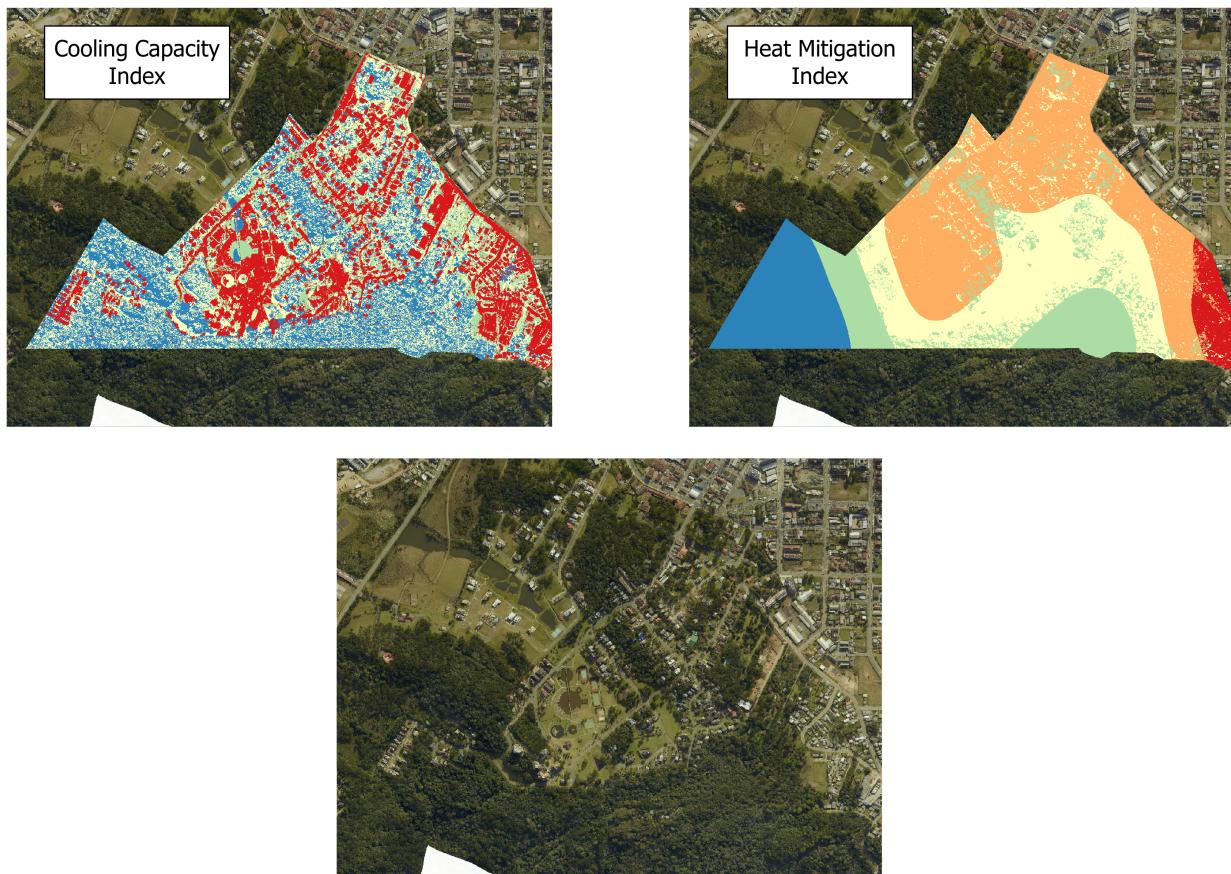
2.2. Objetivo: Avaliar o efeito real de mitigação de calor que uma área ou cobertura vegetal está proporcionando para o ambiente circundante, além do potencial teórico

2.3 Fatores influenciadores: Fatores similares ao CCI (cobertura verde, superfícies de água, etc.). Consideração dos efeitos locais de microclima e aumento de temperatura real na área

2.4. Aplicação: O HMI é mais específico para análises de impacto atual de políticas e práticas urbanas sobre o calor, sendo utilizado para monitorar áreas onde o resfriamento já está acontecendo ou onde é necessário melhorar a mitigação.

Diferenças Principais:

- Foco: CCI foca no potencial de resfriamento natural de uma área, baseado em suas características de uso do solo. HMI foca no efeito real de mitigação de calor, considerando o impacto atual das características da área na redução da temperatura.
- Aplicação: CCI é mais usado em planejamento e avaliação de potencial de resfriamento, sendo uma métrica preditiva sobre o que poderia acontecer se determinada área verde fosse mantida ou aumentada. HMI é uma métrica de monitoramento e análise do efeito que a área já está causando em termos de redução do calor. Pode ser usado para avaliar a eficiência das estratégias de mitigação já implementadas.
- Escopo: O CCI é frequentemente mais utilizado em avaliações ecossistêmicas e na infraestrutura verde urbana, enquanto o HMI pode ser usado em análises mais abrangentes de impacto climático em áreas urbanas.



Resumo:

- **CCI:** Mede o potencial de resfriamento de uma área baseado em suas características.
- **HMI:** Avalia o impacto real de mitigação de calor e o efeito que áreas com alto CCI estão gerando no ambiente em termos de temperatura.

Esses dois índices, quando combinados, são poderosos para embasar políticas urbanas que busquem reduzir o efeito das ilhas de calor em áreas metropolitanas, orientando decisões sobre preservação e criação de infraestruturas verdes. O modelo InVEST, especificamente, utiliza esses conceitos para ajudar a quantificar os serviços ecossistêmicos prestados por diferentes tipos de uso do solo em contextos de planejamento urbano.

O resultado deve ser uma intersecção entre ambos os indicadores, utilizando o CCI em escala de quadras e/ou lotes anível de simulação, enquanto o HMI serve como aspecto de desenho atual da situação de ilha de calor na cidade de Canela.

A proposta é estabelecer um EBA para pixels de ilha de calor, algo como um ECUA (Equivalent Cooling Urban Area) ou AUER (Área Urbana Equivalente de Resfriamento)

- ADENDO In plain words, if the amount of green spaces surrounding a pixel (GA) is less than 2 ha, the value of *HM* on the pixel equals *CC* (Eq. 5c), assuming little cooling effect outside the park other than through air mixing due to atmospheric turbulence (defined by *rmix*). The threshold size of 2 ha is obtained from the literature (Bowler et al., 2010; also see Discussion)

### Classificação não-supervisionada de Uso do Solo

Visto os problemas de classificação generalizada do MapBiomas, optou-se pela classificação do uso e superfície do solo a partir da Ortofoto disponível na plataforma [SIGWEB](#) de Canela.

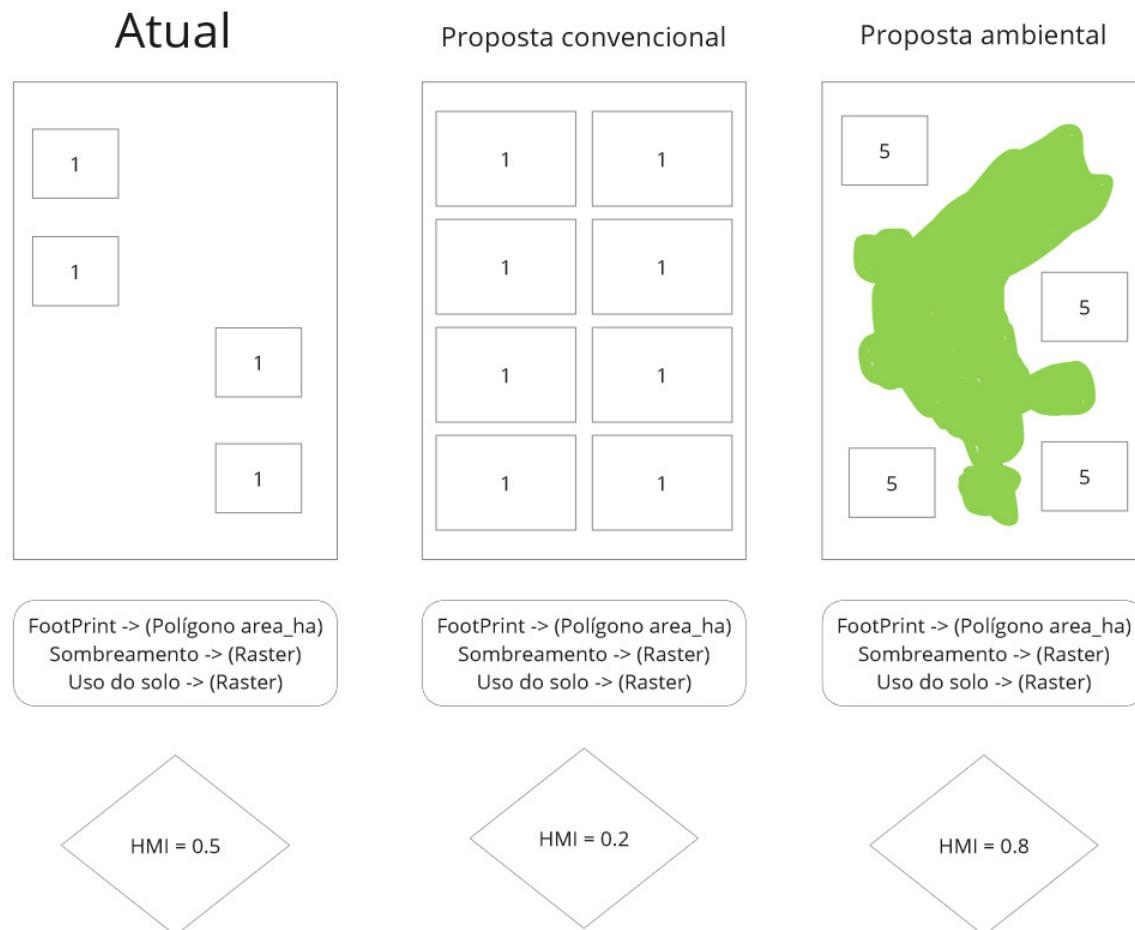
O método de classificação utilizado foi o algoritmo de agrupamento K-means para classificação não supervisionada das classes de uso do solo, afim de criar um primeiro esboço de classes gerais para o ambiente urbano.

Como recurso para classificação, foi utilizado o vetor de polígonos dos edifícios como máscara durante o processo, podendo assim evitar maiores erros durante, como intervenção de sombras sobre o teto de edificações, podendo confundir com classes do tipo vegetal.

Visto a escala dos pixels da ortofoto (0.08m), foi necessário reduzir a qualidade para pelo menos 1m, para tornar possível a execução do K-means para a ortofoto toda de uma vez, visto que a segmentação da imagem, classificando uma por uma provocava desconexão entre as classes de uma imagem para outra.

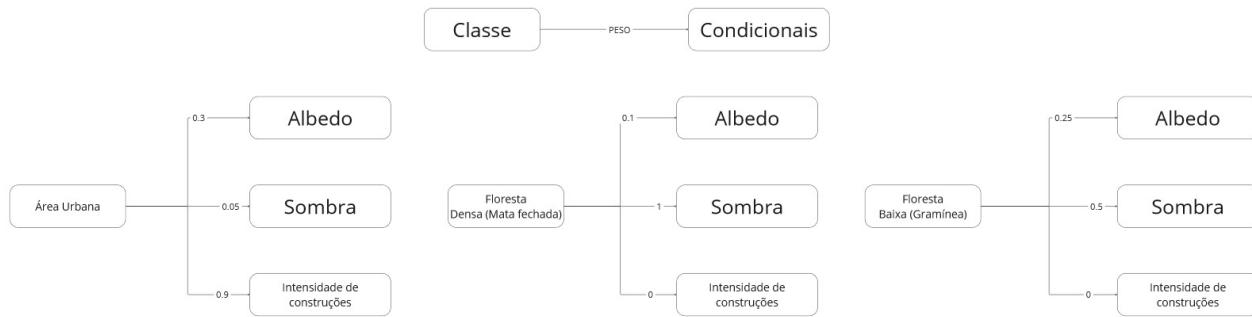
## Fluxograma do processo

### Simulação de HMI a partir de propostas



\*HMI = Heat Mitigation Index

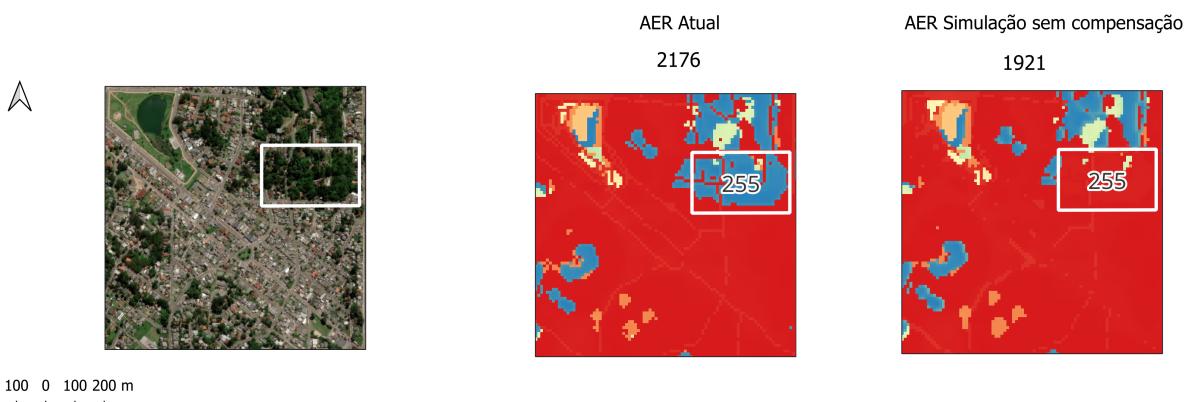
### Definição de classes e atributos



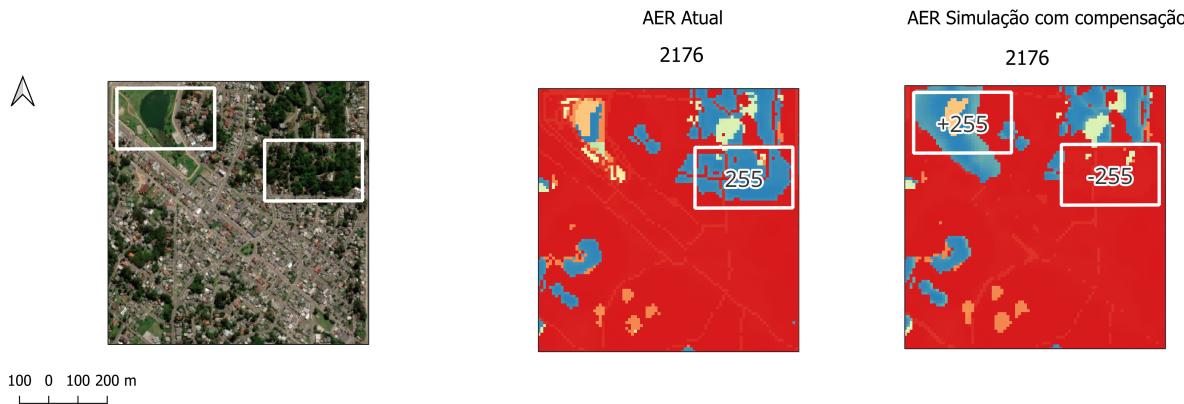
## Prova de Conceito

Como evidência amostral, isolamos a UV 37, referente a UV do Parque do Lago, para que fosse possível estimar valores de temperatura e potencial de mitigação de calor com diferentes propostas de compensação vegetal. Como é uma área com um parque pouco arborizado, a proposta buscou estabelecer 3 cenários - sem compensação, compensação vegetal concentrada no parque e compensação vegetal distribuída sobre as vias do quadrante da UV. A ideia da simulação é poder estimar possibilidades de compensação, servindo como uma ferramenta de inteligência para os setores de planejamento e meio ambiente possam usufruir para melhor tomada de decisão.

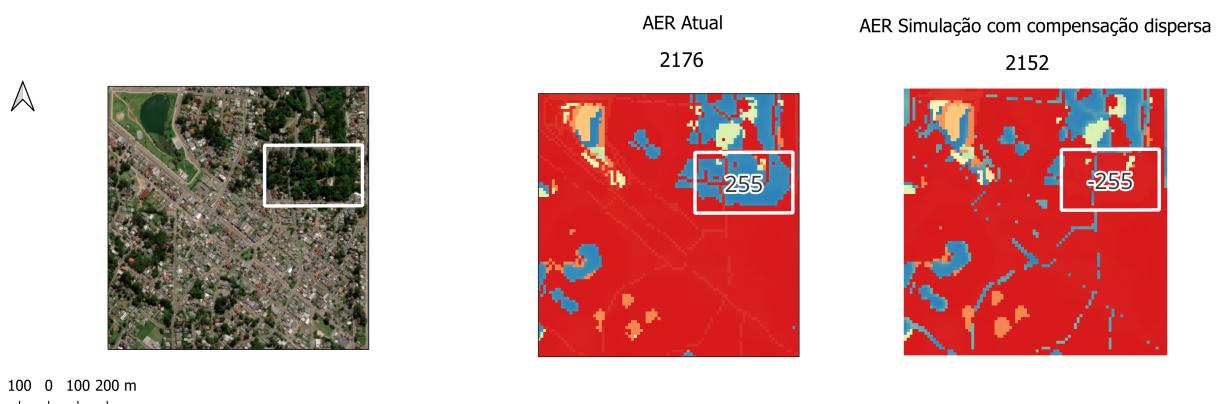
- Temperatura anual média - 18,4 °C (CCI *mean* = 0.274 = 5ha)
- Temperatura anual média simulada sem compensação - 18,7 °C (CCI *mean* = 0.242 = 5ha)



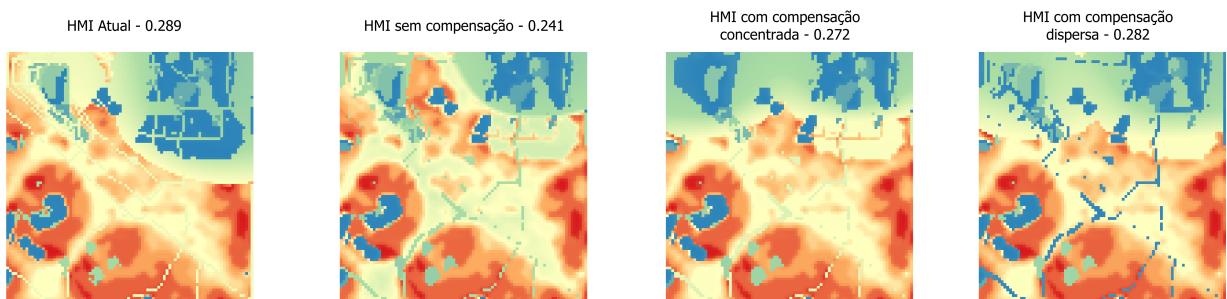
- Temperatura anual média - 18,4 °C (CCI *mean* = 0.274 = 5ha)
- Temperatura anual média simulada compensação concentrada em praça - 18,5 °C (CCI *mean* = 0.274 = 5ha)



- Temperatura anual média - 18,4 °C (CCI *mean* = 0.274 = 5ha)
- Temperatura anual média simulada compensação dispersa em vias - 18,6 °C (CCI *mean* = 0.271 = 6ha)



- Indicadores de Mitigação de Calor nas diferentes formas de compensação vegetal



## Resultados obtidos

- Configuração Atual -

## Problemas observados e limitações

## Aprimoramentos previstos

## Referências

<https://egusphere.copernicus.org/preprints/2023/egusphere-2023-928/egusphere-2023-928.pdf>. Acesso 30/10/2024;