

Revisão dos aspectos teóricos e metodológicos da interceptação da condensação atmosférica

Theoretical and methodological aspects of cloud water interception

Daniel Ribeiro Lange *, Irani dos santos **

* Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, daniellange@ufpr.br

** Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, irani@ufpr.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v58i0.91936>

Resumo

A interceptação da condensação atmosférica (ICA) ocorre quando a água contida em nevoeiros e precipitações movidas pelo vento, colide com a vegetação, se funde em gotas maiores, e precipita no solo. A ICA tem importante função como fonte adicional de água e suas relações com a florestas nebulares tropicais foram muitas vezes enfatizadas. Apesar de sua importância, não há padronização dos métodos de medição, nem dos termos que designam o processo. Fazendo-se assim necessária uma análise sistemática das pesquisas sobre ICA. Para isso, o presente estudo realizou uma revisão dos aspectos teóricos e metodológicos da ICA por meio da: descrição e análise sobre a terminologia; histórico e cronologia dos estudos sobre o tema; levantamento das condições ambientais necessárias para a ocorrência do processo de ICA; análise dos aspectos metodológicos relativos à medição da ICA; síntese e discussão das magnitudes descritas na literatura científica. Como resultado: das 31 publicações revisadas foram encontrados 14 diferentes vocábulos. Sendo os mais comuns “Cloud Water Interception” (19,4%) e “Fog drip” (16,1%); em geral a ICA é mais frequente em locais como bordas continentais e ilhas constantemente sujeitas a brisas marítimas; na maioria dos casos, a abordagem para a medição abaixo do dossel, pode ser considerada mais precisa que as obtidas por coletores de nevoeiros; a ICA é em média responsável por 42% da precipitação efetiva (n:41). Os valores listados apresentam grande variação, entre 0,5 % e 462%, provavelmente decorrente das distintas características ambientais dos locais amostrados assim como das variações nos tamanhos das amostras.

Palavras-chave:

Monitoramento hidrológico, Florestas nebulares tropicais, Escoamento de tronco.

Abstract

Cloud water interception (CWI) occurs when water contained in fog and wind-driven rain collides with vegetation, merges into larger droplets, and precipitates to the ground. CWI has an important function as an additional source of water and its relationships with tropical cloud forests have often been emphasized. Despite its importance, there is no standardization of measurement methods, nor of the terms that designate the process in Portuguese. Therefore, a systematic analysis of research on CWI is necessary. To this end, the present study carried out a review of the theoretical and methodological aspects of CWI through description and analysis of terminology; history and chronology of studies on the topic; survey of the environmental

conditions necessary for the CWI process to occur; analysis of methodological aspects relating to the measurement of CWI; and synthesis and discussion of magnitudes described in scientific literature. As a result, of the 31 publications reviewed, 14 different words were found, the most common being “Cloud Water Interception” (19.4%) and “Fog Drip” (16.1%). In general, CWI is more common in places such as continental edges and islands that are constantly subject to sea breezes. In most cases, the below-canopy measurement approach can be considered more accurate than those obtained by fog collectors. CWI is on average responsible for 42% of effective precipitation (n:41). The values listed show a large variation, between 0.5% and 462%, probably due to the different environmental characteristics of the sampled locations as well as variations in sample sizes.

Keywords:

Hydrological monitoring, Tropical Cloud Forests, Stemflow.

I. INTRODUÇÃO

A interceptação da condensação atmosférica (ICA) ou *Cloud Water Interception* (CWI), ocorre predominantemente em regiões montanhosas, quando a água atmosférica contida em nevoeiros e precipitações movidas pelo vento colidem com a vegetação em seu caminho. As pequenas gotículas impactam nas folhas do dossel, se fundem em gotas maiores que gotejam no solo da floresta. Essa entrada de água adicional é normalmente ignorada, pois os pluviômetros convencionais não são capazes de coletar essas pequenas gotas (CAVALIERE *et al.*, 1996; FRUMAU *et al.*, 2010; HOLWERDA *et al.*, 2010; BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011), e são instalados em áreas abertas, em vez de sob o dossel da floresta (ZHAN *et al.*, 2020).

As florestas tropicais nebulares de montanha (*Tropical Mountain Cloud Forest* – TMCF) são frequentemente imersas em nuvens e ocupam apenas 0,26% da superfície da terra (BUBB *et al.*, 2004). Apesar de sua distribuição restrita, hospedam uma grande biodiversidade e fornecem importantes serviços ecossistêmicos (SCHEER; CURCIO; RODERJAN, 2012, 2013; ELLER *et al.*, 2020). Bruijnzeel e Hamilton (2000) relatam que em TMCFs, por efeito da ICA pela vegetação, a precipitação total líquida pode aumentar entre 15-20% e pode atingir até 50-60% em condições mais expostas a nevoeiros (BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011). Esses ecossistemas são reconhecidamente importantes para o abastecimento de planícies adjacentes e seu balanço hidrológico é amplamente determinado pelo efeito do nevoeiro na redução das taxas de evapotranspiração (TEIXEIRA *et al.*, 2021).

O papel da ICA como fonte adicional de água e suas relações com a TMCFs foi muitas vezes enfatizado (BRUIJNZEEL; PROCTOR, 1995; CAVALIERE *et al.*, 1996; RITTER; REGALADO; ASCHAN, 2008; BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011; FIGUEIRA *et al.*, 2013; DOMINGUEZ, 2017; BITTENCOURT *et al.*, 2019). Porém, existem uma variedade de termos que designam o processo, distintos métodos de medição e características

geográficas específicas de cada local estudado. Sendo assim necessária uma revisão sistemática atualizada, das pesquisas sobre ICA, para compreensão da trajetória da produção científica sobre o tema, relação entre as magnitudes obtidas pelas pesquisas e os aspectos ambientais envolvidos e das possibilidades de aprimoramento das pesquisas.

Para isso o presente estudo propõe uma revisão dos aspectos teóricos e metodológicos da ICA por meio da: 1) descrição e análise sobre a terminologia, histórico e cronologia dos estudos sobre o tema; 2) levantamento das condições ambientais necessárias para a ocorrência do processo de ICA; 3) análise dos aspectos metodológicos relativos à medição da ICA; 4) síntese e discussão das magnitudes descritas na literatura científica.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

O método para elaboração deste trabalho seguiu o sistema de revisão estruturada proposta por Paul e Criado (2020). Segundo os autores, este sistema procura com base em métodos e teorias amplamente utilizadas a construção de tabelas e figuras que facilitem pesquisadores a compreender o volume de pesquisas relacionadas, a distinção entre os métodos utilizados, e avanços realizados por estudos anteriores. E com base nas informações compiladas realizar uma síntese e identificar lacunas de pesquisas.

Os critérios para seleção dos artigos foram: 1) artigos que contivessem os termos “*fog drip*”, “*Cloud Water Interception*”, “*Ocult Precipitation*”, “*Horizontal Precipitation*”, “*fog deposition*”, “*Wind Driver Rain*” e “*Cloud moisture input*” -do inglês-, “*Interceptación Horizontal*”, “*Interceptación Negativa*”, “*Interceptación de Humedad de Nubes*”, “*Precipitación de la Neblina*”, “*Lluvia Horizontal*” ou “*Precipitación Indireta*”, e “*Precipitação Oculta*” nos títulos e/ou palavras chaves. A consulta de bancos de dados bibliométricos foi realizada utilizando os portais Google Scholar e Periódicos Capes; 2) artigos com utilização dos valores obtidos exclusivamente por gotejamento do nevoeiro abaixo do dossel das árvores (valores obtidos por coletores de nevoeiro foram descartados);

Estudos sobre ICA geralmente se baseiam em coletores de nevoeiro (CAVELIER *et al.*, 1996; JUVIK; NULLET, 1995; SCHEMENAUER; CERECEDA, 1994) para avaliar as taxas de precipitação não coletadas por pluviômetros convencionais. No entanto, a capacidade desses coletores simularem a captura da precipitação pelo dossel da vegetação é questionável. Cada floresta possui um conjunto distinto de características, sendo difícil sua reprodução por um coletor de nevoeiro (BRUIJNZEEL, 2001; MACJANNET; WALLACE; REDDELL 2007).

Portanto, na maioria dos casos, a abordagem para a medição abaixo do dossel, pode ser considerada mais precisa que as obtidas por coletores de nevoeiros (MACJANNET; WALLACE; REDDELL, 2007; BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011). Essas podem se dar pela simples diferença entre a precipitação interna (medida por calhas e coletores do gotejamento da vegetação) e precipitação externa (medida sem a interferência de obstáculos do terreno) (HARR, 1982; RITTER; REGALADO; ASCHAN, 2010), ou levar em conta a quantidade de água interceptada e evaporada do dossel molhado (HAFKENSCHIED *et al.*, 1998; GIAMBELLUCA; DELAY; NULLET, 2010; TAKAHASHI *et al.*, 2011).

Inicialmente foram encontrados 112 artigos e após a aplicação dos critérios acima mencionados o número foi reduzido para 31 publicações. Esses artigos foram avaliados individualmente visando responder um conjunto de questões iniciais: 1) quais termos mais usuais na definição e descrição do processo? 2) qual método de medição utilizado? 3) quais características geográficas dos locais de ocorrência (média anual de precipitação, tipo de vegetação, latitude e longitude, distância do mar e altitude)?

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Terminologia, histórico e cronologia dos estudos sobre tema

Névoa (*fog* no inglês) é definida como gotículas de água ou cristais de gelo com um diâmetro menor que 100 μm (FRUMAU *et al.*, 2010) ou entre 1 e 40 μm (PRADA; SILVA, 2001). Segundo Bruijnzeel, Eugster e Burkard (2005), a névoa consiste nas gotículas de água líquida, vapor de água condensado, restos de *spray* marinho ou pingos de chuva evaporados.

A relação Clausius-Clapeyron entre a temperatura do ar e a quantidade de água gasosa que o ar pode conter é normalmente usada para determinar quando ocorre névoa (ou seja, quando a umidade relativa atinge 100%) e a temperatura cai abaixo do ponto de orvalho. Essas pequenas gotículas que compreendem o nevoeiro não precipitam no ar a menos que encontrem a superfície de objetos sólidos, pois sua taxa de estabilização vertical é muito lenta. Copas de plantas são bastante permeáveis ao fluxo de ar e tem grande área de superfície e, portanto, são interceptadoras ideais (KERFOOT, 1968; DAWSON; BURGESS, 2004). Na falta de núcleos de condensação a umidade relativa pode exceder 100% antes que a condensação espontânea possa ocorrer. Porém, esta situação só ocorre em áreas com o mínimo de poluição (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005).

Meteorologicamente, nevoeiro é definido como uma nuvem que toca o solo e reduz a visibilidade horizontal a menos de 1000 m (FRUMAU *et al.*, 2010). Muitas vezes a névoa também é referida por seu local de ocorrência (nevoeiro costeiro, vale ou montanha). Sob condições continentais, contribuições por nevoeiros são

geralmente mais modestas, exceto em cumes e picos de montanhas expostos a fortes correntes de vento (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005). Portanto, não há diferenças fundamentais entre nevoeiro e nuvem em termos de propriedades físicas. Como a nuvens consideradas neste estudo ocorrem próximas ao solo (estratiformes), não haverá distinção entre nuvem e nevoeiro e seus distintos processos de formação.

O nevoeiro está associado a uma série de ecossistemas terrestres. Esses incluem regiões costeiras montanhosas onde a ascensão da umidade pela orografia produz o resfriamento adiabático, condensação e formação de nevoeiros (BURGESS; DAWSON, 2004). Correntes frias do oceano em contato com o ar quente também provocam nevoeiros por advecção antes de chegar à costa. Nevoeiro orográficos ou por advecção dependem do vento para se moverem e resfriarem (OBERLANDER, 1956). Frequentemente ambos os processos estão presentes em regiões montanhosas. O terceiro processo para a formação de nevoeiros ocorre quando o calor provocado pela radiação se resfria, abaixo do ponto de orvalho, em contato com a superfície do solo. Esse caso tende a ocorrer em ambientes em que as condições atmosféricas se mantêm praticamente estáticas e durante o período noturno (BURGESS; DAWSON, 2004).

Wind-Driven Rain (WDR) ou precipitação conduzida pelo vento é a precipitação que recebe um componente de velocidade horizontal e precipita obliquamente. É importante em várias áreas de estudo, incluindo ciências da terra, meteorologia e ciência da construção. WDR sobre terrenos desnivelados, como montanhas ou vales, resulta em uma redistribuição das gotas de chuva, por deformações do fluxo de vento, que podem causar grandes variações na precipitação. Devido a essas deflexões do fluxo de vento, a WDR é responsável por erros nas medições de precipitação por pluviômetros individuais próximos ao solo (HOLWERDA *et al.*, 2006; MACJANNET; WALLACE; REDDELL, 2007). WDR também pode desempenhar um papel importante na interceptação da chuva pelas copas das árvores (HERWITZ; SLYE, 1995).

Nevoeiro e WDR são duas origens de precipitação difíceis de medir separadamente e os volumes relatados como névoa (*fog*) normalmente dizem respeito aos dois fenômenos combinados (FRUMAU *et al.*, 2010). Ainda, a soma dos dois fenômenos é chamada pela literatura de: 1) água da nuvem ou *cloud water* (CW) (SCHOLL *et al.*, 2007; BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011); 2) Precipitação horizontal ou horizontal Precipitation (HP) (BRUIJNZEEL *et al.*, 2005; FRUMAU *et al.*, 2010); 3) precipitação oculta ou *Ocult Precipitation* (OP) (ELIAS; TESAR; BUCHETE, 1995; BURGESS; DAWSON, 2004; CARDENAS *et al.*, 2017); 4) gotejamento do nevoeiro ou *fog drip* (FISCHER *et al.*, 2016; INGRAHAN; MATTHEWS, 1988) entre outros. Todos estes termos são utilizados para se referir à precipitação que não pode ser medida por pluviômetros convencionais, mas sim por coletores de nevoeiro ou abaixo do dossel das árvores (HOLWERDA *et al.*, 2010; MUÑOZ-VILLERS *et al.*, 2012).

Como demonstrado no Quadro 1 os termos mais frequentes são *Cloud Water Interception* e *Fog Drip* (nessa ordem). Porém existem uma série de outros termos para se referir ao processo. Essa variedade terminológica pode ser um complicador para a utilização dos portais eletrônicos de pesquisa e diálogo entre pesquisadores.

Em português os trabalhos já publicados, utilizaram como método coletores de nevoeiro, e o termo Precipitação Oculta (ARCOVA *et al.*, 2019), no entanto, o conceitualmente mais apropriado seria ICA. Portanto, no âmbito nacional, onde ainda são escassas as pesquisas realizadas, sugere-se sua padronização do termo para Intercepção da Condensação Atmosférica (ICA).

Quadro 1 – Relação de termos referentes ao processo da ICA utilizados em pesquisas que realizaram medições abaixo do dossel, local e proporção de ocorrência.

Termo	País	Fonte	(%)
Cloud water interception	EUA/Havaí, Portugal/Madeira, Alemanha	Juvik; Nullet, 1995; Giambelluca <i>et al.</i> , 2011; Juvik <i>et al.</i> , 2011; Takahashi <i>et al.</i> , 2011; Prada <i>et al.</i> , 2012; Köhler <i>et al.</i> , 2014	19,4
Fog drip	EUA,China	Vogl, 1973; Dawson, 1998; Liu <i>et al.</i> , 2004; Keppeler, 2007; Sawake <i>et al.</i> , 2015	16,1
Fog precipitation	EUA/Havaí, Austrália	Azevedo; Morgan,1974; Holder, 2003; Krecek <i>et al.</i> , 2017	9,7
Fog interception	EUA, Guatemala, República Tcheca	Hafkenscheid <i>et al.</i> , 1998; Garcia-Santos <i>et al.</i> , 2004; González-Martinez <i>et al.</i> , 2018	9,7
Horizontal Precipitation/Precipitación horizontal/Lluvia horizontal	China, El Salvador, Honduras	Jia <i>et al.</i> , 2019; Rodríguez., 2011; Agudelo <i>et al.</i> , 2012	9,7
Cloud interception	Jamaica, Espanha/Canárias, México	MacJannet <i>et al.</i> , 2007; Braumam <i>et al.</i> , 2010	6,5
Fog water interception	Reunião, EUA	Gabriel; Jauze, 2008; Potter, 2016	6,5
Fog water	China	Chung <i>et al.</i> , 2017	3,2
Cloud moisture input	Honduras	Stadtmuller; Agudelo, 1990	3,2
Mist and Fog Interception	Venezuela/ Colombia	Cavelier; Goldstein, 1989	3,2
Fog water input	Brasil	Bittencourt <i>et al.</i> , 2019	3,2
Fog water deposition	Alemanha	Lange <i>et al.</i> , 2003	3,2
Fog deposition	Austrália	Hutley <i>et al.</i> , 1997	3,2
Interceptación horizontal	Costa Rica	Moreno, 1981	3,2

Nota: (%) Proporção em relação aos demais artigos (selecionados segundo critérios descritos no item MÉTODOS). Elaborado pelos autores, (2022).

A ocorrência de nevoeiros está relacionada a ambientes particulares como as florestas nebulares tropicais de montanha ou *tropical Montane Cloud Forests* (TMCF) que surgem, geralmente, a partir de 800 s.n.m. (BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011). O termo TMCF é amplamente utilizado em pesquisas para designar áreas sujeitas a ocorrência frequente de nevoeiros e sua vegetação apresenta características ambientais únicas

(APARECIDO *et al.*, 2018). Sua importância advém não apenas no aspecto hidrológico e ecológico, mas também pela ênfase na pesquisa e conservação dessas áreas em relação a outras florestas tropicais (BRUIJNZEEL; SCATENA; HAMILTON, 2010).

No presente trabalho o termo TMCF será usado para se referir a florestas tropicais e subtropicais montanas e altomontanas expostas frequentemente a nevoeiros.

Originalmente Cannon (1901) descreveu a função do nevoeiro para na manutenção das florestas da costa oeste do EUA, posteriormente estudos realizados por Cooper (1911), Ekern (1964) e Kerfoot (1968) documentaram taxas de precipitação e recarga da água no solo induzidos pelo gotejamento do nevoeiro e sua importância como fonte extra de água.

Stadtmuller (1987) realizou trabalho pioneiro em que realizou uma compilação das principais diferenças entre as fisionomias da vegetação nas áreas de ocorrência de nevoeiros, que conta com dezenas de classificações. O autor indica a estreita relação entre do nevoeiro sobre a vegetação e da necessidade de conservação das TMCFs. Stadtmuller (1987), ressalta três componentes de maior importância na avaliação dos efeitos das TMCFs na hidrologia: 1) aumento da precipitação efetiva; 2) redução das taxas de evapotranspiração; 3) regulação do regime hidrológico, particularmente nos períodos de estiagem. Sua pesquisa encontrou resultados que indicam que a ICA pode variar de 7% a 158% sobre a precipitação.

Como resultado de um monitoramento realizado na costa da Califórnia (EUA), pelo período de três anos, Dawson (1998) constatou que 34% da entrada de água no balanço hídrico anual foi consequente da ICA pela floresta de sequóias (*Sequoia sempervirens*), demonstrando que as árvores podem influenciar significativamente a magnitude do aporte de água para os ecossistemas. Para Burgess e Dawson (2004), a ocorrência da ICA é essencial para a vegetação costeira da Califórnia (EUA). Pois uma fração da água interceptada pode ser absorvida diretamente pelas folhas.

Segundo Bruijnzeel, Mulligan e Scatena (2011), no início da década de 1990, as TMCFs estavam no topo da lista dos ecossistemas mais ameaçados, pois na década anterior havia sido afetada por supressões da vegetação acima da média estimada (1,1% versus 0,8%). Isso gerou a atenção da comunidade científica para levantar informações a fim de compreender, gerenciar e proteger estes ecossistemas únicos e vulneráveis. Em resposta a esta demanda no ano de 1993 foi realizado o Simpósio Internacional sobre TMCF em Porto Rico que resultou na elaboração de um livro sobre TMCFs de âmbito internacional (HAMILTON *et al.*, 1995). Nos capítulos são abordados temas sobre hidrologia, dinâmica de nutrientes, importância das espécies endêmicas ameaçadas, bem como diretrizes para gerenciamento e conservação. Em 1995 é lançada a “*Campaign for Cloud Forest*” pela

International Union for the Conservation of Nature (IUCN) com ênfase no entendimento da relação dessas florestas e a exposição ao nevoeiro. Nesse contexto Bruijnzeel e Proctor (1995) sugeriram a criação de uma rede pantropical ligando centros de pesquisa sobre TMCF onde questões poderiam ser abordadas de forma integrada. Neste trabalho os autores conseguiram listar apenas oito estudos sobre a ICA em ambientes de TMCF e seis estudos sobre perdas por evapotranspiração nessas mesmas florestas.

Em 2004, foi realizado no Havaí o *Symposium on Science for the Conservation and Management of TMCF*, onde cerca de 25 apresentações relataram trabalhos hidrometeorológicos e fisiológicos da vegetação de TMCF conduzidos desde 1993. Ainda, dez apresentações indicaram os efeitos da conversão da TMCF em pastagens sobre variações no clima (BRUIJNZEEL *et al.*, 2011).

Bubb *et al.* (2004) apresentaram a *Cloud Forest Agenda* em parceria com várias instituições incluindo a *United Nations Environment Programme (UNEP)*, *World Conservation Monitoring Centre (WCMC)*, *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)*, entre outras. Naquele documento, governos, organizações não governamentais e setor privado foram convidados para elaborar metas para de conservação das TMCFs e aprofundar pesquisas para compreensão dos processos hidrológicos que regulam a quantidade e qualidade da água nesses ambientes.

Esforços para analisar os avanços científicos sobre hidrologia em regiões de TMCFs foram realizados por Bruijnzeel (2001) e Bruijnzeel, Mulligan e Scatena (2011). Neste primeiro artigo (BRUIJNZEEL, 2001) foram descritos resultados obtidos em florestas situadas principalmente na América Latina e Caribe. Em Bruijnzeel, Mulligan e Scatena (2011), são apresentados mapas regionais de modelagem da interceptação do nevoeiro, tanto em termos de valores absolutos quanto em porcentagens do total de entrada de água. Os valores da interceptação anual da ICA, listados por Bruijnzeel, Mulligan e Scatena (2011), determinados com o método do balanço hídrico do dossel ou *wet-canopy water budget method (WCWB)* (descrito na seção AVANÇOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS RELATIVOS AO PROCESSO DE ICA) apresentaram grande variação entre as áreas amostradas (entre 22 a 1990 mm/ano), provavelmente em decorrência da heterogeneidade espacial dos pontos amostrados e suas distintas características geográficas.

Os estudos sobre ICA se desenvolveram em algumas áreas de TMCFs como: Ilhas Canárias (GARCIA-SANTOS; BRUIJNZEEL, 2011; RITTER; REGALADO; ASCHAN, 2008); Porto Rico (EUGSTER *et al.*, 2006; HOLWERDA *et al.*, 2006); Havaí (JUVIK; DELAY, 2011) e Colômbia (CARDENAS *et al.*, 2017); Brasil (BITTENCOURT *et al.*, 2019) entre outros. Porém, segundo Bruijnzeel *et al.*, (2005) e Bittencourt *et al.*, (2019) ainda faltam informações

comparativas sobre variações espaciais climatológicas e taxas típicas de interceptação da ICA por diferentes tipos de floresta.

No ano de 2022, a Assembleia Geral das Nações Unidas declarou o Ano Internacional do Desenvolvimento Sustentável das Montanhas. Uma das principais iniciativas foi o estabelecimento de um Comitê Científico Aberto (OESC) e a produção de vários resumos de políticas para o desenvolvimento sustentável das montanhas. Entre elas está a coleta e compartilhamento de dados *in situ*, sobre mudanças climáticas e dinâmicas dos ecossistemas de montanha. O OESC aponta uma deficiência na cobertura global de registro de séries de dados hidrológicos e a importância do compartilhamento destes dados para a conservação e recuperação de ambientes de montanha (GEO MOUNTAINS, 2022).

Das 31 publicações selecionadas no presente trabalho, pelos critérios descritos na seção II (método), nota-se que as primeiras publicações datam da década de 1970. Já a partir dos anos 1990 com o aumento do interesse sobre o tema, e a criação do Simpósio Internacional sobre TMCF em Porto Rico, dobraram de número publicações (Figura 1) (HAMILTON *et al.*, 1995).

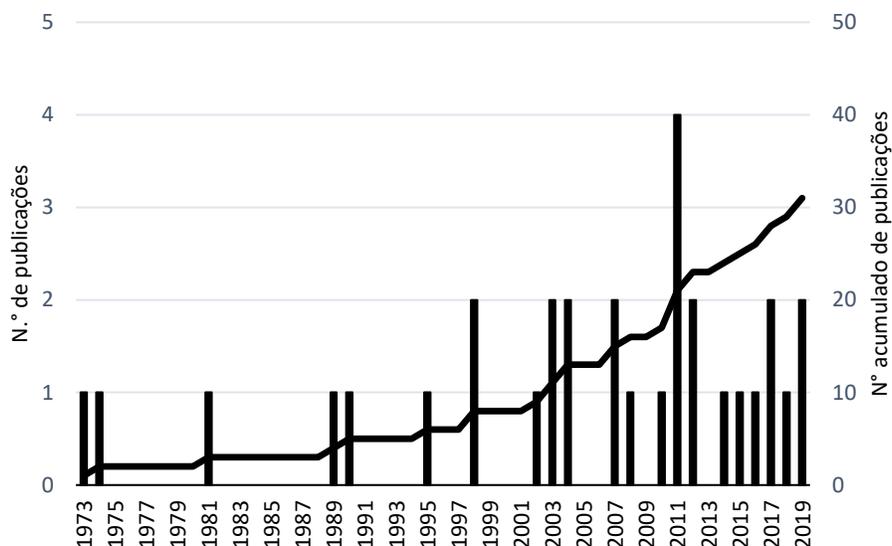


Figura 1- Número de artigos referentes ICA a partir de medições abaixo do dossel e ano de publicação. Elaborado pelos autores (2023).

Levantamento na literatura científica das condições de ocorrência da ICA.

A quantidade de água produzida pela interceptação da ICA é altamente dependente do local e parcialmente em propriedades da vegetação, aspectos climáticos e características do terreno. Aspectos de localização referem-se principalmente à distância do mar, elevação e grau de exposição do terreno ao nevoeiro (orientação das vertentes) (FREYBERG; SAWASKE, 2015). Propriedades da vegetação incluem: altura, tamanho

e estrutura do dossel; arranjo e a forma de folhas e troncos; localização das árvores e a densidade populacional; presença e morfologia das epífitas. Os aspectos climáticos referem-se principalmente: a temperatura; intensidade de luz reduzida; velocidade e direção do vento; frequência de nevoeiro, e propriedades do nevoeiro (particularmente a distribuição de tamanho das gotículas de água) (BRUIJNZEEL; PROCTOR, 1995; RITTER; REGALADO; ASCHAN, 2008).

Como observado na Figura 2 a grande maioria das pesquisas sobre ICA, que atenderam os critérios de seleção estipulados no presente artigo, estão localizadas nos EUA/Havaí e América Central. Também é notável o número de países com extensas áreas costeiras e/ou montanhosas que apresentam falta de dados ou com números reduzidos de estudos sobre ICA.

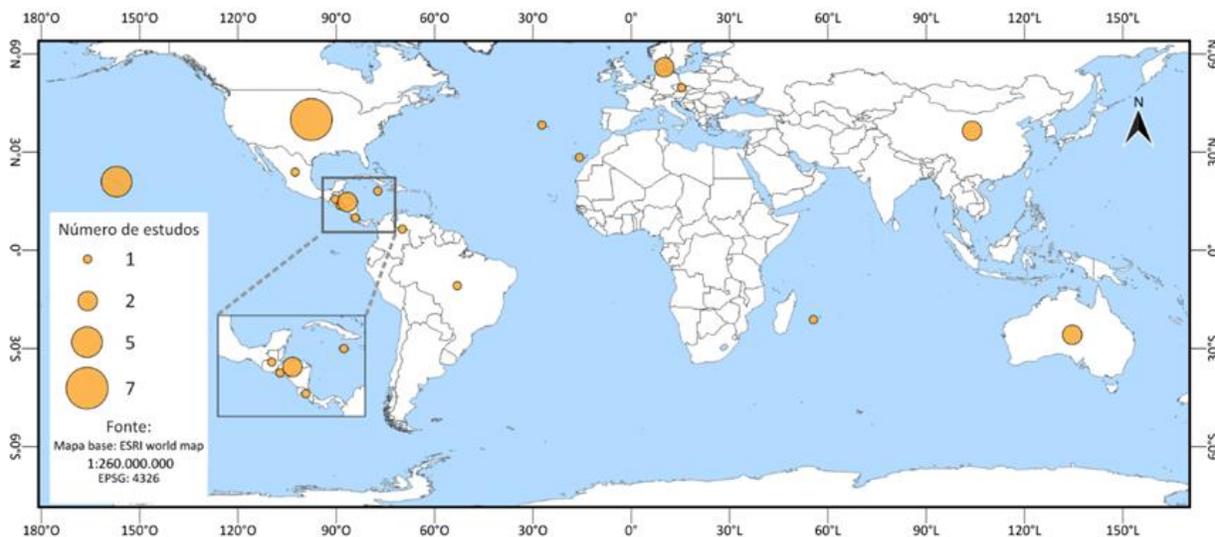


Figura 2 – Número de pesquisas sobre ICA por países. Elaborado pelos autores (2023).

Pela observação das bases bem definidas das nuvens junto as TMCfs, pode-se identificar o nível altimétrico em que ocorre a condensação do vapor existente no ar (HAMILTON, 1995) e ainda relacionar ao tipo de vegetação associada a estas condições climáticas (BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011).

As TMCfs ocorrem, geralmente, entre os limites altimétricos de 800 a 3500 s.n.m. dependendo principalmente da dimensão da montanha e sua distância da costa. Conforme o incremento da altitude, aliado a alterações geomorfológicas e pedológicas, nas TMCfs ocorrem mudanças distintas na aparência e estrutura da vegetação. Inicialmente essas mudanças são graduais e em cotas mais elevadas se tornam mais abruptas. Portanto as elevações exatas onde certas formações de florestas são encontradas variam muito e podem ocorrer dentro de uma ampla gama de altitudes e regimes climáticos (HAMILTON *et al.*, 1995; BRUIJNZEEL; HAMILTON, 2000; BRUIJNZEEL, 2001). De modo geral, podem ser distinguidas cinco classes florestais: *lower*

montane rain forest (LMRF), abaixo do cinturão de nevoeiro; *lower montane cloud forest* (LMCF); *upper montane cloud forest* (UMCF), estatura intermediária; *sub-alpine cloud forest* (SACF); *elfin cloud forest* (EFC). Além dos contrastes nas taxas de precipitação essas tipologias também podem se distinguir pela estrutura da vegetação, grau de cobertura por epífitas e temperatura (BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011).

Para o âmbito nacional, a presente pesquisa assumiu a classificação utilizada por Struminski (2001), como uma nomenclatura correspondente a classificação internacional descrita no parágrafo anterior. Com base na classificação do IBGE (1992) e em observações de campo o autor apresentou a seguinte topologia para as florestas de montanha brasileiras: Floresta Ombrófila Densa Montana, análoga a LMCF (de 600 a 900/1000 s.n.m); Floresta Ombrófila Densa Altomontana, análoga a UMCF (900/1000 a 1400 s.n.m); Refúgios Vegetacionais Altomontanos herbáceo ou campos de altitude (acima de 1300 s.n.m); Refúgios Vegetacional Altomontano herbáceo ou vegetação rupestre, ocupam os afloramentos rochosos. Entretanto, classificações como esta, embora cumpram seu papel, são generalistas. Os tipos florestais da serra de regiões serranas estão diretamente relacionados com aspectos pedológicos e geomorfológicos que com intervalos entre cotas altimétricas (SCHEER; CURCIO; RODERJAN, 2013).

Aspectos da vegetação de florestas nebulares tropicais

Segundo Bruijnzeel, Mulligan e Scatena (2011), a altura do dossel nas LMCF (floresta montana) pode variar entre 15 a 33 m e a ocorrência de briófitas ocupa entre 25% e 50% dos troncos. Em áreas onde a UMCF (floresta altomontana) está presente, à altura do dossel varia aproximadamente entre 2 e 18 m e, a cobertura dos troncos por briófitas entre 70 a 80%. Embora não haja uma separação bem definida de temperatura entre as duas tipologias, é consenso entre as pesquisas que, a transição entre a LMCF e UMCF coincide com início da ocorrência do nevoeiro e suas variações altimétricas apresentam diferenças entre a distribuição das TMCF ao redor do planeta. A SACF é caracterizada por árvores com alturas do dossel e folhas menores que as descritas anteriormente, ausência de epífitas, porém briófitas podem ocorrer com frequência. Esta última classe ocupa montanhas de grandes elevações, sua transição é observada em elevações entre 2.800 e 3.200 s.n.m. Já a ECF possui uma estrutura florística semelhante, mas pode ocorrer em uma ampla gama de elevações. Esta fisionomia arbustiva geralmente ocorre na transição entre floresta e campo de altitude altomontano.

Para Scheer, Curcio e Roderjan (2013) e Eller *et al.* (2020), a distribuição das florestas nebulares tropicais é mais bem explicada pelos solos que derivam da geomorfologia. Portanto, é o fator geopedológico que ganha força com o incremento da altitude e dita a fisionomia, estatura e florística, diferenciando essas florestas.

Em especial a UMCF ou Floresta Ombrófila Densa Altomontana na nomenclatura brasileira, tem aspectos únicos por sua frequente exposição aos nevoeiros e solos associados. A UMCF é caracterizada pela abundância de musgos, epífitas e dossel baixo (inferior a 6 metros de altura) (SCHEER; CURCIO; RODERJAN, 2011). As árvores são retorcidas e raquíticas, as folhas são grossas e resistentes, com ramos apontando para direção oposta ao vento predominante (STADTMULLER, 1987; CAVALIER *et al.*, 1997). Ainda as plantas sobre essas condições (umidificação contínua da superfície das folhas) desenvolvem estratégias para repelir a água favorecendo o gotejamento no solo (RITTER; REGALADO; ASCHAN, 2008).

A abundância de plantas epífitas (musgos, samambaias, bromélias) é um elemento importante na hidrologia e ecologia da TMCF. Até um quarto de todas as espécies presentes nestas florestas podem ser epífitas. Estes vegetais captam água diretamente dos nevoeiros e seu armazenamento de água pode variar entre 3.000 até 50.000 L.ha⁻¹ (BUBB *et al.*, 2004).

A estrutura das árvores presentes na UMCF inclui troncos proporcionalmente mais grossos e grandes sistemas de raízes que aumentam a estabilidade mecânica das árvores para sua fixação em vertentes declivosas (BRUIJNZEEL; PROCTOR, 1995). O aumento da frequência de imersão pelo nevoeiro, em maiores altitudes e condições geopedológicas associadas (SCHEER; CURCIO; RODERJAN, 2013), produz progressivamente vegetação de menor altura, folhas menores e troncos cobertos de epífitas. Esta mudança na estrutura da vegetação é acompanhada por alterações na composição florística (ELLER, *et al.*, 2020).

As condições hidroclimáticas únicas nas TMCFs selecionam uma comunidade vegetal distinta da maioria encontrada em florestas tropicais. A composição funcional da TMCF pode ser interpretada como o resultado de muitos filtros ambientais que interagem e se sobrepõem. Esses filtros impõem restrições ao estabelecimento de espécies mais altas e de crescimento mais rápido, comuns a áreas de menor altitude e mais planas, através de sistemas hidráulicos e mecânicos juntamente com a temperatura e condições pedológicas. A comunidade TMCF também apresenta sistema de raízes proporcionalmente grandes com alta densidade de raízes finas, o que reflete um grande investimento na aquisição de nutrientes (ELLER *et al.*, 2020).

Clima e distribuição de florestas nebulares tropicais

Em geral, as distribuições das TMCFs dependem dos limites superior e inferior do estrato de nuvem e de fatores ambientais globais, regionais e locais que influenciam sua formação. A transição em LMCF para UMCF bem como a espessura da nuvem são regidas principalmente pelo nível de condensação de nuvem persistente (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005). Este por sua vez é determinado pelo teor de umidade e temperatura da atmosfera. Com o distanciamento do oceano o ar tende a ser menos úmido e requer temperaturas mais

baixas, e, portanto, maiores elevações, para atingir a condensação (KITAYAMA, 1995). Acima da UMCF a vegetação úmida dá lugar a uma vegetação subalpina seca. Os limites inferiores do cinturão de nuvem que cobrem a TCMF podem variar de 800 a 2200 s.n.m. e podem chegar no seu limite superior até 3500 s.n.m. (BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011).

Além da elevação da base do estrato da nuvem, a faixa de TCMF também é regida pelo seu limite superior que sofre influência da circulação atmosférica em escala global como a célula de Hadley. Neste processo o ar aquecido atinge grandes elevações na zona equatorial e se desloca em direção aos polos e para leste na parte superior da atmosfera onde se resfria. O ar frio e seco desce em uma ampla faixa nos trópicos e subtropicais aonde retorna para o equador. Como o ar desce e se aquece, forma uma inversão de temperatura que separa a camada úmida de ar superficial do ar descendente mais seco acima. Este fenômeno é chamado Inversão dos ventos alísios (*Trade Wind Inversion -TWI*) (CAO *et al.*, 2007). O efeito do TWI sobre os limites superiores da TCMF é determinante. Sobre o leste do oceano pacífico (ex. costa sul da Califórnia) o TWI ocorre apenas a algumas centenas de metros do nível do mar e sobe para cerca de 2200 m próximo ao Havaí. Por consequência, algumas encostas a barlavento no arquipélago havaiano, recebem mais de 6.000 mm de chuva por ano abaixo da inversão da camada (BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011).

Sobreposto a escala global, localmente a umidade e temperatura são controladas por colunas de ascensão do ar. Estas por sua vez sofrem influência das temperaturas da superfície do mar, interações com a costa, tamanho, orientação e exposição das montanhas aos ventos predominantes (STADTMÜLLER, 1987; KEPPELLER, 2007; BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011).

Devido a interação dos fatores ambientais responsáveis pela ocorrência de TCMF o mapeamento de sua distribuição global tem sido um desafio. Levantamentos florestais nacionais costumam não ser consistentes e utilizam categorias próprias para classificação (STADTMÜLLER, 1987; BUPP *et al.*, 2004). Abordagens que utilizam índices de altitude, temperatura, precipitação, incidência de nevoeiro e condições edáficas foram utilizadas para levantamentos diretos e modelagens (BUPP *et al.*, 2004; SCATENA *et al.*, 2010; BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011). Scatena *et al.* (2010) combinaram dados de cobertura vegetal e limites de altitude de TCMF e estimaram a área potencial de TCMF na ordem de 380.000 km², ou 2,5% das florestas tropicais do planeta. Já a área real foi da ordem aproximadamente 215.000 km² ou de 1.4% das florestas tropicais mundiais. Levantamentos sobre a distribuição da área de TCMF também foram realizadas combinando dados sobre a frequência de ocorrência de nevoeiros e observações de satélite (MULLIGAN, 2010). Para Bruijnzeel, Mulligan e

Scatena (2011), os resultados foram mais relevantes que os obtidos utilizando por cotas altimétricas e os valores de cobertura foram mais expressivos que o das estimativas anteriores (14,2% de toda floresta tropical).

Autores como Harr (1982), Kepeller (2007), Goldsmith *et al.* (2012) e Sawake e Freyberg (2015) buscaram identificar relações entre os volumes gotejados do nevoeiro e índices geográficos, como interações do vento com o terreno, em um esforço para melhor entender os fatores que condicionam a heterogeneidade espacial de ICA. Para os autores o grau exposição (HARR, 1982; KEPELLER, 2007; SAWAKE; FREYBERG, 2015), velocidade do vento (OBERLANDER, 1956; INGRAHAM; MATTHEWS, 1988) e frequência do nevoeiro (INGRAHAM; MATTHEWS, 1988; SAWAKE; FREYBERG, 2015) são os principais controles na produção da ICA. A orientação da encosta da montanha em relação à direção do vento predominante determina a exposição do local à umidade atmosférica. Consequentemente, locais elevados a barlavento e próximos à linha de cumes são os mais favoráveis a produção de gotejamento do nevoeiro.

Avanços teórico-metodológicos relativos ao processo de ICA.

O processo de interceptação em florestas de ambientes tropicais e temperados é tradicionalmente estudado medindo ou estimando a P (precipitação total), P_i (precipitação interna), E_t (escoamento de tronco) e I (perdas por interceptação ou volume de água que é retida pela vegetação e retorna para atmosfera por evapotranspiração). Normalmente os valores de P_i e E_t são inferiores a P . Em contraste em algumas regiões de montanha onde a umidade atmosférica é muito alta a água que atinge o solo da floresta a precipitação efetiva P_e ($P_i + E_t$), pode ser maior do que P (RITTER; REGALADO; ASCHAN, 2010) (Figura 3). Isto demonstra que em ambientes de montanha a condensação da umidade atmosférica é uma importante entrada adicional de água, pois pode alterar consideravelmente o balanço hídrico dessas florestas. Este processo tem sido associado a redução da evapotranspiração (FIGUEIRA *et al.*, 2013; DOMINGUEZ *et al.*, 2017). O que parece estar associado a redução da radiação solar e aumento da umidade atmosférica (BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011). Schellekens *et al.* (1998) constataram uma redução de 50% na evaporação potencial em florestas nebulares de Porto Rico.

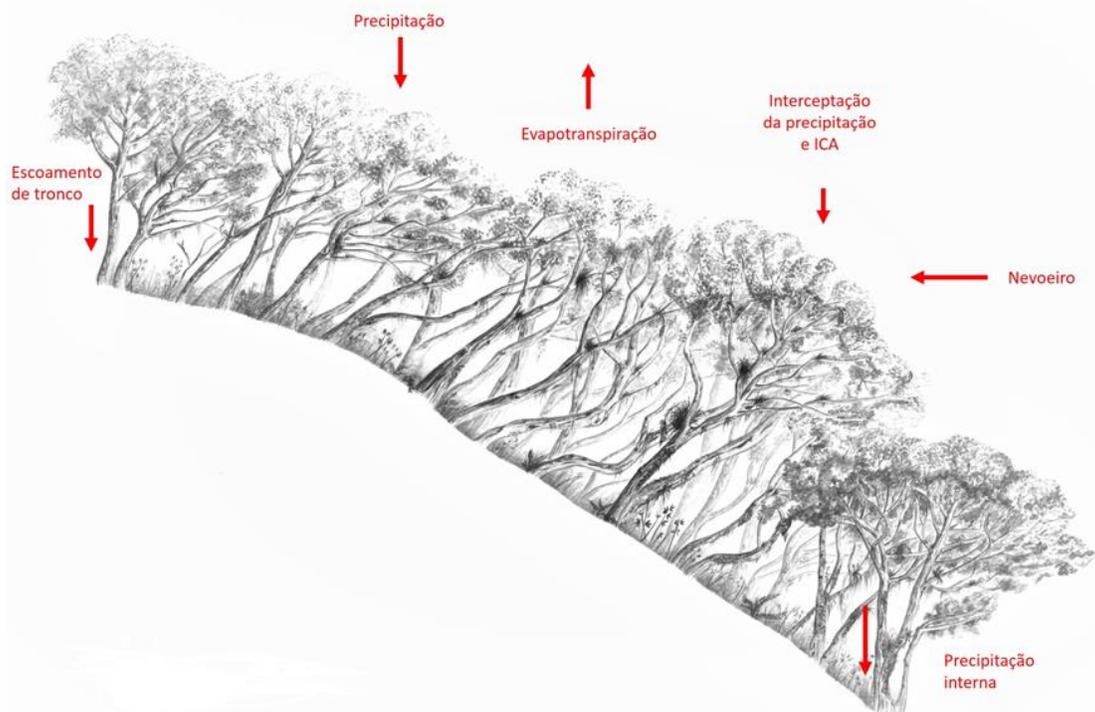


Figura 3 – Perfil esquemático de um trecho de floresta de transição (LMCF-UMCF) e componentes do processo de interceptação da condensação atmosférica. Adaptado de: STOCCO (2023).

Segundo Bruijnzeel (2001), embora a importância da ICA, como entrada adicional de água, seja amplamente reconhecida sua quantificação é difícil. Tradicionalmente, dois métodos básicos foram estabelecidos para medir a ICA: coletores de nevoeiro e comparações entre P_e e P .

Coletores de nevoeiro artificiais fornecem uma indicação da frequência e quantidade de nevoeiro que pode ser potencialmente capturado. O problema usando esse tipo de equipamento é que cada dossel da floresta representa uma situação única que não pode ser totalmente caracterizada com um coletor de água de névoa (MACJANNET; WALLACE; REDDELL, 2007). Embora os medidores de nevoeiro sejam de prática instalação fornecem estimativas relacionadas a sua capacidade de captar a neblina e não a da vegetação. Portanto, fornecem resultados que dependem do desenho de cada coletor. Ainda sua captura é altamente dependente de sua posição no terreno e a obstáculos próximos (BRUIJNZEEL, 2001).

Entre os medidores de névoa utilizados para caracterizar a ocorrência do nevoeiro os modelos mais utilizados são: harpa (BERRONES, *et al.*, 2021), tela cilíndrica (JUVIK; EKERN, 1978), painel (SCHEMENAUER; CERECEDA, 1994; JUVIK; NULLET, 1995) e visibilímetros eletrônicos (BITTENCURT *et al.*, 2019). A quantidade de água capturada por coletores passivos de nevoeiro é expressa como fluxo de nuvem horizontal ou horizontal cloud water fluxes (CWF; mm/hora) (FRUMAU *et al.*, 2010). Essas taxas podem servir para se inferir sobre a ocorrência da ICA, comparar pontos de medição e como parâmetro de entrada de modelos hidrológicos.

As medições da ICA também podem ocorrer pela abordagem do balanço hídrico do dossel ou *wet-canopy water budget method* (WCWB) que é, na maioria dos casos, um método mais adequado porque mede a relação entre a quantidade de água gotejando abaixo do dossel o escoamento de tronco e a precipitação total e estabelece regressões lineares entre seus componentes a fim de separar as duas entradas de água distintas (precipitação e ICA) (HARR, 1982; SIGMOND *et al.*, 1989; MACJANNET; WALLACE; REDDELL, 2007; RITTER; REGALADO; ASCHAN, 2010; DOMINGUEZ *et al.*, 2017).

A estimativa da ICA na ausência de precipitação, ou seja, apenas com ocorrência de nevoeiro pode ser expressa como:

$$ICA = E + P_i + E_t \quad (1)$$

Em que ICA é a interceptação da condensação atmosférica, E é a evaporação da copa, P_i a precipitação interna e E_t o escoamento de tronco. A soma de P_i e E_t é chamada precipitação efetiva (P_e).

Como E é de difícil determinação normalmente é desconsiderado obtendo-se um valor da ICA subestimado, denominado ICA líquida (BRUIJNZEEL; EUGSTER; BURKARD, 2005).

Para os períodos em que ocorre a combinação de nevoeiro e incidência de chuva concomitantes o processo hidrológico pode ser expresso:

$$P + ICA = \sum E + P_i + E_t \quad (2)$$

Em que P é a precipitação total e $\sum E$ é a evaporação da água do nevoeiro somada a da chuva. Como no caso anterior a valor da evaporação é desconsiderado.

Para a aplicação das equações anteriores (1 e 2) é necessário medir a P em local aberto (sem influência de obstáculos) e separar os eventos com e sem nevoeiros.

Em alguns casos o método do balanço hídrico dossel também considera a evaporação do dossel assim como a variação do volume de água por ele retida (HAFKENSCHIED *et al.*, 1998; GIAMBELLUCA; DELAY; NULLET, 2011; TAKAHASHI *et al.*, 2011; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ; HOLWEDA, 2018). Para estimativa da evaporação do dossel normalmente é utilizado o método Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998).

Segundo Bruijnzeel (2001) e MacJannet, Wallace e Reddell (2006), a metodologia do balanço hídrico do dossel funciona bem quando há diferenças significativas entre os dias com e sem interceptação da nuvem. Em locais onde a interceptação do nevoeiro é limitada, as regressões entre P e P_e ($P_i - E_t$) podem não ser significativamente diferentes, tornando a abordagem sem validade do ponto de vista estatístico. Ainda este método apresenta uma limitação, pois o gotejamento do nevoeiro apresenta alta heterogeneidade espacial e para se estimar tal processo é necessária uma amostragem que utilize diversos coletores, ou coletores com

áreas de coleta representativas, ou ainda como apresentado em algumas pesquisas (SCHELLEKENS *et al.*, 1998; HAFKENSCHIED; BRUIJNZEEL; RICHARD, 1998) coletores que são posicionados em pontos distintos durante o monitoramento.

Uma série de métodos ainda são aplicados para se inferir sobre o comportamento de ICA como: concentração de sódio e cloreto presentes no nevoeiro (CLARK *et al.*, 1998; HAFKENSCHIED; BRUIJNZEEL; RICHARD, 1998); traçadores isotópicos (INGRAHAM; MATTHEWS, 1995; LIU *et al.*, 2007); modelos matemáticos (RITTER; REGALADO; ASCHAN, 2008; DOMINGUEZ, 2017); alterações no peso de epífitas (MULLIGAN; JARVIS, 2010) e visibilímetros eletrônicos (BITTENCOURT *et al.*, 2019).

Cavalier e Mejia (1990) (satélite GOES), Goldsmith *et al.* (2013) (satélites TERRA e AQUA) e Sawake, Freyberg (2015) (satélites MODIS para períodos diurnos e Aqua para períodos noturnos) utilizaram imagens espaciais com o propósito de mapear a distribuição e ocorrência do nevoeiro e sua relação a ICA e fornecimento de água para vegetação. A partir dos dados obtidos concluíram que a cobertura da neblina reduz o fluxo de ar diurno, temperatura e evapotranspiração. Ainda favorece o abastecimento de água nos períodos secos do ano principalmente pelo aumento do conteúdo de água no solo.

Magnitude e sazonalidade do fenômeno nos estudos antecedentes

A partir de dados espaciais, Jarvis e Mulligan (2011) fizeram observações sobre o clima em 477 locais ocupados por florestas sujeitas a nevoeiros. As TMCFs foram consideradas as mais úmidas (média de 184 mm/ano) e frias (média de 4,2 C°) em relação a demais florestas tropicais. Também são as que estão mais próximas ao oceano e com maiores altitudes.

Bruijnzeel, Mulligan e Scatena (2011) elaboraram uma tabela relacionando dados de precipitação, precipitação interna e índice de área foliar para as diferentes classes de TMCF com base em 60 estudos. A partir de meta-análises obtiveram os seguintes resultados: as taxas médias de precipitação efetiva aumentam de 0,72 mm na LMRF (n = 15) para 0,81 mm na LMCF (n = 23), para 1,0 mm na UMCF (n = 18) e para 1,04 mm na SACF/EFC (n = 8); os valores médios de IAF diminuíram de 5,54 mm na LMRF para 4,67 mm na LMCF, de 3,96 mm na UMCF para 3,10 mm na SACF-EFC.

Segundo Bruijnzeel, Mulligan e Scatena (2011), comparações estatísticas entre a precipitação total e a precipitação efetiva para os diferentes locais de medição são limitadas pelos tamanhos desiguais das amostras e por diferenças metodológicas nas amostragens. No entanto as comparações de médias e medianas usando teste-t, teste de soma Mann-Whitney e ANOVA obtiveram diferenças significativas entre as categorias florestais

($p=0,05$) para Pe versus P entre UMCF e LMCF. A comparação entre as inclinações do gráfico Pe versus P também indicam que Pe excede P em locais de SACF-ECF enquanto as duas retas são próximas em locais de UMCF.

Em relação ao escoamento de tronco (Et), Bruijnzeel, Mulligan e Scatena (2011) apresentaram que na maior parte dos estudos analisados o componente não foi medido, porém os valores observados em LMRF e LMCF são tipicamente muito baixos (<1-2% em relação a precipitação efetiva). No entanto, frações de Et obtidas para UMCF variaram amplamente (0,1 – 30,5%) possivelmente refletindo variações na densidade dos troncos e grau de cobertura por epífitas, com média geral de 10% da precipitação (mediana 3%). O correspondente para SACF-EFC foi de 3-18% e 6,7% respectivamente.

As altas taxas de Pe obtidas para UMCF e SACF-ECF devem refletir parcialmente o efeito de ICA, pois é pertinente observar que as velocidades do vento em locais de UMCF e SACF-EFC tendem a ser maiores do que em locais mais baixos e protegidos das encostas (LMCF e LMRF) (HOLWERDA *et al.*, 2006). Portanto, a quantidade de precipitação medida em locais expostos ao vento tende a ser subestimadas e necessitam de correção para as perdas em torno dos coletores (HOLWERDA *et al.*, 2006; MACJANNET; WALLACE; REDDELL, 2007; GIAMBELLUCA; DELAY; NULLET, 2011). Segundo Bruijnzeel *et al.* (2011), a magnitude da correção pode ser substancial em alguns locais (>20%).

Outro aspecto hidrológico relacionado à presença dos nevoeiros nas regiões de TMCFs diz respeito, não a entrada de água para o sistema, mas sim às perdas pelos processos evaporativos (LIU *et al.*, 2007). Os resultados obtidos mostram valores de evapotranspiração inferiores nas TMCF que nos demais biomas tropicais. Enquanto as TMCFs apresentam taxas de evapotranspiração anuais entre 700 e 1000 mm, dependendo da altitude e do grau de incidência da nebulosidade, nas demais florestas os totais estão entre 1150 a 1350 mm. Para o balanço hídrico, a reduzida evapotranspiração nesses locais implica em maior escoamento de água na bacia hidrográfica (BRUIJNZEEL; HAMILTON, 2001).

Com base na topografia, Sawake e Freyberg (2015) distribuíram 77 medidores de precipitação interna, por cinco meses, em uma área de 40 km². Os instrumentos de medição foram posicionados em locais de colo, encosta e fundo de vale, nas montanhas de Santa Cruz, Califórnia, EUA. As taxas de ICA (totais, sazonais e por eventos) variaram substancialmente entres os diferentes pontos de amostragem (entre 0 e 375 mm/mês). No entanto, a grande maioria dos medidores coletou taxas de gotejamento entre 1 e 60 mm/mês, com um valor mediano próximo a 10 mm/mês. Em relação a topografia os valores das taxas médias mensais (mm/mês) foram de 0,1 para o fundo de vale, 1,8 para a encosta e 71 para colo (parte inferior do divisor de águas).

Embora existam muitos outros fatores envolvidos, esta simples classificação qualitativa demonstra que a localização dos experimentos é provavelmente um determinante primário das taxas relativas ao gotejamento do nevoeiro. O aspecto da localização envolve controle topográfico relacionados a frequência e exposição a nevoeiros e padrões de ventos, bem como em dimensões individuais de árvores (SAWAKE; FREYBERG, 2015).

A Tabela 1 inclui os valores de *P*, *Pe*, *Et* e porcentagem de ICA obtidos exclusivamente por medições do gotejamento do dossel, pra diversos tipos de florestas, e que atenderam o conjunto de quesitos descritos na seção método. Pelos valores listados pode-se observar uma grande variação entre os volumes interceptados. A ICA variou entre 0,3 e 362 mm/mês (n = 47). A média foi 59,12 mm/mês e a mediana 30 mm/mês. O desvio padrão 81,59 e o coeficiente de variação na ordem de 138 %. ICA é em média responsável por 48% da precipitação efetiva (n = 41). Os valores apresentam grande variação, entre 0,5 % e 462%.

Essas estatísticas demonstram a presença de valores atípicos (outliers) e, portanto, assimetria do conjunto de dados. Esse fato pode ser decorrente, como observado por Bruijnzeel, Mulligan e Scatena, (2011), pelos tamanhos desiguais das amostras e por diferenças metodológicas nas amostragens. Ainda por diferenças nas características ambientais dos locais de estudo (HARR, 1982; KEPPELLER, 2007; GOLDESMITH *et al.*, 2012; SAWAKE; FREYBERG, 2015).

Tabela 1- Relação dos estudos com medições da interceptação da condensação atmosférica (ICA) abaixo do dossel.

Caracterização do sítio			Resultado experimental				
País	P média (mm/ano)	Vegetação	Período (dias)	P	ICA	ICA (%)	Fonte
Continentes EUA	1170	Redwood	1095	1266 (mm ano-1)	36,7 (mm mês-1)	34	Dawson, 1998
	1651-2032	Douglas fir, redwood	46		84 (mm mês-1)		Azevedo; Morgan, 1974
	1170	Douglas fir, redwood	457	9,6 (mm mês-1)	Keppeler, 2007		
	1000	Douglas fir, coyote brush	450	10-30 (mm ano-1)	Chung <i>et al.</i> , 2017		
	800-1400	Mature conifers	148	10 (mm mês-1)	Sawake <i>et al.</i> , 2015		
	400-1500	Shrub - (Baccharis pilularis e Rhamnus californica)	304	1290	1561 (mm período-1)	121	Potter, 2016
	681	Knobcone pine	135	40,8 (mm mês-1)	Vogl, 1973		
MX		Cloud forest	360	1788	1,9 (mm mês-1)	8	González-Martinez <i>et al.</i> , 2018

Caracterização do sítio			Resultado experimental				
País	P média (mm/ano)	Vegetação	Período (dias)	P	ICA	ICA (%)	Fonte
GT	5000	LMRF	308	2559	23,4 (mm período-1)	1	Holder, 2003
		UMRF			203,4 (mm período-1)	7,4	
SV	2000-3500	Pinares	167	290	5 (mm período-1)	1,77	Rodríguez, 2011
		Bosque nublado		294	24 (mm período-1)	8,2	
				346	62 (mm período-1)	17,9	
HN	2000-4000	Bosque nublado	365	1468	59,6 (mm mês-1)	48,71	Stadtmuller; Agudelo, 1990
	2360	Bosque nublado	1825		1382 (mm ano-1)	141	Agudelo <i>et al.</i> , 2012
CR	2512	Bosque úmido pré-montano	182	2305	352,9 (mm período-1)	15,3	Moreno, 1981
VE/ CO	1000	Elfin cloud forest	365	853	796 (mm ano-1)	93,3	Cavelier; Goldstein, 1989
				1630	518 (mm ano-1)	31,2	
BR		TMCF	360	2517	251 (mm ano-1)	10,7	Bittencourt <i>et al.</i> , 2019
				210	303,3	0,07 (mm h-1)	25
DE	582-1814	Norway spruce [<i>Picea abies</i> (L.) Karst.]	187	427	2 (mm período-1)	0,5	Köhler <i>et al.</i> , 2014
				656	10 (mm período-1)	1,5	
				699	65 (mm período-1)	9,3	
				671	195 (mm período-1)	29	
			750		162 (mm período-1)	21,6	

Caracterização do sítio			Resultado experimental					
País	P média (mm/ano)	Vegetação	Período (dias)	P	ICA	ICA (%)	Fonte	
CZ	1290-1400	Norway spruce (<i>Picea abies</i>)	519	630	27 (mm período-1)	4,3	Krecek <i>et al.</i> , 2017	
				683	120 (mm período-1)	17,6		
CN	1487	Menglun Forest	1440	1718	89,4 (mm ano-1)	5	Liu <i>et al.</i> , 2004	
	630	<i>Pinus tabulaeformis</i> , <i>Quercus variabilis</i> , and <i>Platycladus orientalis</i>	720		33 (mm ano-1)	4,61	Jia <i>et al.</i> , 2019	
AU	3952	Complex Notophyll Vine Forest	657	2983 (mm ano-1)	563 (mm ano-1)	19	MacJannet <i>et al.</i> , 2007	
		Simple Notophyll Vine Forest	533	3040 (mm ano-1)	207 (mm ano-1)	7		
		Simple Microphyll Vine Fern Thicket	391	7471 (mm ano-1)	2168 (mm ano-1)	29		
	968	Floresta subtropical	912		309 (mm mês-1)	40		Hutley <i>et al.</i> , 1997
Ilhas	1011	Shrubs	751	962 (mm ano-1)	116 (mm ano-1)	12,1	Giambelluca <i>et al.</i> , 2011*	
	2702	Hawaiian cloud forests	564	2389 (mm ano-1)	1212 (mm ano-1)	50,7		
	1500	Floresta nativa norte	568		1217	0,1 (mm dia-1)	12	Brauman <i>et al.</i> , 2010
		Floresta nativa sul			993	0,3 (mm dia-1)	27	
	EUA/HI	625	Cook Pine (<i>Araucaria columnaris</i>)	292	457	7,9 (mm dia-1)	146	Juvik <i>et al.</i> , 2011
		1099				4,4 (mm dia-1)	462	
	510	Floresta nativa	510			1188 (mm ano-1)	37	Takahashi <i>et al.</i> , 2011
		Floresta invasora				3735 (mm ano-1)	733 (mm ano-1)	
	4400	Elfin cloud forest	100	336	606 (mm período-1)	180	Juvik; Nullet, 1995	
	PT/ AÇ	2966	<i>Erica arborea</i> L. (nativa)	688	4487,5	8337,9 (mm período-1)	186	Prada <i>et al.</i> , 2012

Caracterização do sítio			Resultado experimental				
País	P média (mm/ano)	Vegetação	Período (dias)	P	ICA	ICA (%)	Fonte
ES/ CAN	760	Laurel forest	360	770	670 (mm ano-1)	87	García-Santos <i>et al.</i> , 2004
JM	2850	TMCF ridge top forest	496	4880	244 (mm período-1)	5	Hafkenschaid <i>et al.</i> , 1998
FR/ RE	3000	Upper montane forest (ericaceous shrubs, S. denudata)	240	948	232 (mm período-1)	25	Gabriel; Jauze, 2008

Nota: Dados sem unidade descritos na coluna P dizem respeito a (mm período-1) EUA - Estados Unidos da América, MX- México, GT- Guatemala, SV- El Salvador, HN- Honduras, CR- Costa Rica, VN- Venezuela, CO- Colômbia, BR- Brasil, DE- Dinamarca, CZ- República Tcheca, CN- China, AU- Austrália, HI- Havaí, PT- Portugal, AÇ- Açores, ES- Espanha, CN- Canárias, JM- Jamaica, FR- França, RE- Ilhas Reunião. Elaboração autores (2023).

Como observado na Tabela 1 existem diversas nomenclaturas e tipos de vegetações associadas ao nevoeiro. Essa variedade de termos foi observada por Stadtmuller e Agudelo (1990) que relataram dezenas de designações utilizadas para descrever florestas sujeitas a nevoeiros.

Algumas pesquisas presentes na Tabela 1 foram realizadas em cotas altimétricas inferiores a 600 s.n.m e, portanto, não em florestas nebulares de montanha. Como é o caso das florestas Redwoods localizadas da costa norte da Califórnia nos EUA (< 50 km) (AZEVEDO; MORGAN, 1974; DAWSON, 1998; KEPPELER, 2007; SAWAKE *et al.*, 2015; CHUNG *et al.*, 2017). Confirmando que a proximidade do litoral favorece a ocorrência de nuvens estrato e conseqüente ocorrência da ICA como relatado na literatura (BRUIJNZEEL; PROCTOR, 1995; RITTER; REGALADO; ASCHAN, 2008).

Dos 31 estudos listados na Tabela 1 somente cinco deles coletaram dados de escoamento de tronco (16%) (MORENO, 1981; HAFKENSCHIED *et al.*, 1998; MACJANNET; WALLACE; REDDELL, 2007; KRECEK *et al.*, 2017; BITTENCOURT *et al.*, 2019). Os valores para *Et*, descritos pelos autores citados acima, variaram entre 0,42% e 21% do total da precipitação efetiva (n=6) e a média foi 7,79%. Demonstrando assim a grande variabilidade desse componente. Como descrito na Figura 4.

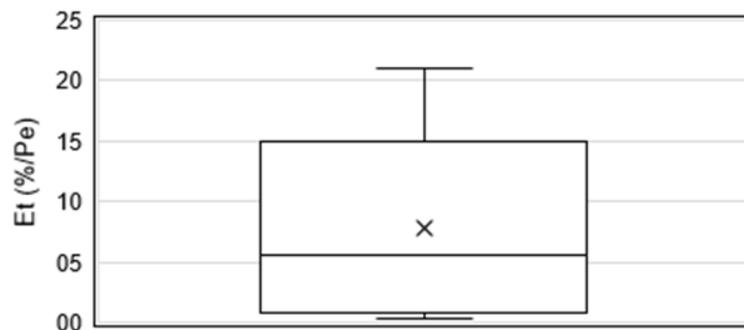


Figura 4 – variação da porcentagem do escoamento de tronco (et) sobre a precipitação efetiva. Elaboração autores (2023).

Segundo Hafkenscheid *et al.* (1998), o elevado valor de *Et* obtido em sua pesquisa (21%), quando comparado aos outros encontrados na literatura, pode ser consequente da alta proporção de rebrota dos troncos em ambientes declivosos. Vertentes com alto gradiente dificultam a fixação das raízes e favorecem a inclinação dos troncos. Por sua vez, ocorrem uma profusão de rebrotas dando origem a novas copas que irão compor o arranjo do dossel (ELLER *et al.*, 2020). Também pode ser atribuído ao alto grau de cobertura de briófitas e epífitas que favorecem a retenção de água nos troncos (BRUIJNZEEL; MULLIGAM; SCATENA, 2011; SCHEER; MOCOCHINSKI; RODERJAN, 2011).

A medição do *Et* exige a instalação de anéis coletores ao redor dos troncos e leituras periódicas das alturas obtidas. Sendo assim um componente de difícil obtenção e, portanto, muitas vezes desprezado. Os estudos sobre as taxas do escoamento de tronco são poucos e heterogêneos e, portanto, insuficientes para generalizações. Isso faz com que, em alguns casos, as taxas de interceptação sejam superestimadas. Dessa maneira, diminuem-se as possibilidades de inferir sobre as relações entre os componentes do processo. O que indica uma lacuna no entendimento da interferência da floresta na redistribuição da precipitação e da ICA (KOBAYAMA; GIGLIO, 2013; LANGE; SANTOS, submetido à publicação).

A Figura 5, elaborada a partir de dados apresentados na Tabela 1, indica que a contribuição de ICA em relação a precipitação é proporcional. Isso pode representar quase a totalidade da precipitação. Demonstrando que a saturação promove maior eficiência da condensação atmosférica que atinge o solo e, portanto, a importância do fenômeno.

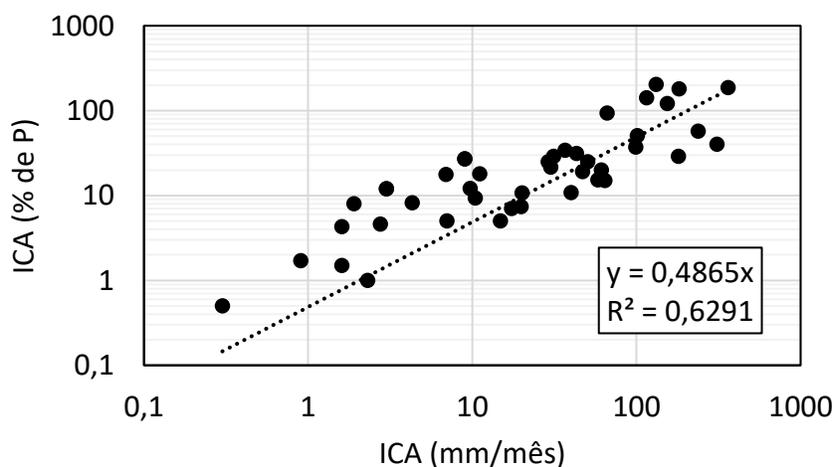


Figura 5 – Correlação entre a proporção de ICA sobre a precipitação total (%) e ICA (mm/mês). Elaboração autores (2023).

Foram levantados dados geográficos, como distância da costa e altimetria, nos 31 artigos selecionados pela presente pesquisa, como uma tentativa para se estabelecer relações entre condições ambientais e

grandezas de ICA. A partir de regressões realizadas entre a ICA (mm/mês) e os valores de distância da costa (km) e elevação (m) representados na Figuras (6 e 7) percebe-se uma fraca correlação, $R=0,298$ e $R=0,028$ respectivamente. Segundo afirmações de Ritter *et al.* (2008) e Bruijnzeel e Proctor (1995), os aspectos de localização, como distância da costa e elevação são os principais condicionantes para a ocorrência do processo de ICA. Porém, não são suficientes para explicar as alturas de ICA das pesquisas aqui listadas. A localização dos experimentos de medição pode estar relacionada a escalas mais locais, como a posição no terreno e consequente grau de exposição ao nevoeiro (HARR, 1982; KEPPELLER, 2007; SAWAKE; FREYBERG, 2015) e frequência do nevoeiro (INGRAHAM; MATTHEWS, 1988; SAWAKE; FREYBERG, 2015).

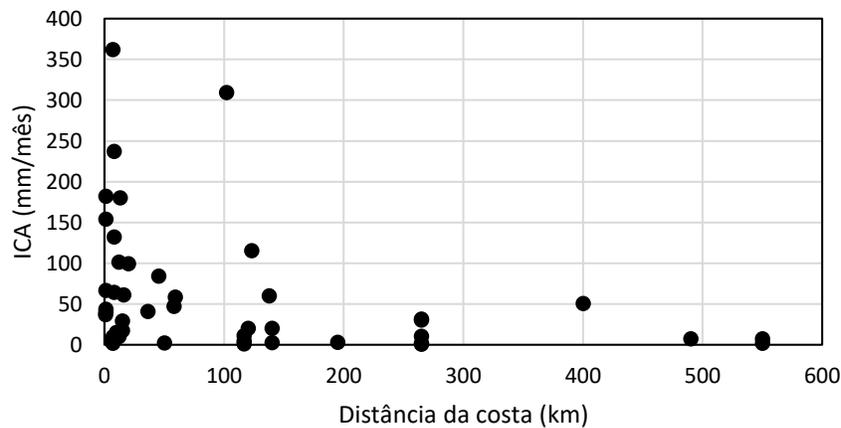


Figura 6 – Correlação entre a distância da costa sobre a ICA (mm/mês). Elaboração autores (2023).

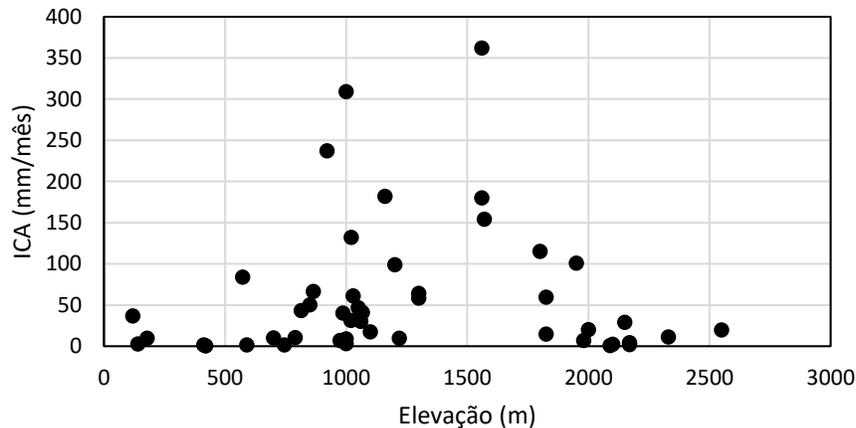


Figura 7– Correlação entre a elevação sobre a ICA (mm/mês). Elaboração autores (2023).

Quando se individualiza os dados de ICA de acordo com a localização, entre ilhas e continentes, pode-se perceber uma grande distinção entre as alturas de ICA (Figura 8). Em continentes houve uma variação de ICA entre 0,3 e 309 mm/mês ($n=34$). Com média de 36,31 mm/mês, mediana 19,95 mm/mês, desvio padrão 36,31

mm/mês e coeficiente de variação 83,69% mm/mês. Para as medições realizadas em ilhas a média foi de 100,28 mm/mês (n=13), mediana 64,20 mm/mês, desvio padrão 106,48 mm/mês e coeficiente de variação 106,19% mm/mês.

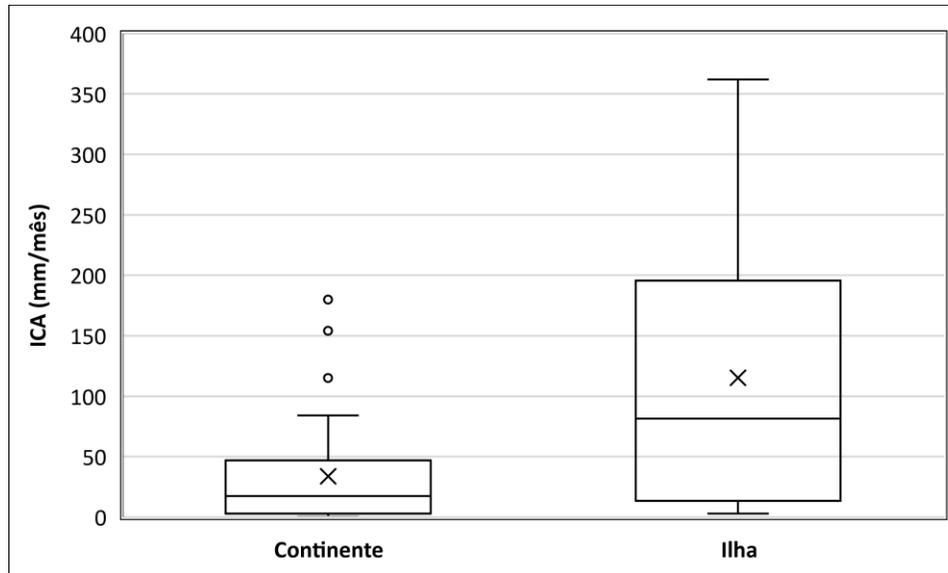


Figura 8 – Volumes de ICA em ilhas e continentes. Elaboração autores (2023).

Apesar da diferença entre o tamanho das amostras, continentes (n=34) e ilhas (n=13), são notáveis os maiores volumes de ICA para os ambientes insulares, possivelmente em consequência da ação de brisas marítimas

IV. CONCLUSÕES

Reconhecidamente a ICA fornece uma contribuição importante para o balanço hídrico e como efeito para manutenção de ecossistemas associados. Com base nas pesquisas, que utilizaram o método do balanço hídrico do dossel, a ICA é em média responsável por 42% da precipitação efetiva (n:41). Os valores listados apresentam grande variação, entre 0,5 % e 203%, provavelmente decorrente das distintas características ambientais dos locais amostrados assim como das variações nos tamanhos das amostras.

Em geral, a ICA é mais comum em locais como bordas continentais e ilhas constantemente sujeitas a correntes atmosféricas e brisas marítimas. A vegetação presente nesses locais é fundamental na regulação do fornecimento de água para rios e demais fluxos de água no solo.

A literatura consultada apresentou uma grande variedade de termos para designar a ICA. Das 31 publicações selecionadas foram encontrados 14 diferentes vocábulos. Sendo que os mais comuns foram “*Cloud Water Interception*” (19,4%) e “*Fog drip*” (16,1%). Também foram verificadas diversas nomenclaturas para se

referir as florestas de montanha expostas frequentemente ao nevoeiro e favoráveis a ocorrência de ICA. Nota-se, portanto, uma falta de padronização do vocabulário, referente ao tema, que facilite o diálogo entre pesquisadores, governos e sociedade para pesquisas futuras. Em português os trabalhos encontrados usaram o termo Precipitação Oculta, no entanto o conceitualmente mais apropriado seria ICA.

Os estudos sobre a ICA tiveram início na primeira década do século XX e a partir da década de 1990 se intensificaram devido ao aumento da degradação dos ambientes de montanha. Desde então, diversas iniciativas foram realizadas através de encontros científicos. Mais recentemente, a ONU instituiu 2022 como o Ano Internacional do Desenvolvimento Sustentável das Montanhas.

Como observado, as pesquisas que utilizam que utilizam medições do gotejamento do dossel e escoamento de tronco, feitas por calhas e/ou recipientes coletores, são mais eficientes. Pois levam em conta a capacidade do arranjo do dossel de interceptar a condensação atmosférica. Para os estudos futuros, recomenda-se a utilização do método do balanço hídrico do dossel que incluam, medições de escoamento de tronco, componente normalmente desconsiderado.

Apesar da expressiva contribuição da ICA para o balanço hidrológico de determinadas regiões, ainda são escassos os estudos sobre o tema no mundo e principalmente no hemisfério sul. Advém assim, a importância da obtenção de dados, para a compreensão dos processos hidrológicos em ambientes de montanha, necessários para conservação e utilização dos recursos ambientais de forma racional. Ainda há de se considerar que a frequência e intensidade do fenômeno de ICA pode estar mudando devido as alterações climáticas

V. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56, p. 300, 1998.

APARECIDO, L. M.; TEODORO, G. S.; MOSQUERA, G.; BRUM, M.; BARROS, F. D. V.; POMPEU, P. V.; OLIVEIRA, R. S. Ecohydrological drivers of Neotropical vegetation in montane ecosystems. *Ecohydrology*, n. 1932, p. 1-17, 2018.

ARCOVA, F. C. S.; GALVANI, E.; RANZINI, M.; DE CICCIO, V. Avaliação da precipitação oculta na serra do mar com coletores passivos de nevoeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 25, 2019.

BERRONES, G.; CRESPO, P.; WILCOX, B. P.; TOBON, C.; CÉLLERI, R. Assessment of fog gauges and their effectiveness in quantifying fog in the Andean páramo. *Ecohydrology*, n. 2300, p. 1-17, 2021.

BITTENCOURT, R. L.; BARROS, F. V.; ELLER, C. B.; MÜLLER, C. S.; OLIVEIRA, R. S. The fog regime in a tropical montane cloud forest in Brazil and its effects on water, light and microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, n.265, p. 359-369, 2019.

BRAUMAN, K. A.; FREYBERG, D. L.; DAILY, G. C. Forest structure influences on rainfall partitioning and cloud

- interception: A comparison of native forest sites in Kona, Hawai'i. *Agricultural and Forest Meteorology*, n. 150, p. 265-275, 2010
- BRUIJNZEEL, L. A.; PROCTOR, J. Hydrology and Biogeochemistry of Tropical Cloud Forest: what do you really now? In: HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. O.; SCATENA, F. N. (Ed.). *Tropical Montane Cloud Forests*, Springer, 1995.
- BRUIJNZEEL, L. A.; HAMILTON, L. S. Decision time for cloud forests. *IHP Humid Tropics Programme Series n. 13 UNESCO*, 2000.
- BRUIJNZEEL, L. A. Hydrology of tropical montane cloud forests: a reassessment. *Land Use and Water Resources Research*, n.1, p. 1-18, 2001.
- BRUIJNZEEL, L. A.; BURKARD R.; EUGSTER W. Fog as a hydrologic input. In: ANDERSON, M. G. (Ed.). *Encyclopaedia of Hydrological Sciences*, John Wiley, p. 559–582, 2005.
- BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F. N.; HAMILTON, L. S. *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge University Press. n. 978, 2010.
- BRUIJNZEEL, L. A.; MULLIGAN, M.; SCATENA, F. N. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes*, n. 25, p. 465–498, 2011.
- BUBB, P.; MAY I.; MILES L.; SAYER J. *Cloud Forest agenda*. Cambridge: UNEP-WCMC; 2004.
- BURGESS, S. S. O.; DAWSON, T. E. The contribution of fog to the water relations of *Sequoia Sempervirens* (D. Don): foliar uptake and prevention of dehydration. *Plant, Cell and Environment*, n. 27, p. 1023–1034, 2004.
- CANNON, W. A. On the relation of redwoods and fog to the general precipitation in the redwood belt of California. *Torreya*, n.1, p.137-139, 1901.
- CAO, G.; GIAMBELLUCA, T. W.; STEVENS, D. E.; SCHROEDER, T. A. Inversion Variability in the Hawaiian Trade Wind Regime. *Journal of Climate*, n. 20(7), p. 1145-1160, 2007 doi:10.1175/JCLI4033.1
- CÁRDENAS, M. F.; TOBÓN, C.; BUYTAERT, W. Contribution of occult precipitation to the water balance of páramo ecosystems in the Colombian Andes. *Hydrological Processes*, n. 31, p. 440-449, 2017.
- CAVALIER, J.; JARAMILLO, M.; SOLIS, D; DE LEÓN, D. Water balance and nutrient inputs in bulk precipitation in tropical montane cloud forest in Panama. *Journal of Hydrology*, n.193, p. 83–96, 1997.
- CHUNG, M.; DUFOUR, A.; PLUCHE, R.; THOMPSON, S. How much does dry-season fog matter? Quantifying fog contributions to water balance in a coastal California watershed. *Hydrological Processes*, n. 31, p. 3948–3961, 2017.
- CLARK, K. L.; NADKARNI, N. M.; SCHAEFER, D.; GHOLZ, H. L. Atmospheric Deposition and Net Retention of Ions by the Canopy in a Tropical Montane Forest, Monteverde, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, n. 01, v. 14, p. 27-45, 1998.
- COOPER, W. S. Redwoods, rainfall and fog. *Plant World* n. 20 p.179-189, 1911.
- EKERN, P. C. Direct Interception of Cloud Water on Lanaihale, Hawaii. *Soil and water management and conservation*, p. 420-421, 1964.
- ELIAS, V.; TESAR, M.; BUCHETE, J. Occult precipitation: sampling, chemical analysis and process modelling in the Sumava Mts. (Czech Republic) and in the Taunus Mts. (Germany). *Journal of Hydrology*, n.166, p.409-420, 1995.
- ELLER, C. B.; MEIRELES, L. D.; STICH, S. BURGESS, S. S.; OLIVEIRA, R. S. How Climate Shapes the Functioning of

Tropical Montane Cloud Forests. Current Forestry Reports, 2020.

EUGSTER, W.; BURKARD, R.; HOLWERDA, F.; BURGESS, S. S.; OLIVEIRA, R. S. Characteristics of fog and fogwater fluxes in a Puerto Rican elfin cloud forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, n. 139, p. 288–306, 2006.

FIGUEIRA, C.; SEQUEIRA, M. M.; VASCONCELOS, R.; PRADA, S. Cloud water interception in the temperate laurel forest of Madeira Island. *Hydrological Sciences Journal*, n. 58, p. 151-161, 2013.

FISCHER, D. T.; STILL, C. J.; EBERT, C. M.; BAGUSKAS, S. A.; PARK WILLIAMS, A. Fog drip maintains dry season ecological function in a California coastal pine forest. *Ecosphere*, n. 7 (6), p. 01-21, 2016.

FRUMAU, K F. A.; BURKARD, B.; SCHMID, S.; BRUIJNZEEL, L. A.; TOBÓN, C.; CALVO-ALVARADO, J. C. Fog gage performance under conditions of fog and wind-driven rain. In: BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F. N.; HAMILTON, L. S. (Ed.). *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge University Press, 2010.

GARCIA-SANTOS, G.; BRUIJNZEEL, L. A. Rainfall, fog and throughfall dynamics in a subtropical ridge top cloud forest, National Park of Garajonay (La Gomera, Canary Islands, Spain). *Hydrological Processes*, n. 25, p. 411–417, 2011.

GEO MOUNTAINS. Policy Brief: mountain observations: monitoring, data, and information for science, policy, and society, 2022.

GIAMBELLUCA, T. W.; DELAY, J. K.; NULLET, M. A. Interpreting canopy water balance and fog screen observations: separating cloud water from wind-blown rainfall at two contrasting forest sites in Hawai'i. In: BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F. N.; HAMILTON, L. S. (Ed.). *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge University Press, 2010.

GOLDSMITH, G. R.; MATZKE, N. J.; DAWSON, T. E. The incidence and implications of clouds for cloud forest plant water relations. *Ecology Letters*, n. 16, p. 307–314, 2013.

HAFKENSCHIED, R.; BRUIJNZEEL, S.; RICHARD, A. M. Estimates of fog interception by montane rain forest in the Blue Mountains of Jamaica. *Conference on Fog and Fog Collection*. Vancouver, Canada, p. 33-36, 1998.

HAMILTON, L. S. Mountain cloud forest research and conservation: a synopsis. *Mountain Research and Development*, n. 15, p. 259-266, 1995.

HAR, R. D. Fog drip in the Bull Run municipal watershed, Oregon. *Water Resources Bulletin*, v. 18, n.5, p. 785-789, 1982.

HERWITZ, S. R.; SLYE, R. E. Three-dimensional modeling of canopy tree interception of wind-driven rainfall. *Journal of Hydrology*, n.168, p. 205-226, 1995.

HOLDER, C. D. Rainfall interception and fog precipitation in a tropical montane cloud forest of Guatemala. *Forest Ecology and Management*, n.190, p. 373–384, 2003.

HOLWERDA, F.; BURKARD, R.; EUGSTER, W.; SCATENA, F. N.; MEESTERS, A. G. C. A.; BRUIJNZEEL, L. A. Estimating fog deposition at a Puerto Rican elfin cloud forest site: comparison of the water budget and eddy covariance methods. *Hydrological Processes*, n. 20, p. 2669–2692, 2006.

HOLWERDA, F.; BRUIJNZEEL, L. A.; MUÑOZ-VILLERS, L. E.; EQUIHUA, M.; ASBJORNSEN, H. Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests, central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology*, n. 384, p. 84–96, 2010.

- INGRAHAM, N. L.; MATTHEWS, R. A. The importance of fog-drip water to vegetation: Point Reyes Peninsula California. *Journal of Hydrology*, n.164, p. 269–285, 1995.
- JARVIS, A.; MULLIGAN, M. The climate of cloud forests. *Hydrological Processes*, n. 25, p.327–343, 2011.
- JUVIK, J. O.; DELAY, J. K.; KINNEY, K. M.; HANSEN, E. W. A 50th anniversary reassessment of the seminal ‘Lana’i fog drip study’ in Hawai’i. *Hydrological Processes*, n. 25, p. 402–410, 2011.
- JUVIK, J. O.; NULLET, D. 1. Relationships between rainfall, cloud-water interception, and canopy throughfall in hawaiian montane forest. In: HAMILTON, L. S. (Ed.). *Tropical Montane Cloud Forests*. New York: Springer-Verlag, 1995.
- KEPPELER, E. Effects of Timber Harvest on Fog Drip and Streamflow, Caspar Creek Experimental Watersheds, Mendocino County, California. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-194, 2007.
- KITAYAMA, K. Biophysical conditions of the montane cloud forests of Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. In: HAMILTON, L. S. (Ed.). *Tropical Montane Cloud Forests*. New York: Springer-Verlag, 1995.
- LANGE, D. R.; SANTOS, I. Interceptação da precipitação em plantações de Pinus taeda L. na região sul do Brasil. RA'EGA, Submetido à publicação.
- LIU, W. J.; LIU, W. Y.; LI, P. J.; GAO, L.; SHEN, Y. X.; WANG, P. Y.; LI, H. M. Using stable isotopes to determine sources of fog drip in a tropical seasonal rain forest of Xishuangbanna, SW China. *Agricultural and Forest Meteorology*, n.143, p.80-91, 2007.
- MARTÍNEZ-GONZÁLES, T. M.; HOLWERDA, F. Rainfall and fog interception at the lower and upper altitudinal limits of cloud forest in Veracruz, Mexico. *Hydrological Processes*, n. 32, p. 3717- 3728, 2018. DOI: 10.1002/hyp.13299
- MCJANNET, D. L.; WALLACE, J. S.; REDDELL, P. Precipitation Interception in Australian tropical rainforests: II. Altitudinal gradient of cloud interception, stemflow, throughfall and interception. *Hydrological Processes*, n. 21, p. 1703- 1718, 2007.
- MULLIGAN, M. Modeling the tropics-wide extent and distribution of cloud forest and cloud forest loss, with implications for conservation priority. In: BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F. N.; HAMILTON, L. S. (Ed.). *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge University Press, 2010.
- MULLIGAN, M.; JARVIS, A.; GONZALEZ, J.; BRUIJNZEEL, L. A. Using ‘biosensors’ to elucidate rates and mechanisms of cloud water interception by epiphytes, leaves, and branches in a sheltered Colombian cloud forest. In: BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F. N.; HAMILTON, L. S. (Ed.). *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge University Press, 2010.
- NUÑOZ-VILLERS, L. E.; HOLWERDA, F.; GÓMEZ-CÁRDENAZ M.; EQUIHUA, M.; ASBJORNSEN, H.; BRUIJNZEEL, L. A.; TOBÓN, C. Water balances of old-growth and regenerating montane cloud forests in central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology*, n. 462–463, p. 53–66, 2012.
- OBERLANDER, G. T. Summer Fog Precipitation on the San Francisco Peninsula. *Ecology*, n.4, p. 851-852, 1956.
- PAUL, J.; CRIADO, A. R. The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know? *International Business Review*, p. 1017, 2020.
- PRADA, N. S.; SILVA, M. O. Fog precipitation on the Island of Madeira (Portugal). *Environmental Geology*, n. 41, p. 384-389, 2001.

- RITTER, A.; REGALADO, C.; ASCHAN, G. Fog water collection in a subtropical elfin laurel forest of the Garajonay National Park (Canary Islands): a combined approach using artificial fog catchers and a physically based model. *Journal of Hydrometeorology*, n.9 (5), p.920–935, 2008.
- SAWASKE, S. R.; FREYBERG, D. L. Fog, fog drip, and streamflow in the Santa Cruz Mountains of the California Coast Range. *Ecohydrology*, n. 8, p. 695-713, 2015.
- SCATENA, F. N.; BRUIJNZEEL, L.A. BUBB, P. In: BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F. N.; HAMILTON, L. S. (Ed.). *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge University Press, 2010.
- SCHEER, M. B.; CURCIO, G. R.; RODERJAN, C. V. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na serra da igreja, paraná. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 35, p.1113-1126, 2011.
- SCHEER, M. B.; MOCOCHINSKI, A.Y.; RODERJAN, C. V. Estrutura arbórea da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de serras do Sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, n. 25(4), p. 735-750, 2011.
- SCHEER, M. B.; CURSIO, G. R.; RODERJAN, C. V. Carbon and Water in Upper Montane Soils and Their Influences on Vegetation in Southern Brazil. *Soil Science*, p. 01-12, 2013.
- SCHELLEKENS, J.; BRUIJNZEEL, L. A.; WICKEL, A. J.; SCATENA, F. N.; SILVER, W. L. Interception of horizontal precipitation by elfin cloud forest in the Luquillo Mountains, Easter Puerto Rico. *Conference on Fog Collection*, p. 29-32, 1998.
- SCHEMENAUER, R. S.; CERECEDA, P. The Role of Wind in Rainwater Catchment and Fog Collection. *Water*, 2009.
- SCHOOL, M. A.; GIAMBELLUCA, T. W.; GINGERICH, M. A.; NULLET, M. A.; LOOPE, L. L. Cloud water in windward and leeward mountain forests: The stable isotope signature of orographic cloud water. *Water resources research*, n. 43, p. 1-13, 2007.
- SIGMON, J. T.; GILLIAM, F. S.; PARTIN, M. E. Precipitation and throughfall chemistry for a montane hardwood forest ecosystem: potential contributions from cloud water. *Canadian Journal of Forest Research*, n. 19, p. 1240-1247, 1989.
- STADTMÜLLER, T. *Cloud forests in the humid tropics: a bibliographic review*. United Nations University (UNU), Turrialba: CATIE, 1987.
- STOCCO, L. Floresta nebulosa. Morro do Carvalho. 2023. 1 original de arte, aquarela sobre papel Fabriano 5., 29 x 40 cm.
- TAKAHASHI, M.; GIAMBELLUCA; T. W.; MUDD; R. M.; DELAY, J. K.; NULLET, M. A.; ASNER, G. P. Rainfall partitioning and cloud water interception in native forest and invaded forest in Hawai'i Volcanoes National Park. *Hydrological Processes*, n. 25, p. 448- 464, 2011. DOI: 10.1002/hyp.7797
- TEIXEIRA, G. M.; FIGUEIREDO, P. H. A.; SALEMI, L. F.; FERRAZ, S. F.; RANZINI, M.; ARCOVA, F. C.; RIZZI, N. E. Regeneration of tropical montane cloud forests increases water yield in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecohydrology*, n. 2298, p. 1-11, 2021.
- ZHAN, L.; CHEN, J.; ZHANG, C.; WANG, T.; XIN, P.; LI, L. Fog interception maintains a major waterfall landscape in southwest China revealed by isotopic signatures. *Water Resources Research*, n. 37, p. 2-34, 2020.