

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MÉDÉRIC ALAIN EDOUARD MERTZ

NEBLINA COMO FONTE ALTERNATIVA DE ÁGUA E  
POTENCIAL CAPTAÇÃO E USO

CURITIBA

2022

MÉDÉRIC ALAIN EDOUARD MERTZ

NEBLINA COMO FONTE ALTERNATIVA DE ÁGUA E  
POTENCIAL CAPTAÇÃO E USO

Relatório Técnico apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista, Curso de Especialização MBA em Gestão Ambiental, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Professora Doutora Selma Aparecida Cubas

CURITIBA

2022

## AGRADECIMENTOS

Meus primeiros agradecimentos vão para minha esposa, que sempre entendeu a importância desse trabalho para mim, e que conseguiu me deixar espaços enquanto nós estávamos tornando-se país.

Gostaria também de agradecer à minha orientadora Professora Doutora Selma Aparecida Cubas que comprou de primeira, meu tema de trabalho de fim de curso.

E por fim, agradeço à Universidade de Iowa pelos dados e também a todos os cientistas que me concederam os trabalhos deles, em particular Robert Schemenauer, quem trocou informações comigo sobre o *fog harvesting*.

## RESUMO

Os impactos na sociedade estão mais visíveis que nunca e poderão no longo prazo levar a situações extremas de racionamento, doenças, conflitos e migrações. É imprescindível melhorar a governança e a gestão da água. Como fonte de água alternativa, o *fog harvesting* pode ser uma das demonstrações de gestão sustentável da água que o Brasil precisa. Nesse TCC, um trabalho extenso de revisão da literatura foi executado sobre a coleção de água de neblina e seu potencial uso no Brasil. Foi analisado que os captadores de água de neblina representam uma oportunidade para as áreas sujeitas a neblina no Brasil e que podem servir em várias aplicações como projetos sociais, florestais e/ou comerciais. Em seguida, foi feito trabalho de mapeamento global do Brasil sobre ocorrência de neblina usando os boletins meteorológicos METAR gerados pelos aeroportos. A região SUL do Brasil é a mais propícia ao *fog harvesting*, com as taxas mais altas de ocorrências de neblina. Também, esta região é uma boa candidata pelo contexto econômico/social e as consequências recentes das últimas secas. Curitiba é a cidade do país com mais nevoeiro e névoa úmida, seguido por Foz de Iguaçu. Zonas serranas como em Santa Catarina e Rio Grande do Sul mostram também alto potencial. Com esses resultados, é imprescindível acertar, dentro dessas macrorregiões, lugares precisos com o maior potencial de coleção e fazer medições em campo.

Palavras chaves: neblina, névoa, coleta, captação, água, fonte alternativa.

## ABSTRACT

Impacts on Brazilian society are more visible than ever and will lead at long-term, to extreme situations of rationing, illnesses, conflicts, and migrations. It is mandatory improving governance and water management. As alternative water source, *fog harvesting* can be one of the instruments to demonstrate water sustainable management that Brazil needs. In this work, an extensive study has been carried out about fog water collection bibliography and its potential use in Brazil. It has been highlighted that fog collectors could represent a great opportunity for Brazil regions where fog occurrence is high. Exist several applications of water fog collection, especially in social, forest or commercial projects. Nevertheless, mapping fog high-occurrence areas remains complicated. After this revision, a macro-mapping of fog occurrence in Brazil is done thanks to METAR data from airports. As main result, South region of Brazil is the most auspicious in terms of fog occurrence. Addition to that, this region is a good candidate seeing at socio-economical context and consequences of last water shortages. Curitiba is the city with higher rate of fog occurrence, Foz de Iguaçu in second place. Mountain regions located in Santa Catarina and Rio Grande do Sul showed also great potential. Local measurements campaign in Curitiba city is the next step to confirm economical viability of this technology in this region of Brazil.

Key words: fog harvesting, fog collection, fog, mist, water

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	6
1.2 OBJETIVO GERAL	7
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.4 JUSTIFICATIVA	7
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>8</b>
2.1 CONTEXTO DA ÁGUA NO BRASIL	8
2.2 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA	10
2.3 FOG HARVESTING	12
2.3.1 Ordens de grandeza	13
2.3.2 Aplicações e impactos quanto à utilização da água de neblina.	14
2.3.3 Teoria e Tecnologia para captação de água de neblina	15
2.3.4 Material utilizado na superfície do coletor	17
2.3.5 Localização para instalação de coletores	19
2.3.6 Mapeamento global dos projetos	19
2.3.7 Desvantagens e vantagens	21
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>23</b>
3.1 MATERIAL E FERRAMENTAS	23
3.1.1 Dados meteorológicos	23
3.1.2 Ferramentas	23
3.2 MÉTODO - ESTUDO GLOBAL METEOROLÓGICO	23
3.3 ESTUDO DE CASO: CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA	24
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>25</b>
4.1 FOG HARVESTING NO BRASIL	25
4.1.1 Oportunidades	25
4.1.2 Ameaças	26
4.1.3 DATASET1 - Comparação de 39 aeroportos brasileiros no ano 2014	26
4.1.4 DATASET2 - Outros aeroportos de interesse	29
4.1.5 - Regiões favoráveis para captação de neblina	29
4.2 ESTUDO DE CASO – CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA	31
4.2.1 Ocorrência de neblina na região de Curitiba	31
4.2.2 Direção e intensidade do vento	31
4.2.3 Determinação de lugares para possíveis instalação	32
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>34</b>
<b>6 REFERÊNCIA</b>	<b>36</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

De acordo com o último relatório de 2021 da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre a água, a demanda por água no mundo cresce a cada ano de 1% e a estabilização está prevista apenas em 2050. Os conflitos internacionais sobre este recurso se intensificam,  $\frac{1}{3}$  do planeta hoje não tem acesso à água e o estresse hídrico já afeta mais de 2 bilhões de pessoas ([ONU, 2021](#)).

No Brasil, apesar de concentrar aproximadamente 12% de toda a água doce do mundo, a escassez hídrica já está presente em diferentes regiões do país. Os efeitos da mudança no clima já estão presentes, resultando em estiagens prolongadas como, por exemplo, o que aconteceu entre os anos de 2019 e 2021 no sul do Brasil.

Portanto, buscar soluções alternativas torna-se imprescindível, principalmente as que envolvem o uso racional da água e a conservação, possibilitando a reabilitação de ecossistemas naturais e o desenvolvimento de processos naturais em ecossistemas modificados ou artificiais.

Uma fonte de água alternativa, ainda não muito difundida, mas já pesquisada há décadas, consiste em captar a água contida na neblina, geralmente denominada na literatura como “*fog harvesting*”. Essa tecnologia se inspira diretamente na capacidade de algumas espécies vegetais e animais de captar água atmosférica naturalmente como, por exemplo, o cacto, a acácia ou uma simples teia de aranha ([BOULOC, 1993](#)).

Especificamente, tomando como exemplo a teia de aranha, vem sendo investigado o potencial de um sistema coletor, que consiste em uma rede fina esticada frente ao vento predominante, interceptando gotículas de água contidas na neblina. Estas pesquisas iniciaram a mais de meio século, porém ainda não há uma expansão em larga escala ([QADIR et al., 2021](#)).

Uma das instalações mais representativa dessa tecnologia está localizada no Marrocos, com 31 coletores, representando 1.700m<sup>2</sup> de área coletora, abastecem 16 vilarejos localizados numa região muito árida, com 37.400 litros de água produzidos por dia, em média<sup>1</sup>. No Brasil, as iniciativas ainda são poucas e sem muito aprofundamento técnico-científico, nenhuma em escala de grande porte, sendo muitas delas caseiras ou amadoras.

---

<sup>1</sup> <https://www.africa.com/morocco-harvesting-water-fog/> Acesso 06/2021

Assim, este trabalho pretende pesquisar sobre as tecnologias associadas ao *fog harvesting*, os fenômenos físicos envolvidos e os impactos econômico-sociais e potencial de uso, bem como avaliar o potencial de uso no Brasil.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar as tecnologias associadas ao *fog harvesting*, como fonte de captação de água potável e o potencial de uso no Brasil, destacando Curitiba e Região Metropolitana.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Pesquisar sobre *Fog Harvesting* no Brasil, considerando as oportunidades e ameaças.
- Avaliar a possibilidade de aplicação da tecnologia em Curitiba e Região

## 1.4 JUSTIFICATIVA

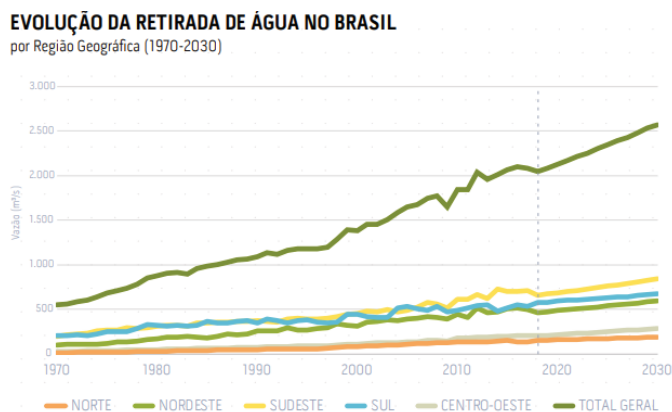
“Brazil needs to treat [...] water as a national security priority.” [Getirana, Libonati e Cataldi \(2021\)](#) resumiram com precisão a situação atual; o Brasil está enfrentando a sua pior crise hídrica e as reservas de água estão no seu nível mais baixo. Os impactos na sociedade estão mais visíveis que nunca e poderão no longo prazo levar a situações extremas de racionamento, doenças, conflitos e migrações. É imprescindível melhorar a governança e a gestão da água. “Stable, long-term investment is needed to upgrade the nation’s water and power system” ([GETIRANA; LIBONATI; CATALDI, 2021](#)). Como fonte de água alternativa, o *fog harvesting* pode ser uma das demonstrações de gestão sustentável da água que o Brasil precisa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 CONTEXTO DA ÁGUA NO BRASIL

Similar ao contexto mundial, a demanda em água vem crescendo no Brasil ao longo dos anos com previsão de alta ([ANA, 2019](#)) conforme Figura 1.

FIGURA 1 - TRAJETÓRIA DA DEMANDA EM ÁGUA NO BRASIL



FONTE: [Informe Anual 2019 - Conjuntura Recursos Hídricos - Agência Nacional de Águas](#)

Se avaliado o território brasileiro, a situação quanto a disponibilidade de água doce não é crítica, se comparado com outros países do médio-oriente, uma vez que, possui cerca de 12% da disponibilidade de água doce do mundo. Mas, essas **reservas não estão bem distribuídas** através do **território brasileiro**.

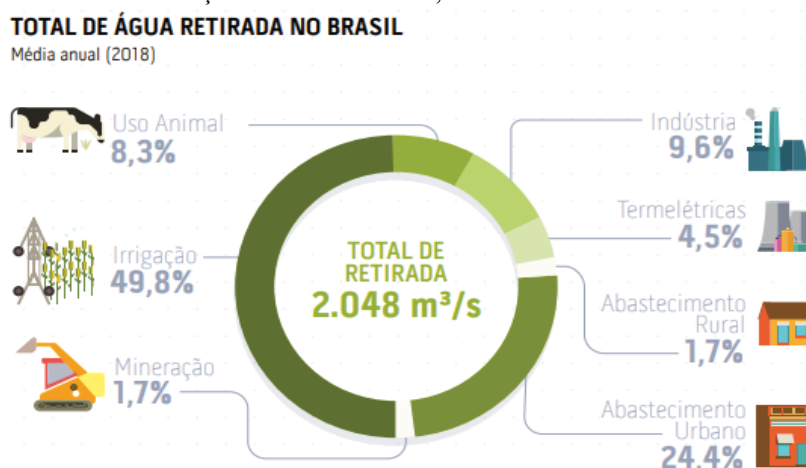
A região Norte concentra quase 70% da água do país para somente 5% da população brasileira. Nas regiões litorais onde têm as grandes metrópoles representando 45% da população, os recursos hídricos compõem somente 3% da água do país<sup>2</sup>. Há **várias dessas regiões** passando desde alguns anos por **estresse hídrico**, cada ano mais intenso. “*Brazil needs to treat [...] water as a national security priority.*” [Getirana, Libonati e Cataldi \(2021\)](#) resumiram com precisão a situação atual: o Brasil está enfrentando a sua pior crise hídrica e as reservas de água estão no seu nível mais baixo. Contudo esta diferença é ainda maior quando a comparação é por critério social, pois aproximadamente 35 milhões de brasileiros não têm ainda acesso à água tratada<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil>. Acesso 06/2021

<sup>3</sup> Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS 2020 citado por <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/agua> Acesso 06/2021

Os setores que mais retiram água são a **agropecuária** e **abastecimento urbano** detalhando que mais de 50%<sup>4</sup> da água para agricultura se evapora enquanto mais de 80% da água para abastecimento urbano é devolvida (FIGURA 2).

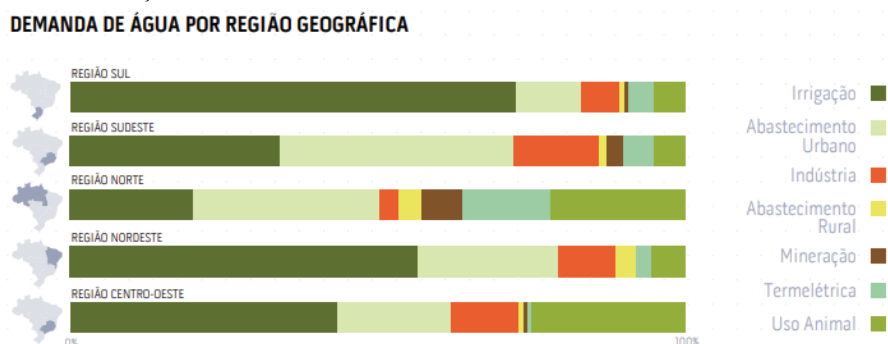
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO POR SETORES, DA RETIRADA DE ÁGUA NO BRASIL



FONTE: [Informe Anual 2019 - Conjuntura Recursos Hídricos - Agência Nacional de Águas](#)

Considerando a distribuição de água por região, observa-se que a retirada de água depende muito da região. A FIGURA 3 mostra que na região sul o maior uso é para a irrigação, entretanto na região sudeste e norte o maior uso é para o abastecimento urbano. O abastecimento rural é o setor que demanda menos água.

FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO POR REGIÃO DOS SETORES CONSUMIDORES DE ÁGUA NO BRASIL



FONTE: [Informe Anual 2019 - Conjuntura Recursos Hídricos - Agência Nacional de Águas](#)

Sobre o **consumo de água** pelos habitantes, o **brasileiro** consome mais que a média preconizada pela ONU que é de 110 litros/dia/habitante ([ONU, 2021](#)). Em 2019, a média do Brasil era de **154 litros/dia/habitante**<sup>5</sup>, podendo chegar até 200 litros em alguns estados,

<sup>4</sup> <https://www.eosconsultores.com.br/consumo-e-desperdicio-de-agua/>

<sup>5</sup> Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS 2020 citado por <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/agua> Acesso 06/2021

sendo um dos países mais consumidores de água no mundo. É **desperdiçado**, em média, **40%** de água tratada pela rede de distribuição<sup>9</sup> (foi calculado um volume que corresponde mais de 7.000 piscinas olímpicas de água potável desperdiçado por dia na escala do país inteiro<sup>6</sup>).

Levando em consideração as mudanças climáticas, os **períodos de estiagem** são cada vez mais frequentes. Por ser um país baseado no sistema hidrelétrico, já se percebe problemas sobre a geração de energia, aumento da tarifa, cortes, etc... Também, são várias cidades fazendo, desde há alguns anos, **rodízios de água**, principalmente nos estados das regiões Sul e Sudeste.

## 2.2 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

Pode-se dividir em cinco grandes categorias de captação no mundo: águas superficiais de **rio/nascente/represa/lago**; águas de **precipitações** (chuva, neve,..); água **subterrânea** (poço); água do **mar** (de-salinização); água **contida no ar/atmosférica** (condensação).

Atualmente no Brasil, o **abastecimento em água** provém principalmente das **águas superficiais** (rios, lagos, mananciais, etc..) e das **águas subterrâneas**<sup>7</sup>. Esses tipos de captação de água já estão muito bem definidos, os métodos de extração bem conhecidos e várias empresas públicas/privadas já estão muito bem implementadas nesse mercado.

O aproveitamento da água de chuva está particularmente crescendo<sup>8</sup> nos empreendimentos recentes, sejam comerciais ou particulares, promovendo sistemas de coleta de chuva compostos por **calhas, caixas, reservatórios e outras cisternas de água**. Algumas iniciativas estão sendo desenvolvidas sobre a **dessalinização** da água do mar na região do Nordeste<sup>9</sup> e em Fernando de Noronha. A **tecnologia** é **sensível** e mesmo sendo cada ano mais em conta, ela hoje fica **ainda muito cara** para cidades continentais de países em desenvolvimento como o Brasil<sup>10</sup>.

Sobre a **água contida no ar**, é apropriado destacar que de todos os modos de captação de água, ele é, de longe, **o menos desenvolvido no planeta** ([QADIR et al., 2018](#)). A FIGURA

<sup>6</sup> Perdas de Água Potável (2021, Ano Base 2019): Desafios Para a Disponibilidade Hídrica a ao Avanço da Eficiência do Saneamento Básico citado por

<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/agua> Acesso 06/2021

<sup>7</sup> <https://www.abc.com.br/especiais-agua/agua-no-brasil/> Acesso 07/2022

<sup>8</sup> <https://bluevisionbraskem.com/inovacao/captacao-de-agua-da-chuva-uma-alternativa-onde-ha-escassez/> Acesso 07/2022

<sup>9</sup>

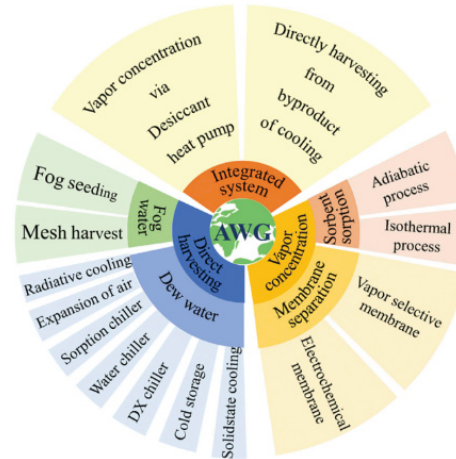
<https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2020/setembro/programa-de-dessalinizacao-do-governo-federal-e-reconhecido-por-associação-internacional> Acesso 08/2021

<sup>10</sup>

<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/02/dessalinizacao-no-semiarido-empaca-no-custo-para-ter-uso-e-m-larga-escala.shtml> Acesso 07/2022

4 mostra a classificação técnica de cada método de coleta de água atmosférica (TU *et al.*, 2018).

FIGURA 4 - CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA DOS MÉTODOS DE COLETA DE ÁGUA ATMOSFÉRICA A



FONTE: Tu *et al.* (2018)

Dos **dispositivos coletando água da neblina** (*Fog Water - Mesh Harvest*). Os colectores de neblina são dispositivos compostos principalmente por uma rede vertical esticada, uma estrutura/pilares e um dispositivo colector/calha (FIGURA 5).

FIGURA 5 - CAPTADOR DE NEBLINA NO IÊMEN



FONTE: <https://www.globalcitizen.org/fr/content/facing-water-shortages-war-ravaged-yemen-turns-to/> Acesso 06/2021.

O princípio de criação da água líquida é a passagem pelo vento da neblina (ar saturado em água) através da rede que consequentemente vai interceptar as gotas d'água (SCHEMENAUER, CERECEDA, 1994). Mesmo sendo pouco divulgado, esses coletores foram objetos de numerosos destaques nos países onde a neblina é frequente e o acesso à água difícil por ter um clima desértico. Há significantes projetos no Chile, Morocco e outros países

onde o acesso à água está muito precário ([QADIR et al., 2018](#)). É essa tecnologia que será investigada mais em detalhes nas próximas partes.

### 2.3 FOG HARVESTING

É em primeiro lugar a natureza que faz uso da água contida no ar; existem várias espécies animais e vegetais que a usam, às vezes sendo a única fonte de água. Entre outros, a **copa das florestas úmidas**, que recolhe **água atmosférica**, pode representar **até 30%** de todos os recursos hídricos dessas florestas ([ELLISON et al., 2017](#)). Outros vegetais adeptos dos climas áridos também desenvolveram aptidão para recolher a água de neblina (FIGURA 6a). Os primeiros rastros conhecidos são levantados na ilha de Tenerife (Ilhas Canárias) onde os moradores costumavam colher a água das folhagens de uma árvore denominada *Garoé* ([MARZOL, 2005](#)) ilustrado na FIGURA 6b.

FIGURA 6 – TIPOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE NEBLINA

a) Captação de água atmosférica na natureza.



*Araneae* (spider web)



*Opuntia microdasys* (cactus)

b) Árvore “fonte” de água nas ilhas Canárias.

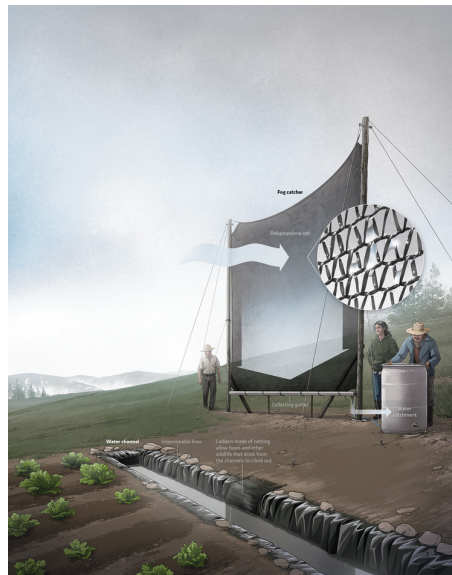


FONTE: a) Brown and Bhushan ([2016](#)). b) Reference object 1919,0415.827 from British Museum

As técnicas modernas de *fog harvesting* começaram no século XX<sup>o</sup> e foram aprimoradas até os dias de hoje. Os primeiros experimentos gravitaram principalmente entre África do Sul e Chile, regiões **áridas** com **alta ocorrência de neblina** e foram expandidas a outras regiões a partir dos anos 80. Qadir *et al.* ([2021](#)) mostraram o interesse cada vez mais crescente sobre o *fog harvesting* analisando mais de **350 publicações científicas** sobre o assunto de 1981 até 2020.

Atualmente existem vários modelos de captador de neblina, de diversas formas, de diversas configurações e de redes diferentes, das mais simples às mais elaboradas. Os trabalhos de pesquisa científica vêm sendo focados na **otimização do rendimento (*yield*)** desses coletores, com ajuste da direção, ângulo e posição deles, a configuração da malha e material da rede e também a climatologia local ([FESSEHAYE et al., 2014](#)).

FIGURA 7 - ILUSTRAÇÃO DE UM COLETOR PLANO TRADICIONAL NUM CONTEXTO AGRÍCOLA



FONTE: <http://www.matthewtwombly.com/fog-farm-world-wildlife-magazine> Acesso 06/2021

A maioria deles usa coletores com siglas SFC e/ou LFC. Os projetos de pesquisa de *fog harvesting* são geralmente feitos com um *Standard Fog Collector* - SFC (chamado também de ‘*neblinometro*’) definido por ([SCHEMENAUER, CERECEDA, 1994](#)) que é uma malha de 1m<sup>2</sup> de ‘Raschel’ mesh (ráfia) com coeficiente de sombreamento de 35% a 2 metros de altura, frente ao vento dominante. Foi criado no âmbito de poder ter valores de referência comparáveis entre os diferentes projetos do mundo inteiro. O LFC - *Large Fog Collector* é um coletor com uma área de coleção maior, os mais comuns sendo de 25 m<sup>2</sup> ou 48 m<sup>2</sup>.

### 2.3.1 Ordens de grandeza

Para se familiarizar rapidamente com o *fog harvesting*, os valores abaixo mostram ordens de grandeza. Dos coletores tradicionais planos, as áreas de coleta vão de **1 m<sup>2</sup>** até fazendas de coletores com **1700 m<sup>2</sup>** no total. O rendimento médio (*yield*) geralmente expresso em l/m<sup>2</sup>/dia vai **até 20 l/m<sup>2</sup>/dia** batendo máxima de até 66.5 l/m<sup>2</sup>/dia em Peru ([CORELL, 2014](#)). Cereceda et al. (2014) preconizam usar uma faixa média de **5 a 8 l/m<sup>2</sup>/dia** para

dimensionamento de projetos. Nos coletores tradicionais, é geralmente considerado um *yield* de 5 l/m<sup>2</sup>/dia, enquanto coletores mais avançados podem ir até 20 l/m<sup>2</sup>/dia. Dependendo do tamanho da instalação e do nível de tecnologia, o custo médio pode variar e é geralmente expresso em USD\$/m<sup>2</sup>. Ele vai de **25 a 50 USD\$/m<sup>2</sup>** para simples tecnologia (ráfia) e pode até chegar a **830 USD\$/m<sup>2</sup>** com as malhas mais eficientes do mercado. O custo do metro cúbico de água de neblina também varia, dependendo dos investimentos, tipos da instalação, se tiver incentivos, etc... de **1.4 USD\$/m<sup>3</sup>** até **16.6 USD\$/m<sup>3</sup>** (QADIR *et al.*, 2018). Comparando os valores da água, convertendo em dólares, a tarifa do metro cúbico da SANEPAR é de USD\$8,2. A duração de vida dos elementos, manutenção incluída, varia de **10 a 20 anos** (MUKERJI, 1993). Hoje têm coletores implantados em mais de 30 países, cujos 5 com a maioria das patentes registradas (Espanha, Alemanha, Chile, Estados-Unidos, Peru).

A ordem de comparação, a captação de água de chuva de uma casa com um teto de 50m<sup>2</sup> em Curitiba (1630mm precipitação anual) rende sem considerar as perdas, 80 m<sup>3</sup> de água enquanto um só coletor de neblina de 12 m<sup>2</sup> (3x4m) poderia coletar (considerando uma média anual de 10 l/m<sup>2</sup>/d) 43.8 m<sup>3</sup>.

### 2.3.2 Aplicações e impactos quanto à utilização da água de neblina.

A água sendo um recurso comum a todas as empresas e coletividades, uma infinidade de aplicações são possíveis: Agricultura/Agropecuária, bebidas, consumo diário particular ou de serviço, industrial ou florestal. A FIGURA 8 apresenta um exemplo de aplicação.

FIGURA 8: LINHA DE BEBIDAS ELABORADAS COM ÁGUA DE NEBLINA NAS ILHAS CANÁRIAS



FONTE: <https://agualalternativa.wordpress.com/productos/> Acesso 08/2021

Quanto aos impactos, os estudos citam que os impactos socioeconômicos estão na maioria revelados no caso do uso doméstico da água atmosférica, **destinado às comunidades** (QADIR *et al.*, 2018). A pessoa beneficiada pode economizar o tempo que gastava antes para obter água, para se dedicar a outra atividade, ou **economizar** o investimento financeiro de

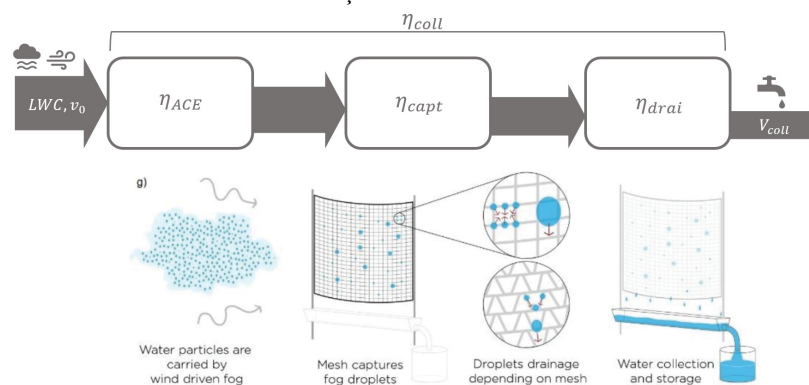
abastecimentos e/ou outros caminhões–pipa, gerando maior renda para a família. A **qualidade de vida** em geral é maior e pode gerar também localmente **emprego** para a instalação e a manutenção dos coletores. Por ser uma fonte de água bastante sustentável (sem precisar de fonte de energia), a **educação ambiental** dos envolvidos é também fomentada indiretamente.

Fessehaye (2014) e Qadir *et al.* (2018) mencionam que é primordial a **atuação e a responsabilidade da comunidade** na gestão do parque de captação. Projetos muito bem aceitos como em Marrocos ou na Guatemala estão ainda em total funcionamento enquanto outros falharam por limitação da participação ou por falta de cuidado dos dispositivos (o caso mais mencionado na literatura é o caso de El Tofo no Chile). Nos 2 primeiros projetos, foi destacado o **papel das mulheres** e o aumento da **equidade entre gêneros** dentro da comunidade.

### 2.3.3 Teoria e Tecnologia para captação de água de neblina

Rivera (2011) faz a distinção entre os três processos físicos que compõem a coleta de água de neblina (FIGURA 9): O transporte da gotícula na velocidade do vento  $v_0$  até a rede (**colecção aerodinâmica**), a **intercepção/captação** da gotícula pela malha e, que vai na sequência coalescer com outras gotículas e deslizar por gravidade, e emfim, a **drenagem** da gotícula até a calha. Ele introduziu a **eficiência do coletor**  $\eta_{coll}$  para explicar as perdas ao longo desse processo de coleta (FIGURA 9).

FIGURA 9 - ETAPAS DA COLEÇÃO COM AS EFICIÊNCIAS ASSOCIADAS



FONTE: Autor com imagens de Fernandez, Morichi e Calixto (2019) baseado em Rivera (2011)

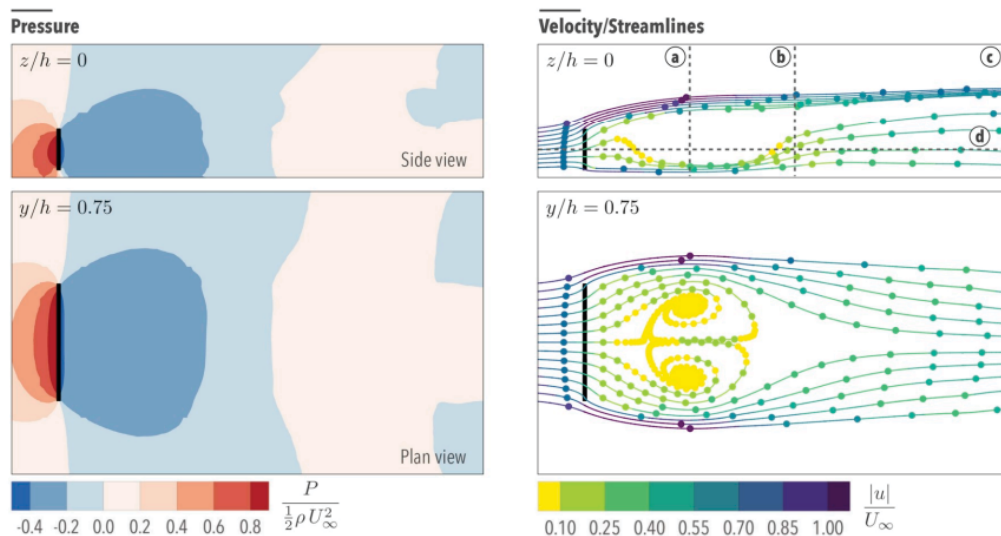
Numa medição feita em um LFC no Chile, Schemenauer and Joe (1989) encontraram experimentalmente uma eficiência de coleção  $\eta_{coll}$  ao redor de **20%**.

Regalado e Ritter (2016) estenderam os trabalhos de Rivera (2011) e de Park *et al.* (2013) e demonstraram que dos 3 fenômenos, **a coleção aerodinâmica é a mais limitante na eficiência total do coletor**. No melhor caso, com um simples coletor plano com malha tricotada chegaram a **22%**. Com um coletor formado com 4 linhas defasadas em formato harpa (unicamente fios verticais), chegaram até **40%**, ou seja 60% da água contida na neblina ainda não está interceptada.

Outras informações importantes que trouxeram a nível de geometria são sobre a velocidade do vento. Uma velocidade de vento de **2 m/s mínima** é necessária para ter uma boa eficiência, também como visto por Rivera (2011), a **concavidade** do coletor **aumenta a eficiência**.

Carvajal (2020) realizou a primeira simulação numérica com modelo de turbulência  $k - \epsilon$  em larga escala, em **três dimensões** e com **meio poroso** para representar o coletor. Ele obteve **28%** de eficiência considerando o mesmo coletor que Rivera (2011). Conseguiu pôr em evidência a evasão de uma grande parte das gotículas pelos lados do coletor e as turbulências geradas após o coletor (FIGURA 10).

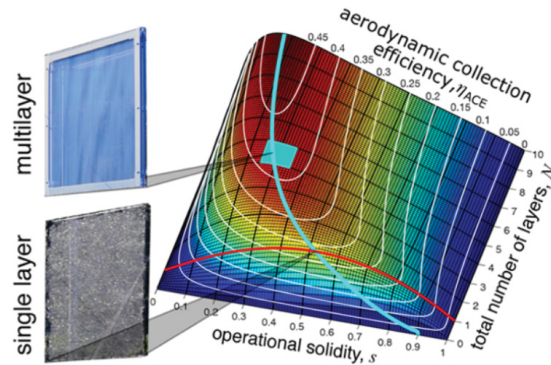
FIGURA 10 - PERFIL DE PRESSÃO/VELOCIDADE DE UM COLETOR PLANO



FONTE: Carvajal (2020)

Regalado e Ritter (2016) e depois, Azeem *et al.* (2020) revisitaram os trabalhos e modelos anteriores, introduzindo definitivamente a noção de coletor *multi-layer* (com um número  $N$  de fileiras). Encontraram uma eficiência ótima teórica de  $\eta_{ACE} = 40\%$  com um coletor tendo  $N = 4, 5$  fileiras com solidez  $s = 0, 3$  (FIGURA 11).

FIGURA 11 - EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA DE COLEÇÃO AERODINÂMICA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE FILEIRAS E A SOLIDEZ.

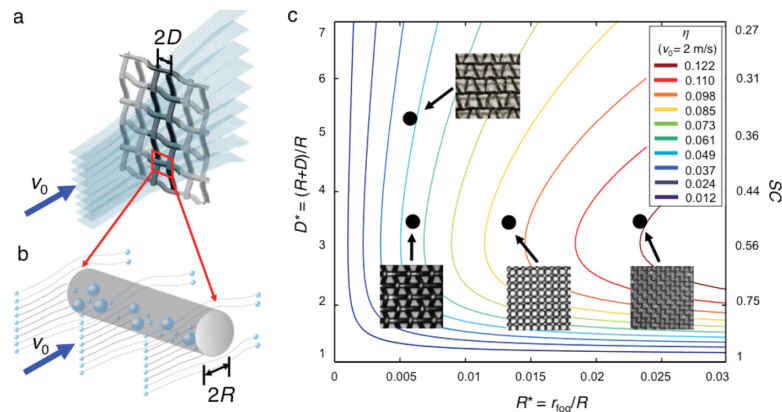


FONTE: Azeem *et al.* (2020)

Sempre terá que escolher uma solidez e diâmetro de fio **adequados** tanto para a eficiência aerodinâmica como de captação. Park *et al.* (2013) construíram um ábaco permitindo rapidamente de enxergar a eficiência  $\eta_{ACE} \times \eta_{capt}$  de uma malha em função das dimensões dela, apresentada na FIGURA 12.

FIGURA 12 – ÁBACO UTILIZADO PARA DETERMINAR A EFICIÊNCIA  $\eta_{ACE} \times \eta_{CAPT}$ , considerando:

- a) influência da passagem da neblina nas linhas de fluxo. b) ilustração da captação das gotículas que vão coalescer até cair. c) gráfico de eficiência em função das características da malha (raio fio, distância entre dois fios e coeficiente de sombreamento) e do raio de uma gotícula.



FONTE: Park *et al.* (2013)

### 2.3.4 Material utilizado na superfície do coletor

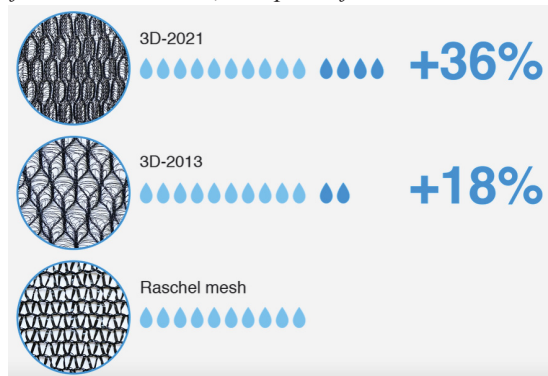
O material da superfície é também outra característica importante do coletor. Em particular, ele deve **resistir às condições climáticas** (raios UV, rajadas de vento, umidade), deve **favorecer a coleção** e também ser **produzido de preferência localmente** para facilitar a

manutenção e diminuir os custos de transporte (FUREY, 1998). Ser **leve** e com **preços acessíveis** são outros fatores mencionados respectivamente por Suau (2010) e Zapulla (2015).

Para coletores tipo malha, varios materiales já foram testados em particular **malhas de plásticos** como polietileno alta densidade (HDPE), polyamide/nylon (PA), polipropileno (PP), polyethersulfone (PES) e também **malhas metálicas** de aço inoxidável (SCHUNK *et al.*, 2018).

Sarsour *et al.* (2010) desenvolveram um tecido dito 3D melhorando a coleção, pesquisando vários polímeros e chegaram num design final que patentearam, com base de poliéster, chamado de “3D spacer fabric”. Essa malha está equipando atualmente os CloudFisher®. Em 2021, foi divulgada nova versão dessa malha, para qual Aqualonis<sup>11</sup> afirma um rendimento de +36% em relação à malha *Raschel* convencional (FIGURA 13).

FIGURA 13 - COMPARATIVO DE 3 MALHAS BASEADAS EM POLÍMEROS (convencional *Raschel Mesh*, *3D spacer fabric* versão 2013, *3D spacer fabric* melhorada versão 2021)



FONTE: <https://www.aqualonis.com/> Acesso 08/2021

Do lado dos coletores tipo harpa, o politetrafluoretileno (PTFE-Teflon) foi bastante usado nos primeiros coletores cilíndricos, mas se usou também o fio de nylon (PA-Polyamide) por ser mais barato (CORELL, 2014). Kowalski *et al.* (2021) mostraram que o aço inoxidável é um dos melhores materiais (sem revestimento) para coletor harpa.

Outra tendência é a deposição de um **revestimento** para aumentar a coleta. Esses revestimentos podem ser **hidrofóbicos**, **super hidrofóbicos**, **hidrofilicos** ou **super hidrofilicos** (ou combinações entre eles) para ajudar a aumentar a eficiência de drenagem. Azeem *et al.* (2020) relembrem baseado em estudos anteriores um importante fato que, o **tratamento de malha/harpa/material** por **solução/revestimento hidrofóbico e/ou**

<sup>11</sup> <https://www.aqualonis.com/> Acesso 08/2021

**hidrofílico** não mostra **durabilidade** sobretudo quando for exposto à umidade para um período largo.

### 2.3.5 Localização para instalação de coletores

Não basta ter o melhor coletor com a mais eficiente malha se ele estiver instalado no lugar errado. Para maximizar a coleta, o lugar de instalação deve compor principalmente com ocorrência de neblina e vento ([SCHEMENAUER e CERECEDA, 1994](#)). Mas outros fatores podem entrar no jogo. Em geral, antes de cada projeto, se instala em vários lugares, “**neblinômetros**” acompanhados de **mini-estações meteorológicas** para achar o lugar mais propício para coleta.

Ter um lugar com **vento numa direção predominante** é o ideal para o *fog harvesting* para poder orientar o coletor e maximizar a coleção. Como visto acima, **ventos acima de 2 m/s** são ideias para chegar em eficiências aerodinâmicas altas.

Na questão do aerodinamismo, é também importante que a zona em questão esteja **sem obstáculos**, para não perturbar o fluxo de ar ([SUAU, 2010](#)). A **altura do coletor do solo** também deve ser cuidada para evitar fenômenos de camada limite perto do solo. Schemenauer e Cereceda ([1994](#)) aconselham 2 metros acima do solo para o SFC.

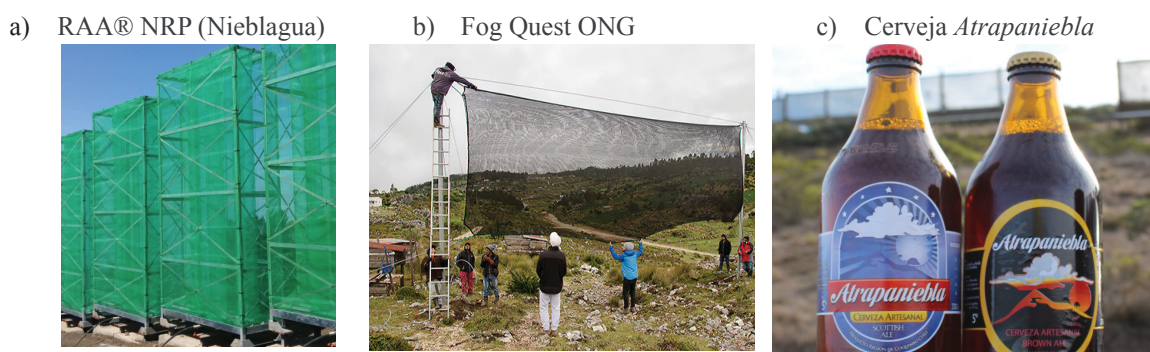
A distância até o uso final da água é um parâmetro a considerar visto que o encanamento compondo o sistema de distribuição pode rapidamente ultrapassar o custo do mesmo coletor ([SUAU, 2010](#)). No projeto chileno em Chugungo, os 6 quilômetros de **encanamento** representam mais de **um terço do custo total** da instalação ([MUKERJI, 1993](#)). Nos projetos de **reflorestação/recuperação de áreas degradadas**, a distância é mínima enquanto projetos comunitários podem apresentar vários quilômetros entre os coletores e as comunidades.

### 2.3.6 Mapeamento global dos projetos

Podemos dividir em **4 grandes categorias** os projetos de *fog harvesting*. A primeira sendo projetos à fins de **pesquisa**, geralmente para avaliar o potencial de coleção de um site ou a avaliação de uma tecnologia. A segunda tem mais um aspecto social de acesso à água para uso **doméstico**, geralmente conduzidos/apoiados por ONGs/entidades públicas. A terceira categoria tem uma vertente **comercial**, lucrando com a transformação e venda dessa água atmosférica e também um outro mercado de comercialização de dispositivos de coleção. A última categoria existe em relação a projetos ambientais e de **reflorestação**, luta contra

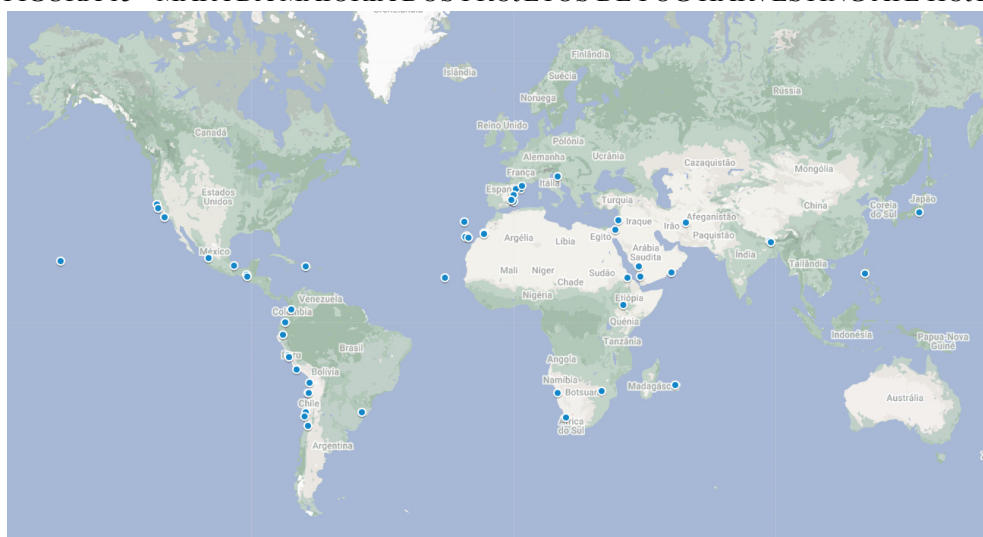
incêndios e apoio a fauna silvestre, trazendo água em áreas degradadas, com risco de incêndio ou com poucos pontos de água para a fauna. Baseado em Corell (2014) e na literatura dos novos projetos, atualizamos o **mapa dos principais sítios de fog harvesting** (FIGURA 15).

FIGURA 14 – EXEMPLOS DE PROJETOS DE FOG HARVESTING



FONTE: Respectivos websites. Acesso 05/2022

FIGURA 15 - MAPA DA MAIORIA DOS PROJETOS DE FOG HARVESTING ATÉ HOJE



FONTE: Autor com Google MyMaps

Pode-se identificar vários núcleos que são geralmente testemunhas de alta ocorrência de neblina. Entre eles, o **núcleo das ilhas** principalmente atlânticas, aproveitando a neblina criada por conta da umidade do mar e o relevo. Um outro núcleo significativo é localizado ao **longo da costa pacífica americana** sul, central e norte, por ter presença do oceano e das diferentes cordilheiras. Na África e na Ásia também, os sítios estão desenvolvidos em **áreas áridas nas latitudes do deserto do Saara**. A África do Sul é também um núcleo importante com um longo histórico de *fog harvesting*. Enfim, na Europa,

os principais sítios estão na Espanha, do lado do mar Mediterrâneo. Em termos de clima, a maioria desses núcleos estão **na faixa de clima árido** (*BWh*, *BWk*) definido por Köppen. Podemos notar também a quase **ausência** de projeto nas **fachadas leste** dos continentes (Atlântica, Indiana e Pacífica), incluindo o Brasil, correspondendo aos climas oceânico e subtropical úmido (famílias Cf e Cw na escala de Köppen).

### 2.3.7 Desvantagens e vantagens

A QUADRO 1 apresenta um conjunto das **vantagens** e **desvantagens** do *fog harvesting* baseado em Furey (1998), Suau (2010), Fessehayé (2014), e Ojani (2020).

QUADRO 1 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO FOG HARVESTING

Vantagens	Desvantagens
<b>Localização</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captação de neblina pode ser feita em <b>qualquer lugar</b> inclusive as áreas mais secas no momento que tiver ocorrência de neblina e também áreas remotas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode demorar <b>até 1 ano</b> para avaliar o potencial de captação de um sítio.</li> <li>• Se a localização do uso da água está <b>longe do lugar de captação</b>, o projeto pode ficar inviável devido aos custos de encanamento para distribuição e/ou transporte.</li> </ul>
<b>Social</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta a <b>qualidade de vida</b> (educação, saúde, etc..) e a equidade entre gêneros de comunidades</li> <li>• Induz <b>responsabilidade ambiental</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para uso em comunidade, necessidade da aceitação dos participantes (<b>adoção comunitária</b>)</li> <li>• Candidato ao <b>vandalismo</b></li> </ul>
<b>Legal</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ausência de política</b> nacional/regional/estadual de recursos hídricos considerando o fog harvesting</li> <li>• <b>Ausência de leis/regulamentações</b> específicas sobre fazenda de coletores e produção de água atmosférica</li> </ul>
<b>Produção</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção da água <b>sem intervenção humana</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flutuação da produção a cada ano devido à <b>irregularidade da neblina</b></li> <li>• Volume de produção <b>mais baixo</b> que para água de chuva ou água subterrânea.</li> </ul>
<b>Produto</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A água pode ter <b>vários usos</b>: doméstico, irrigação, reflorestamento, etc..</li> <li>• Em função da região (não industrial), a água coletada pode ser mais <b>saudável</b> que a água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Água pode ser <b>contaminada</b> por COV (compostos orgânicos voláteis), pó, insetos, pássaros, também mofos e outros microorganismos que crescem na rede ou</li> </ul>

<p>de manancial/solo/torneira</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A água produzida por fog harvesting representa uma <b>economia</b> na fatura de água</li> </ul>	<p>nas calhas.</p>
<b>Dispositivo</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peças <b>facilmente</b> disponíveis</li> <li>• Instalação <b>rápida</b> e não precisa de mão de obra qualificada.</li> <li>• <b>Pouca</b> manutenção</li> <li>• <b>Low cost</b> (comparando com outras fontes)</li> <li>• Possibilidade de dispositivos <b>modulares</b></li> <li>• <b>Não</b> precisa de <b>fonte de energia</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Poluição visual</b></li> <li>• Pouca resistência a <b>ventos/temporais</b></li> <li>• Dependendo da tecnologia e do projeto, o <b>investimento inicial</b> pode ser alto para pequenas comunidades</li> <li>• Se não tiver monitoramento remoto, o <b>acesso ao local</b> de coleta deve ser fácil.</li> <li>• O material das malhas, calhas e os encanamentos são feitos de <b>plásticos</b>. É necessário a definição de descarte final e de vida útil de todos os materiais utilizados.</li> </ul>

FONTE - Autor baseado em Furey ([1998](#)), Suau ([2010](#)), Fessehayé ([2014](#)), e Ojani ([2020](#)).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL E FERRAMENTAS

##### 3.1.1 Dados meteorológicos

O primeiro passo foi reunir os dados meteorológicos locais (incluindo presença de neblina) dos últimos anos. As estações meteorológicas automáticas implantadas no país inteiro permitem disponibilizar vários dados meteorológicos, mas ficam inviáveis no momento de testemunhar os fenômenos de neblina. A neblina não pode de maneira exata ser determinada sem a visibilidade horizontal. As fontes que parecem as mais confiáveis, robustas, padronizadas, fáceis de acessar, e com essa informação de visibilidade horizontal, estão ligadas à **aviação** (mesmo sendo limitadas apenas aos aeroportos).

Foi extraído dos boletins meteorológicos horários dos aeroportos METAR (*Meteorological Aerodrome Report*) do site da universidade americana estadual do IOWA<sup>12</sup>. O *Iowa Environmental Mesonet* (IEM) coleta diversos dados do meio ambiente e meteorológicos de vários pontos do mundo, em particular ele armazena todos os METAR de todos os aeroportos do mundo. Além dos dados meteorológicos, foi construído uma outra fonte contendo o código ICAO (*International Civil Aviation Organization*) de cada aeroporto, o nome do aeroporto, o estado, a região e o tipo de clima (via classificação de Köppen).

##### 3.1.2 Ferramentas

Os dados meteorológicos foram tratados com uma ferramenta de *Business Intelligence* denominada Spotifre® para poder criar gráficos e tabelas intuitivos, e facilitar a análise. Os gráficos de mapa estão baseados na projeção WGS84 (*World Geodetic System*) usado no próprio sistema GPS. Não teve tempo hábil de usar um SIG. No resto do trabalho, foi usado Microsoft Excel®.

#### 3.2 MÉTODO - ESTUDO GLOBAL METEOROLÓGICO

Para a avaliação da potencial captação e uso, foi realizado um estudo primeiramente global à escala do Brasil, para poder comparar as cidades brasileiras em termos de ocorrência

---

<sup>12</sup> <https://mesonet.agron.iastate.edu/>

de neblina, fazendo cruzamentos entre variáveis como altitude, tipo de clima, temperatura média, proximidade com serras/mar, etc... Foi selecionada em primeiro lugar, uma janela de estudo longa de 20 anos entre 2001 e 2021 de 77 aeroportos brasileiros, correspondendo a um total de 9.357.339 boletins METAR. Desses 77 aeroportos selecionados, apenas 25 (em geral as cidades mais importantes) têm emitido o mesmo volume de METAR a cada hora. Atrás dos demais aeroportos têm vários fatores explicando as diferenças, entre outros: emissão dos METAR não feita 24h; emissão dos METAR iniciada após 2001; ajuste interno no período de emissão dos METAR; crise aeronáutica de 2012; grande recessão de 2015/2016; COVID19.

Para poder simplificar a análise, a lista de aeroportos foi reduzida, pois alguns estão na mesma zona geográfica, e foi definido conforme a emissão dos boletins ao longo dos anos, resultando um dataset correspondente ao ano 2014 para 39 aeroportos. Foi incluindo também um segundo dataset com os outros aeroportos onde foi analisado, de uma maneira um pouco mais “manual” e selecionando somente os aeroportos de interesse que apresentam um potencial de *fog harvesting*.

### 3.3 ESTUDO DE CASO: CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

A cidade de Curitiba e Região Metropolitana foi selecionada por ter alto potencial de *fog harvesting*. Foi caracterizada a região metropolitana de Curitiba em termos geográficos e meteorológicos para prever uma eventual aplicabilidade. A zona de estudo de Curitiba está a **aproximadamente 950 m** acima do nível do mar e está cercada pela **Serra do Mar a leste** e pela **Serra de São Luiz do Purunã ao oeste**. Construída a cinco quilômetros da formação do rio Iguaçu (região de banhado), **cercada** por diversos **corpos de água** e situada a uns **40 quilômetros do mar**, o fenômeno de neblina é fomentado. Em 2003, 5,3% do total do ano foi coberto por neblina ([FRANÇA, 2008](#)). O clima é **oceânico de altitude (Cfb)** e tem uma **pluviosidade regular** ao longo do ano (~1500 mm/ano)<sup>13</sup>.

A região tem **alto consumo de água** (densidade de povoamento de ~230 hab/km<sup>2</sup>, 3,7 M. hab), e tem uma **alta concentração de empresas** (mais de 100.000 empresas na Grande Curitiba estão responsáveis por mais de 40% do PIB do estado do Paraná) e entidades governamentais/estaduais (cf. mapa em Anexo). Nos últimos anos, em Curitiba se implantou "rodízios" de água nos meses de inverno/primavera devido a forte estiagem na região, desta forma, projetos de *fog harvesting* podem ser uma alternativa de captação de água.

---

<sup>13</sup> [https://pt.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%A3o\\_Metropolitana\\_de\\_Curitiba](https://pt.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%A3o_Metropolitana_de_Curitiba) Acesso 07/2022

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 FOG HARVESTING NO BRASIL

Por haver uma imagem distorcida de país ‘tropical’, pessoas de outros países não imaginam que o **Brasil** atravessa inúmeros intensos **episódios de seca** e que precisa de **fontes alternativas de água**. Mesmo dentro do país, muitas pessoas ainda estão acostumadas a considerar a água como um bem ilimitadamente disponível.

Contudo, foram encontrados dois trabalhos científicos para a captação de água atmosférica de forma alternativa, sendo o primeiro focado na coleta de água por orvalho ([SILVA, 2018](#)) diferente da captação de água de neblina (em vez de coletar a água por intercepção da neblina, a água atmosférica é coletada numa superfície fria onde a água contida no ar quente vai passar do estado gasoso a líquido). O segundo trabalho ([FACHINETTO, 2017](#)) introduz a captação de água de neblina no município de Lajeado/RS. Infelizmente, essa pesquisa não é muito significativa no plano científico e a parte experimental resultou no **insucesso**.

#### 4.1.1 Oportunidades

Um estudo realizado por [Cereceda e Schemenauer \(1991\)](#) nas montanhas costeiras no Chile (altitude de 860 m) indicou que a frequência de ocorrência é **3 a 15 vezes maior** em altitude do que em locais costeiros de baixa altitude em latitudes similares. Da mesma maneira, no Brasil, as **regiões serranas perto do litoral** são as que mais apresentam o fenômeno ([FRANÇA, 2008](#)), aproveitando os ventos quentes do mar se esfriando ao contacto com as montanhas (principalmente Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo). Curitiba é a capital mais impactada: em 2003, **5,3% do total do ano** foi coberto por neblina ([FRANÇA, 2008](#)).

Outro ponto muito importante: essas regiões correspondem às mesmas que sofrem do **estresse hídrico** nos últimos anos e que compõem **45% da população brasileira**. É também onde tem uma **concentração importante de empresas** no país, conforme mapa em Anexo.

Portanto, as oportunidades no Brasil de *fog harvesting* podem seduzir uma gama de “clientes” nessas regiões: para fins particulares (**B2C**); instituições e empresas públicas

(B2G); empresas do setor privado (B2B) incluindo indústria, agricultura, comércio e serviços; Associações e ONGs

As aplicações, como foi visto no capítulo [2.3.2](#), são infinitas, a água sendo um **recurso comum a todas as empresas e coletividades**. Projetos de recuperação de áreas degradadas, acesso básico à água potável para os mais precários, otimização da produção de uma indústria, são exemplos de aplicações, entre outras. Um nicho onde poderia aproveitar-se o *fog harvesting* é na **agricultura rural familiar**, que representa **75%** dos estabelecimentos agropecuários no Paraná (1 milhão de pessoas)<sup>14</sup>. Tanto o comércio para particulares (B2C) como também o comércio para os incentivos e programas sociais do estado (B2G) poderão se beneficiar da tecnologia.

#### 4.1.2 Ameaças

Além das [desvantagens](#) inerentes à própria tecnologia de colheita de água atmosférica, outros fatores poderão prejudicar a adoção da tecnologia no Brasil. Com o **aquecimento global** e a **urbanização**, a frequência da neblina tende a diminuir, principalmente nos grandes centros urbanos provocando o efeito “ilha de calor”. A estação meteorológica da Universidade de São Paulo, é testemunha desse fenômeno<sup>15</sup>. As **oscilações climáticas**, mencionadas por Colabone ([2011](#)) impedem prever um *yield* fixo, tendo anos habituais e anos excepcionais de alta e baixa ocorrência.

#### 4.1.3 DATASET1 - Comparação de 39 aeroportos brasileiros no ano 2014

Cumulando nevoeiro e névoa, a cidade de Curitiba ultrapassa de longe as outras cidades com 756 horas acumuladas de fenômenos para o ano 2014. Curitiba é também a primeira em termo de nevoeiro puro, seguida de perto por Foz do Iguaçu, conforme GRÁFICO 1.

Conforme FIGURA 16 e o GRÁFICO 2a, pode-se observar que a maior ocorrência se localiza nas regiões SUL e SULESTE, sendo os estados do Paraná, do Rio Grande do Sul e de São Paulo com maior participação. A região NORDESTE é a que menos apresenta potencial de captação. A ocorrência de nevoeiro puro é a mais significativa na região SUL do país, enquanto a região SULESTE está dominada pela névoa úmida. Em termo de clima

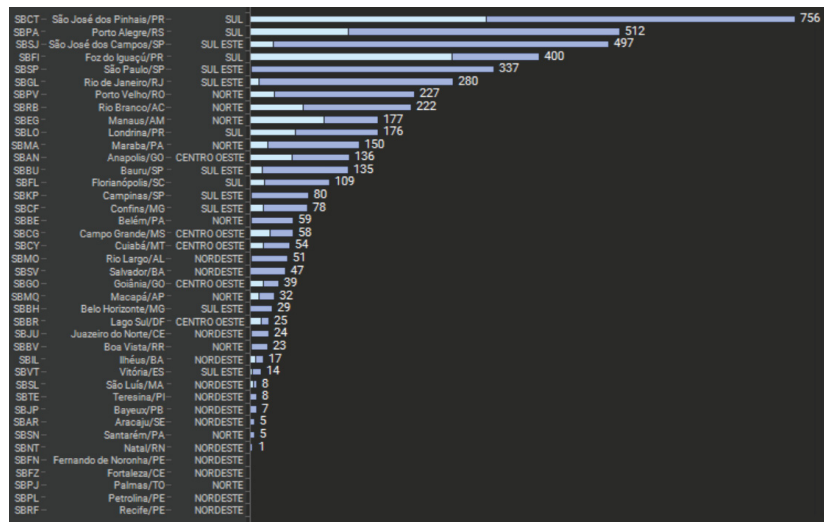
<sup>14</sup> <https://www.folhadelondrina.com.br/folha-rural/a-relevancia-da-agricultura-familiar-no-parana-3095035e.html>  
Acesso 07/2022

<sup>15</sup> <https://meteoropole.com.br/2016/08/a-garoa-e-a-neblina-desapareceram-de-sao-paulo-sp/> Acesso 07/2022

(classificação de Köppen), o GRÁFICO 2b mostra que as zonas de climas temperados *Cfa* e *Cfb* são as que vão gerar maior ocorrência de neblina. Cidades em zonas tropicais de monção como Manaus *Am* também terão fenômenos, mas com menor intensidade. Enfim, cidades com clima tropical de savana ou semiárido *As/Bs* (típicos do NORDESTE) mostram pouca ou quase nenhuma ocorrência.

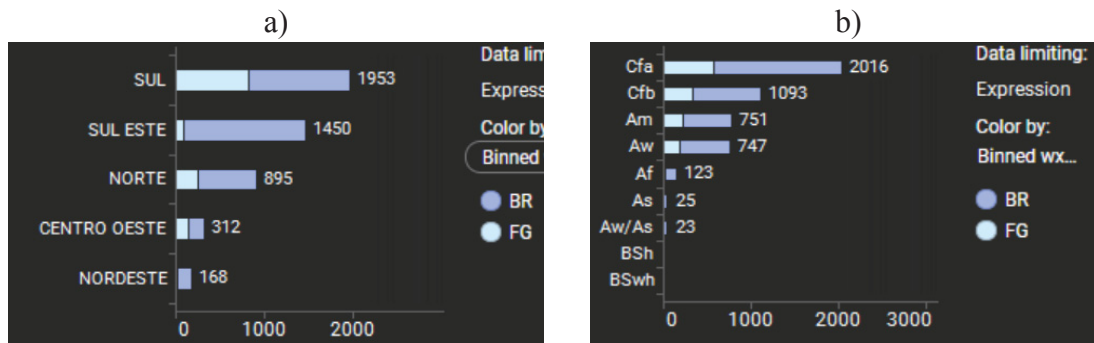
Nos próximos gráficos, nevoeiro se define como neblina com visibilidade inferior a 1000 metros e névoa úmida entre 1000 e 5000 metros.

GRÁFICO 1 - QUANTIDADE DE HORAS DE NEVOEIRO (AZUL CLARO) E NÉVOA (AZUL OSCURO) EM 2014



FONTE: Autor

GRÁFICO 2 - QUANTIDADE DE HORAS DE NEVOEIRO (AZUL CLARO) E NÉVOA (AZUL ESCURO) EM 2014 POR REGIÃO (A) E POR TIPO DE CLIMA SEGUNDO KÖPPEN (B)



FONTE: Autor

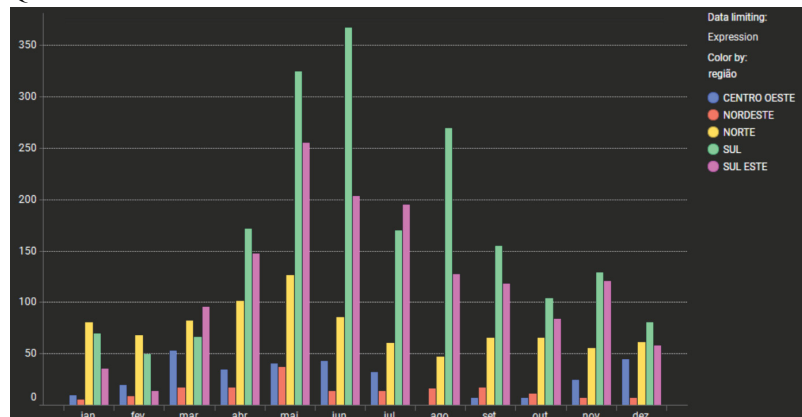
FIGURA 16 - QUANTIDADE DE HORAS DE NEVOEIRO E NÉVOA EM 2014



FONTE: Autor

Em termos de sazonalidade, para as regiões SUL e SULESTE que têm climas temperados (*Cfa/Cfb*), as ocorrências se encontram concentradas no inverno durante os meses de Abril a Setembro que são os mais frios e que permitem à água contida no ar chegar mais vezes próximo ao ponto de orvalho (GRÁFICO 3).

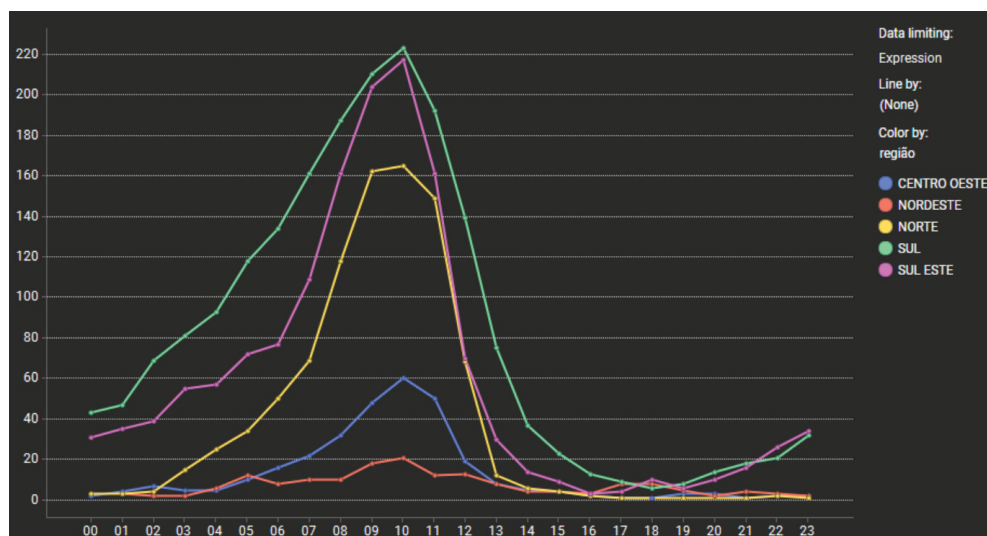
GRÁFICO 3 - QUANTIDADE DE HORAS DE NEVOEIRO+NÉVOA EM 2014 PLOTADO POR MÊS



FONTE: Autor

Em termos de horário, os nevoeiros e névoas tendem a nascer durante a noite e a madrugada (quando a temperatura esfria suficientemente para chegar ao ponto de orvalho) e permanecem de manhã até o sol ‘dissipar’ o fenômeno (GRÁFICO 4).

GRÁFICO 4 - QUANTIDADE DE HORAS DE NEVOEIRO+NÉVOA EM 2014 PLOTADO POR HORA DE OCORRÊNCIA



FONTE: Autor

#### 4.1.4 DATASET2 - Outros aeroportos de interesse

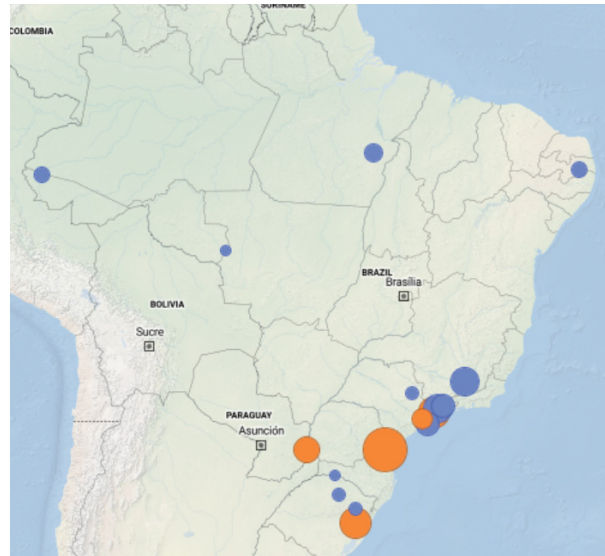
Além dos 39 aeroportos vistos no DATASET1, foi calculado quantas ocorrências aconteceram nos outros aeroportos, para o mesmo ano 2014. É importante entender que as taxas de ocorrência dos aeroportos contidos neste DATASET2 são subestimadas devido à ausência de METAR durante a inatividade do aeroporto. A subestimação é diferente para cada aeroporto. Além dos horários, tem também uma irregularidade na emissão dos boletins METAR que dificulta ainda mais a estimativa de neblina por um dado aeroporto. Com essas informações (DATASET1 e DATASET2) iremos realizar um mapa dos aeroportos mais significativos em termos de ocorrência de neblina.

#### 4.1.5 - Regiões favoráveis para captação de neblina

Cruzando os DATASET1 e DATASET2 (FIGURA 17), obtemos um mapa indicativo dos lugares mais oportunos para instalações de *fog harvesting*. A maioria está localizada nas regiões SUL e SULESTE a longo da ‘Serra do Mar’. A FIGURA 18 mostra um zoom sobre essas regiões.

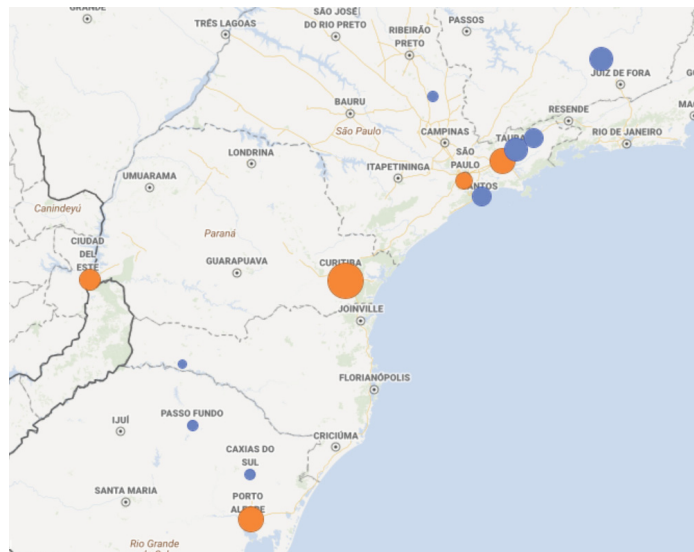
FIGURA 17 - QUANTIDADE DE HORAS DE NEVOEIRO+NÉVOA EM 2014 PARA OS AEROPORTOS DO DATASET1 (LARANJA) E DO DATASET2 (AZUL).

Foram indicados somente os aeroportos mostrando mais de 300h de FG+BR por ano para o DATASET1, 150h para o DATASET3.



FONTE: Autor

FIGURA 18 - QUANTIDADE DE HORAS DE NEVOEIRO+NÉVOA EM 2014 PARA OS AEROPORTOS DO DATASET1 (LARANJA) E DO DATASET3 (AZUL) DAS REGIÕES SUL E SUL ESTE. Foram indicados somente os aeroportos mostrando mais de 300h de FG+BR por ano para o DATASET1, 150h para o DATASET3.



FONTE: Autor

Com certeza, este estudo dá uma orientação global de onde concentrar os esforços, mas é limitado aos aeroportos, impedindo ter um mapeamento mais completo do país. Devem existir outras zonas com microclimas, especialmente nas regiões serranas, com alta ocorrência de neblina que precisam ser mapeadas de outra maneira (imagens por satélite parecem o vetor mais adequado). Isso deverá ser feito num estudo dedicado à parte. Agora, vamos estudar um pouco mais em detalhes a região de Curitiba.

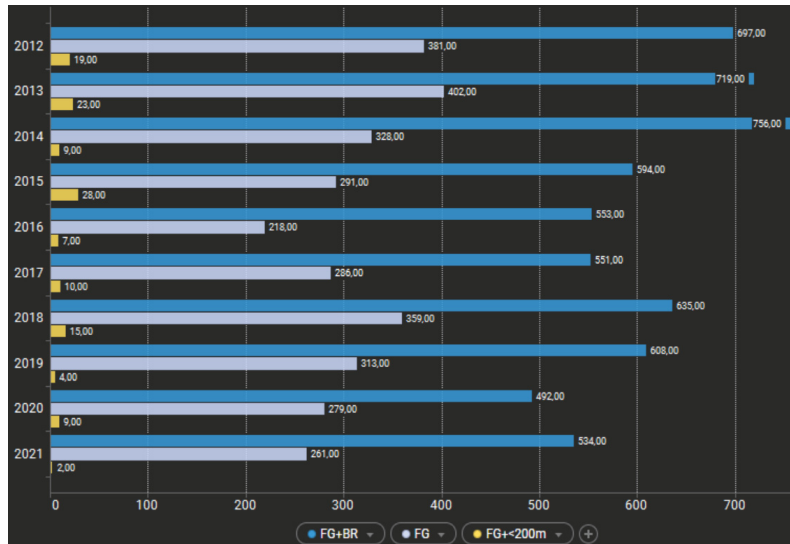
## 4.2 ESTUDO DE CASO – CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

### 4.2.1 Ocorrência de neblina na região de Curitiba

A **ocorrência de neblina** na região de Curitiba **não é uniforme**. Lugares mais próximos das serras, por exemplo, costumam ter intensidade de neblina mais alta. Entretanto, obter dados exatos sobre a quantidade de horas para cada lugar é impossível. O único ponto onde se sabe exatamente a quantidade de horas de neblina é **o aeroporto de São José dos Pinhais** com os boletins METAR.

Esse aeroporto é o sexto maior do país em movimentação de aeronaves, quarto em movimento de passageiros, com cerca de 210 pousos e decolagens diárias, e tem suas operações de pouso e decolagem impactadas por nevoeiro em aproximadamente 300 horas por ano ([PLATENIK, 2020](#)). A região no entorno do aeroporto é muito diversa, com “ilhas” residenciais, industriais e agrícolas. De acordo com o GRÁFICO 5, em média, tem-se 614 horas de nevoeiro e névoa úmida confundida, ou seja, 312 horas de puro nevoeiro.

GRÁFICO 5 - EMISSÃO DE METAR COM FG OU BR (AZUL ESCURO), FG (AZUL CLARO), POR ANO EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR.

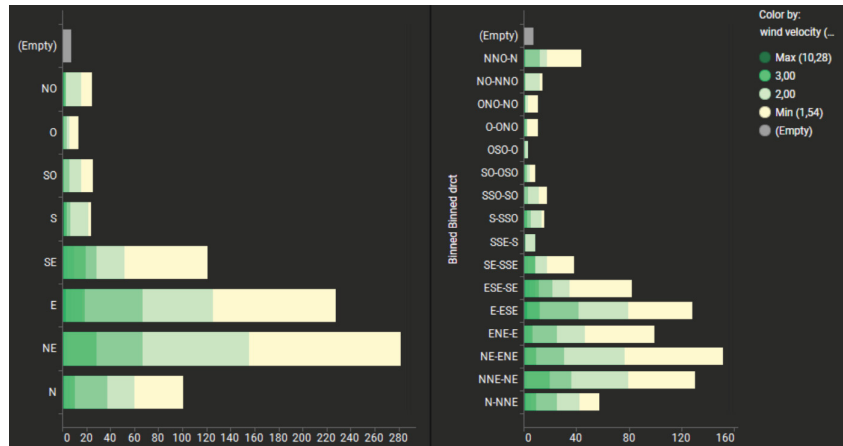


FONTE: Autor

### 4.2.2 Direção e intensidade do vento

A partir dos boletos METAR durante os eventos de nevoeiros, a direção dos ventos foi determinada e o resultado mostra que a predominância para ventos acima de 1,5 m/s, está nas direções Este e Nordeste, o vento provindo da *Serra do Mar*. Os resultados estão ilustrados no GRÁFICO 6.

GRÁFICO 6 - DIREÇÃO DOS VENTOS ACIMA DE 1,5 M/S EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS/PR DURANTE OS EVENTOS DE NEVOEIRO FG ENTRE 2012 E 2021.

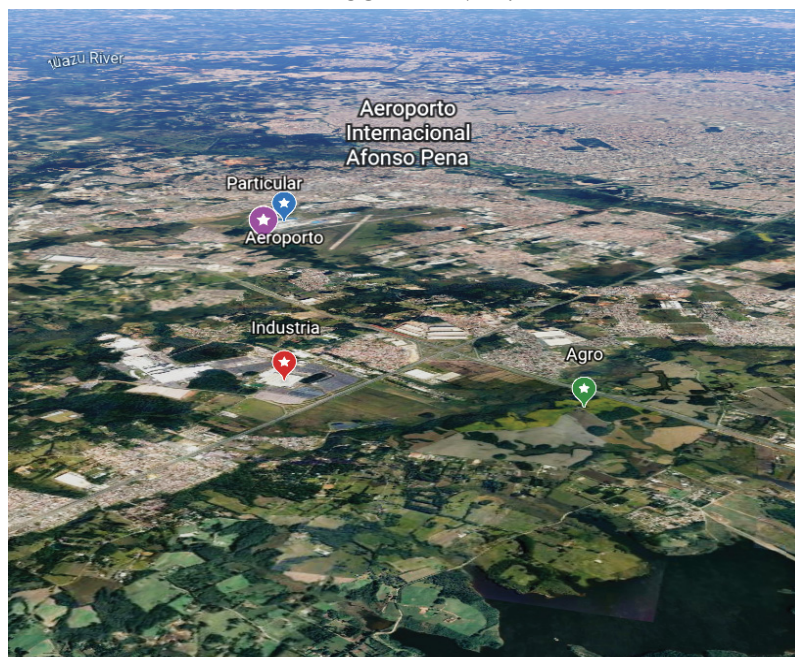


FONTE: Autor

#### 4.2.3 Determinação de lugares para possíveis instalação

Com os resultados apresentado foi verificado virtualmente (com *Google Maps* e *Google Earth*) zonas orientadas ao vento predominante, situadas em alturas, bordas de relevos ou cumeeiras e, também, com o mínimo de obstáculos possíveis na frente do fluxo de ar, quatro possíveis locais de implantação na região está delineada na FIGURA 20, considerando possível uso industrial, residencial, agrícola e no próprio aeroporto.

FIGURA 20 - IMPLANTAÇÃO GEOGRÁFICA DOS 4 CASOS DE ESTUDO AO REDOR DO AEROPORTO DE CURITIBA/PR.



FONTE: Autor

Entretanto, a viabilidade econômica e socioambiental, para cada caso, só poderá ser avaliada com medições de campo, para se obter a demanda, o tipo de coletor e o valor de implantação.

## 5 CONCLUSÃO

Um trabalho de revisão da literatura foi executado sobre a **coleção de água de neblina** e seu **potencial uso no Brasil**. Foi visto primeiramente que várias zonas do Brasil estão enfrentando **problemas de abastecimento de água** e de **seca**. A tendência é o aumento do consumo e dos eventos de estiagem. Dos sistemas de captação de água existentes, foi analisado que os **captadores de água de neblina** representam uma **oportunidade** para as áreas sujeitas a neblina no Brasil. Entretanto, o **mapeamento** dessas áreas é **difícil**.

Do lado das aplicações dessa fonte de água, foi visto que são múltiplas e podem servir para projetos tanto **sociais**, como **florestais** ou **comerciais**. Existem já vários projetos e tecnologias de coletores no mundo, mas **não existem** materiais produzidos em **escala industrial** e **métodos rápidos de seleção de sítios favoráveis** permitindo uma expansão em larga escala. No **Brasil**, o tema é **quase inexistente** com apenas um trabalho científico encontrado.

Do lado teórico, a captação de água de neblina é um fenômeno de **impactação** (e não de condensação). Assim, a **localização** e o **aerodinamismo** do coletor são os parâmetros mais importantes. Têm que ser posicionados num lugar com alta ocorrência de neblina, frente ao vento predominante e também “perto” do uso final (viabilidade econômica). A **eficiência de coleta aerodinâmica** é o **fator mais limitante** na eficiência total do coletor. Portanto, a escolha do perfil aerodinâmico deve ser conduzida sabiamente.

Do lado da tecnologia, ela é em geral qualificada de “*low cost*” comparando com outras fontes, a instalação e a manutenção são **fáceis** e não requerem mão de obra especializada. Coletores em operação **não precisam de fonte de energia**. A maioria dos coletores possuem uma **malha/rede** coletora ou fios verticais dispostos em formato **harpa**. **Polímeros** são os materiais mais comuns. **Rendimentos médios** usuais estão **entre 5 e 8 l/m<sup>2</sup>/dia** e podem chegar até **20 l/m<sup>2</sup>/dia**. Sendo assim, a água de neblina é, via de regra, considerada uma fonte de água **alternativa**.

Entre as desvantagens, as restrições principais são devidas à **irregularidade da ocorrência da neblina** e a **investigação longa** do sítio ótimo de captação. A coleta de água por neblina está também **ameaçada** pelo **aquecimento global**, **oscilações climáticas** e pela **urbanização** (*ilha de calor*).

Depois dessa revisão, foi executado um primeiro trabalho de **mapeamento global do Brasil** sobre **ocorrência de neblina** usando os boletins meteorológicos METAR gerados pelos **aeropostos**. Vimos como principal resultado que a **região SUL** é a **mais propícia** ao

*fog harvesting*, com as taxas mais altas de ocorrências de neblina. Também, esta região é uma boa candidata pelo contexto econômico/social e as consequências recentes das últimas secas.

**Curitiba** é a cidade com mais nevoeiro e névoa úmida, seguido por Foz de Iguaçu. **Zonas serranas** como em Santa Catarina e Rio Grande do Sul mostram também alto potencial (exemplo Caxias do Sul). Para essas áreas, **Abril a Setembro** é o período de maior ocorrência sendo Junho o mês com o máximo de neblina. Foi caracterizado também em função da hora do dia que a neblina tende a **nascer durante a noite e a madrugada** e a **desaparecer nas primeiras horas de sol** (pela condensação da água no ar depois de ter atingido o ponto de orvalho).

Foi simulado **4 lugares de instalação** bem distintos sobre a viabilidade do uso de água de neblina: **particular (uso doméstico), rural, industrial e também público (aeroporto)**. Foi considerada a região de Curitiba, em particular a **zona do aeroporto de São José dos Pinhais/PR**. Falta agora fazer **medições em campo** para concluir sobre a viabilidade de tais projetos.

## 6 REFERÊNCIA

1. ABDUL-WAHAB S. A. , H. AL-HINAIA, K. A. AL-NAJARB, M. S. AL-KALBANI. **Fog and Rain Water Collection from Trees in the Dhofar, Region in the Sultanate of Oman.** The Journal of Engineering Research Vol. 6, No.1, 51-58, 2009
2. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual /** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília/DF : ANA, 2020.
3. ALMEIDA, LUIZ ALEXANDRE FRAGOZO DE. **Análise de frequência da ocorrência de nevoeiro no aeroporto internacional Salgado Filho.** Relatório de pesquisa. Curso de Especialização em Meteorologia Aeronáutica do ICEA. INSTITUTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. DIVISÃO DE ENSINO MET-001/2008. Porto Alegre/RS,2008.
4. ARNOUD, K & FRUMAU, ARNOUD & BURKARD, RETO & SCHMID, SIMONE & BRUIJNZEEL, L.A. & TOBON, CONRADO & CALVO-ALVARADO, JULIO. **Fog gauge performance under fog and wind-driven rain conditions.** 2010
5. AZEEM MUSADDAQ, MUHAMMAD TAYYAB NOMAN, MICHAL PETRU, MUHAMMAD SHAHID, MUHAMMAD QAMAR KHAN, JAKUB WIENER. **Surface wettability of vertical harps for fog collection.** Surfaces and Interfaces, Volume 30. 2022
6. AZEEM, MUSADDAQ & GUÉRIN, ADRIEN & DUMAIS, THOMAS & CAMINOS, LUIS & GOLDSTEIN, RAYMOND & PESCI, ADRIANA & RIVERA, JUAN & TORRES, MARÍA & WIENER, JAKUB & CAMPOS, JOSE & DUMAIS, JACQUES. **Optimal Design of Multi-Layer Fog Collectors.** ACS Applied Materials & Interfaces. 2020
7. BHUSHAN B. **Design of water harvesting towers and projections for water collection from fog and condensation.** Phil. Trans. R. Soc. A 378: 20190440. 2019
8. BOULOC JEAN. **De la toile d'araignée... au piège à brouillard,** La Houille Blanche, 79:5, 337-344. 1993
9. BROWN PS, BHUSHAN B. **Bioinspired materials for water supply and management: water collection, water purification and separation of water from oil.** Phil. Trans. R. Soc. A 374: 20160135. 2016
10. CABRERA ROBERTO BRAZ APARECIDO. **Introdução aos estudos de geografia física do território paranaense - uma visão básica para o ensino médio.** Universidade estadual de Londrina, 2013
11. CALLEGARE A. O. , KAMERS B. F., SOUZA F. DE. **Análise de nevoeiros nos aeroportos das capitais do sul do Brasil.** 21p. Instituto federal de Santa Catarina. Curso técnico de Meteorologia, Florianópolis/SC. 2010.
12. CÁRDENAS-VARGAS MYRIAM CAROLINA, GARCÍA-VALBUENA CÉSAR AUGUSTO. **Medición de la condensación de lluvia horizontal con tres estructuras, el caso del municipio de Zipacón (Cundinamarca, Colombia).** Vol. 14 Núm. 1: PRODUCCIÓN + LIMPIA. enero - junio, 2019
13. CARVAJAL Danilo, Luis Silva-Llanca, Dante Larraguibel, Bastián González. **On the aerodynamic fog collection efficiency of fog water collectors via three-dimensional numerical simulations.** Atmospheric Research Volume 245, 15 November 2020
14. CASTILLO, Y. K. & CABEZA, C. G. **Diseño de un sistema de recolección de agua por rocío y niebla para el abastecimiento de agua en la comunidad del barrio la esperanza, localidad de Chapinero [Universidad La Gran Colombia].** 2016
15. CERECEDA PILAR, PEDRO HERNÁNDEZ, JORGE LEIVA, JUAN DE DIOS RIVERA. **Agua de Niebla - nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en Zonas áridas y semiaridas.** 2014
16. CERECEDA, P. AND R.S. SCHEMENAUER **The occurrence of fog in Chile.** Journal of Applied Meteorology, 30,#8, pp.1 097-11 05, 1991
17. COLABONE, ROSÂNGELA DE OLIVEIRA. **Nevoeiro e dinâmica atmosférica : uma contribuição ao estudo sobre ocorrências de nevoeiro no aeródromo na Academia da**

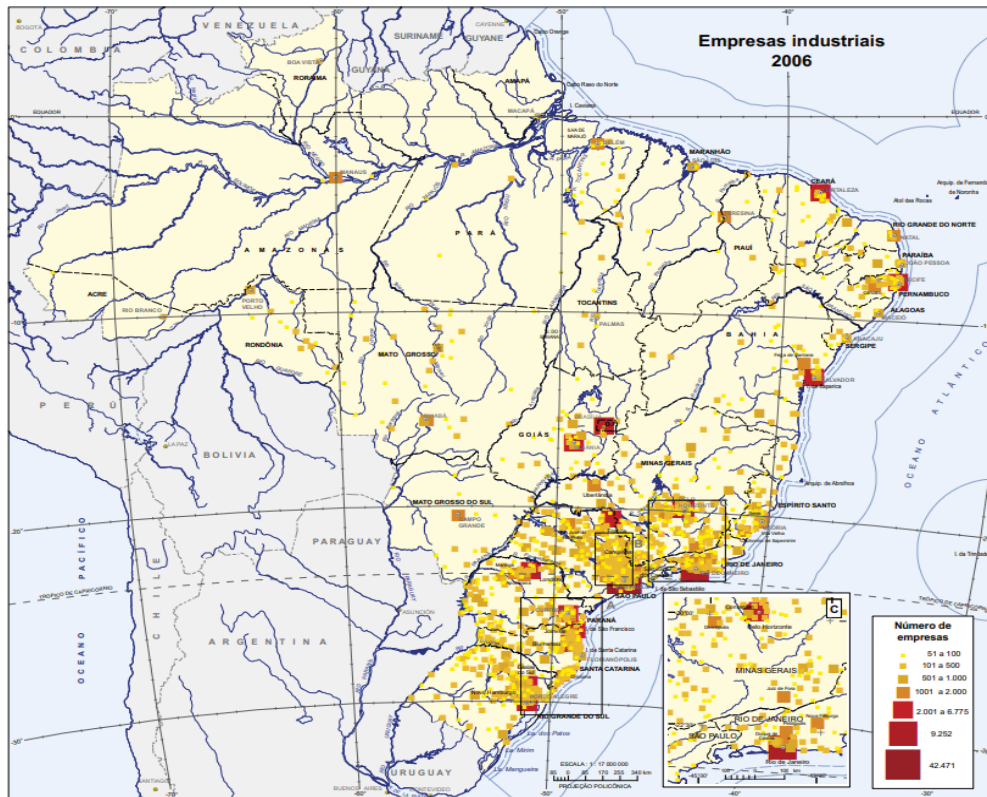
- Força Aérea – Pirassununga-SP.** 137p. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo/SP, 2011.
18. COMANDO DA AERONÁUTICA **CÓDIGOS METEOROLÓGICOS METAR E SPECI** FCA 105-3, 2000
  19. CORELL, D. **Estudio Estadístico de la Potencialidad de Uso del Agua de Niebla como Recurso Hídrico en el Litoral Mediterráneo de la Península Ibérica.** Universitat Politecnica de Valencia. Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad. Tesis doctoral. 2014
  20. DOMÍNGUEZ, C., ECHEVERRÍA, P., VILLACÍS, M., and VIOLETTE, S. **Evaluación de la cosecha de neblina como una fuente potencial para el aprovechamiento de agua.** In: INGA ORTEGA, E., ed. *Aplicaciones e innovación de la ingeniería en ciencia y tecnología* [online]. Quito: Editorial Abya-Yala, 2019, pp. 97-142.
  21. ELLISON, D., C. MORRIS, B. LOCATELLI, D. SHEIL, J. COHEN, D. MURDIYARSOI, V. GUTIERREZ. **“Trees, Forests and Water: Cool Insights for a Hot World.”** *Global Environmental Change* 43 (Supplement C): 51–61, 2017
  22. ESTRELA, MARÍA & VALIENTE, JOSÉ & CORELL, DAVID & MILLÁN, MILLÁN. (2008). **Fog collection in the Western Mediterranean Basin (Valencia region, Spain).** *Atmospheric Research - ATMOS RES.* 87. 324-337. 2008
  23. FACHINETTO CAROLINA. **Desenvolvimento de sistema alternativo para captação de água a partir da névoa.** 79p. Trabalho de Graduação (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, do Centro Universitário Univates, Lajeado/RS, 2017.
  24. FERNANDEZ G, G MORICHI, L CALIXTO. **Exploring fog harvesting nature-based solution tensile membrane structures towards sustainable development in the Italian urban context.** *Proceedings of the TensiNet Symposium*, 2019
  25. FERNANDEZ, D.M., TORREGROSA, A., WEISS-PENZIAS, P.S., ZHANG, B.J., SORENSEN, D., COHEN, R.E., MCKINLEY, G.H., KLEINGARTNER, J., OLIPHANT, A. AND BOWMAN, M. **Fog Water Collection Effectiveness: Mesh Intercomparisons.** *Aerosol Air Qual. Res.* 18: 270-283. 2018
  26. FESSEHAYE, M.; ABDUL-WAHAB, S.A.; SAVAGE, M.J.; KOHLER, T.; GHEREZGHIHER, T.; HURNI, H. **Fog-water collection for community use.** *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 29, 52–62. 2014
  27. FESSEHAYE, MUSSIE, ABDUL-WAHAB, SABAH A., SAVAGE, MICHAEL J., KOHLER, THOMAS, AND TESFAY, SELAMAWIT. **The Potential for Scaling Up a Fog Collection System on the Eastern Escarpment of Eritrea.** *Mountain Research and Development*, 35(4) : 365-373. International Mountain Society, 2015
  28. FIBOR J. TAN, MARIA ANGELICA P. ESTANISLAO, ANGELICA MHA E A. GREGORIO, AND IVAN JEFF D. NAVEA. **The potential of fog harvesting in tropical highlands as an alternative water resource: the case of Atok, Benguet, Philippines.** *E3S Web of Conferences* 117, 00007. 2019
  29. FISCHER D., STILL C. **Evaluating patterns of fog water deposition and isotopic composition on the California Channel Islands.** *Water Resour. Res.*, 43, W04420. 2007
  30. FRANÇA, V. D. J. **Avaliação da metodologia de previsão de nevoeiro e visibilidade horizontal do modelo Eta.** Dissertação (mestrado em Meteorologia). INPE, São José dos Campos, 2008
  31. FUREY S. **Fogwater Harvesting for Community Water Supply.** SILSOE COLLEGE - MSc Infrastructure Engineering (Community Water Supply option), 1998
  32. GETIRANA A., LIBONATI R., CATALDI M. **Brazil is in water crisis — it needs a drought plan.** *Nature*, Vol 600, 9 December 2021
  33. HOLMES R., **Agua de niebla.** *Revista DISEÑA* 6. Escola Pontificia Universidad Catolica de Chile, page 10-19. 2014

34. HOLMES R., JUAN DE DIOS RIVERA, EMILIO DE LA JARA. **Large fog collectors: New strategies for collection efficiency and structural response to wind pressure.** Atmospheric Research, Volume 151, Pages 236-249, 2015
35. HUNG D.V., S. TONG, Y. NAKANO, F. TANAKA, D. HAMANAKA, T. UCHINO. **Measurements of particle size distributions produced by humidifiers operating in high humidity storage environments.** Biosystems Engineering, Volume 107, Issue 1, Pages 54-60. 2010
36. JOHNSON F. E. **Aerodynamic and geometric characterizations for fog collecting meshes.** Thesis submitted to the Office of Research and Graduate Studies in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Engineering. Santiago de Chile, December 2015
37. KOWALSKI NICHOLAS G., WEIWEI SHI, BROOK S. KENNEDY, AND JONATHAN B. BOREYKO. **Optimizing Fog Harps.** ACS Applied Materials & Interfaces 2021 13 (32), 38826-38834.
38. LEKOUCH I., MARC MUSELLI, B. KABBACHI, JALIL OUZZANI, IRYNA MELNYTCHOUK-MILIMOUK, ET AL.. **Dew, fog, and rain as supplementary sources of water in south-western Morocco.** Energy, Elsevier, 2011, 36 (4), pp.2257-2265
39. Life-Nieblas team: GESPLAN, CIM VDL, & ITC. Action A3: Equipment evaluation and selection - Monitoring and evaluation protocol. **Equipment monitoring protocol**, 2021
40. LUMMERICH A., TIEDEMANN KAI J. **Fog harvesting on the verge of economic competitiveness.** 2010
41. MARZOL, M.V. **La Captación del Agua de la Niebla en la Isla de Tenerife;** Servicio de Publicaciones de la Caja General de Ahorros de Canarias: Las Palmas de Gran Canaria, Spain, 2005.
42. MODESTO, RODRIGO NIELSON DA COSTA. **Análise da frequência de nevoeiros nos aeroportos de Tucuruí e Carajás.** 52p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em meteorologia). Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém/PA, 2014.
43. MUKERJI S. **FOGWATER COLLECTION SYSTEM**, 1993
44. NADOLSKI V. **Automated Surface Observing System / ASOS User's Guide.** National Oceanic and Atmospheric Administration, Department of Defense, Federal Aviation Administration, United States Navy, 1998
45. NGUYEN LUC THE, ZHIQING BAI, JINGJING ZHU, CAN GAO, XIAOJING LIU, BEWUKET T. WAGAYE, JIECONG LI, BIN ZHANG, AND JIANSHEG GUO. **Three-Dimensional Multilayer Vertical Filament Meshes for Enhancing Efficiency in Fog Water Harvesting.** ACS Omega 2021 6 (5), 3910-3920. 2021
46. OZMENT S. *et al.* **Infraestrutura Natural para Água no Sistema Cantareira, em São Paulo.** World Resources Institute. 2018
47. PARK, K.-C., CHHATRE, S.S., SRINIVASAN, S., COHEN, R.E., MCKINLEY, G.H., 2013. **Optimal design of permeable fiber network structures for fog harvesting.** Langmuir 29, 13269–13277. 2013
48. PEREIRA, M.C.M. 2016. **Emprego de Redes Neurais Artificiais RBF na Previsão de Nevoeiro no Aeroporto Internacional Afonso Pena.** 109p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR. 2014.
49. PLATENIK J. E. G. , FRANÇA G. B. , VICENTE A. , NETO P., SILVA R. M. DA, ALMEIDA V. A. DE. **Previsão de Nevoeiro Utilizando Multicritérios Baseados em Simulações do Modelo WRF para o Aeroporto Internacional Afonso Pena.** Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, Vol. 43, p. 376-383, 4/2020.
50. PRADA S., MANUEL OLIVEIRA DA SILVA, CELSO FIGUEIRA, MIGUEL MENEZES DE SEQUEIRA AND ANA PONTES. **Fog water collection in Madeira Island (Portugal),** 2007

51. QADIR *et al.* **Fog Water Collection: Challenges beyond Technology**. 2018
52. QADIR M, JIMÉNEZ GC, FARNUM RL AND TRAUTWEIN P. **Research History and Functional Systems of Fog Water Harvesting**. 2021.
53. REGALADO CARLOS M., AXEL RITTER. **On the estimation of potential fog water collection from meteorological variables**. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volumes 276–277, 107645. 2019
54. REGALADO CARLOS M., AXEL RITTER. **The design of an optimal fog water collector: A theoretical analysis**. *Atmospheric Research* 178–179, 45–54, 2016
55. REGALADO CARLOS M., AXEL RITTER. **The performance of three fog gauges under field conditions and its relationship with meteorological variables in an exposed site in Tenerife (Canary Islands)**, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 233, Pages 80-91,2017
56. RIVERA JUAN DE DIOS. **Aerodynamic collection efficiency of fog water collectors**. *Atmospheric Research* 102 (2011) 335–342. 2011
57. SARSOUR J. DR., DR. THOMAS STEGMAIER, DIPL.-ING. MICHAEL LINKE, PROF. DR. HEINRICH PLANCK. **Bionic development of textile materials for harvesting water from fog**. 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew. Münster, Germany, 25–30 July 2010
58. SCHEMENAUER, R.S, JOE P.I. **The collection efficiency of a massive fog collector**. *Atmospheric Research*. Vol 24. pp 53-69,1989
59. SCHEMENAUER, R.S., CERECEDA, P. **A Proposed Standard Fog Collector for Use in High-Elevation Regions**. *Journal of Applied Meteorology* 33(11):1313-1322, 1994.
60. SCHEMENAUER, R.S., CERECEDA, P. **Fog collection's role in water planning for developing countries**. *Natural Resources Forum*, 18(2), 91-100, 1994.
61. SCHUNK, CHRISTIAN & TRAUTWEIN, PETER & HRUSCHKA, HERBERT & FROST, ERNST & DODSON, LESLIE & DERHEM, AISSA & BARGACH, JAMILA & MENZEL, ANNETTE. **Testing Water Yield, Efficiency of Different Meshes and Water Quality with a Novel Fog Collector for High Wind Speeds**. *Aerosol and Air Quality Research*. 18. 10.4209. 2018
62. SHARIFVAGHEFI, S., KAZEROONI, H. **Fog harvesting: combination and comparison of different methods to maximize the collection efficiency**. *SN Appl. Sci.* 3, 516. 2021
63. SILVA LARISSA CAROLINA CORRAIDE DA. **Captação de água da atmosfera – análise do potencial brasileiro e desenvolvimento de protótipos**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Magister Scientiae. VIÇOSA/MG, 2018
64. SUAU C. **Fog Collection and Sustainable Architecture in Atacama Coast**. 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew. Münster, Germany, 25–30 July 2010
65. SUAU C. **FogHive © 3D Fog Collection along the Coastal Atacama Desert**. PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Perú 7-9 November 2012.
66. TU YAODONG , RUZHU WANG, YANNAN ZHANG, AND JIAYUN WANG. **Progress and Expectation of Atmospheric Water Harvesting**. *Joule* 2, 1452–1475, August 15, 2018
67. **UN World Water Development Report 2021: Valuing Water**, ONU, 2021
68. ZAPPULLA, CARMELO. **“AIRDRIP© Pneumatic Fog Collector For Rural And Urban Environments In Arid Lands.”** *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 2015.

## ANEXO

## Mapa da demografia empresarial



FONTE: IBGE, Estatísticas do Cadastro Central de Empresas 2007.

<https://portaldemapas.ibge.gov.br/> Acesso 06/2022