

Avaliação integrada da eficiência de sistemas agroflorestais em paisagens montanhosas do Peru e possíveis aplicações no cenário brasileiro

Emmanuel Coz Alarcón, UFMG, emmanuelcozalarcon@gmail.com
Lucimar de Carvalho Medeiros, UFMG, lucimedeiros@ufmg.br
José Gabriel Vargas González, UFMG, vargasgioseg@gmail.com
Caio Sérgio Bento de Moura Rodrigues, UFMG, caiomouraaca@gmail.com
Adriana Monteiro da Costa, UFMG, drimonteiroc@gmail.com

Resumo: A implementação de Sistemas Agroflorestais (SAFs) constitui uma alternativa promissora para a recuperação de áreas degradadas, sobretudo em áreas montanhosas, onde o risco de erosão, a irregularidade de luminosidade e o escoamento superficial dificultam seu uso produtivo. Este trabalho analisou práticas e estratégias implementadas nos SAFs em áreas de montanha no Peru, com o objetivo de identificar elementos técnicos e ambientais que caracterizam o arranjo destes SAFs, promovendo o aproveitamento destas áreas agrícolas, para uma possível aplicação no cenário brasileiro. A metodologia envolveu revisão de literatura, sistematização de estudos de caso e análise com condições ecológicas de regiões montanhosas do Peru. Os resultados apontam que o uso de espécies nativas, o manejo em faixas, o terraceamento e os consórcios perenes aumentam a estabilidade do solo e a resiliência climática, aliados à forte participação comunitária. Conclui-se que as experiências analisadas oferecem contribuições relevantes principalmente para o contexto brasileiro, mostrando que SAFs adaptados ao relevo e altitude podem conciliar conservação, produtividade e segurança alimentar.

Palavras-chave: ODS; recuperação ambiental; sistemas agroflorestais; agricultura de montanha.

Integrated Assessment of the Efficiency of Agroforestry Systems in Mountainous Landscapes of Peru and Possible Applications to the Brazilian Scenario

Abstract: The implementation of Agroforestry Systems (AFS) constitutes a promising alternative for the recovery of degraded areas, especially in mountainous areas, where the risk of erosion, irregular sunlight, and surface runoff hinder their productive use. This work analyzed practices and strategies implemented in AFS in mountainous areas of Peru, aiming to identify technical and environmental elements that characterize the arrangement of these AFS, promoting the use of these agricultural areas for possible application in the Brazilian scenario. The methodology involved a literature review, systematization of case studies, and analysis of the ecological conditions of mountainous regions of Peru. The results indicate that the use of native species, strip cropping, terracing, and perennial consortia increase soil stability and climate resilience, coupled with strong community participation. It is concluded that the experiences analyzed offer relevant contributions, mainly to the Brazilian context, showing that AFS adapted to the relief and altitude can reconcile conservation, productivity, and food security.

Keywords: SDGs, environmental restoration, agroforestry systems, mountain agriculture.

1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Ao longo de seu processo evolutivo, o ser humano desenvolveu diferentes formas de apropriação, utilização e transformação dos recursos naturais disponíveis no planeta. Esse processo teve como ponto de partida a compreensão das características, formas e funções dos elementos presentes no meio físico, bem como das interações estabelecidas entre os sistemas naturais e os demais componentes da paisagem. Nesse contexto, a relação entre sociedade e natureza constitui um processo dinâmico, marcado pela constante transformação do espaço geográfico. Para Santos (2006), a evolução da relação entre sociedade e natureza ocorreu, inicialmente, por meio da transformação histórica do espaço geográfico, passando do meio natural para o meio técnico, tornando o homem não apenas um agente modificador da paisagem, todavia, tornou-se capaz de dominar técnicas de produção, com sistemas cada vez mais complexos e integrados, entre elas, o desenvolvimento da agricultura tornou-se uma das principais atividades que permearam o desenvolvimento das sociedades, através do conhecimento da produção e de suprimento de alimentos.

Ab'Sáber (2003) afirma que, entre os diversos componentes de cada paisagem, a altitude e o relevo são uns dos principais responsáveis pela formação de domínios morfoclimáticos, com condições ambientais únicas e específicas de temperatura, umidade e insolação. Nesse sentido, estes domínios interferem em escala local, regional e zonal, condicionando a disponibilidade de recursos e os sistemas agrícolas em terrenos mais declivosos.

Na América do Sul, diversos sistemas montanhosos destacam-se por exercerem um papel determinante na heterogeneidade das paisagens sul-americanas, sendo formados em diferentes eras geológicas, com litologia variada e resultante de dinâmicas tectônicas diversas. Entre elas, a Cordilheira dos Andes, cadeia montanhosa mais longa do planeta, com extensão de 8 mil quilômetros (Oncken, 2006, Bishop. M.P. et al., 2012), é marcada por encostas íngremes, vales profundos, altiplanos, áreas desérticas e fortes contrastes estruturais. Ela, por sua vez, reorganiza a circulação atmosférica e condiciona padrões de precipitação, exercendo forte influência na formação de ecossistemas heterogêneos. Por outro lado, a Cordilheira do Espinhaço e o Quadrilátero Ferrífero, somadas às cadeias de montanhas e serras das regiões Sudeste e Sul do Brasil, destacam-se pela complexidade de feições geomorfológicas de grande relevância ambiental (Ab'Sáber, 2003; Ross, 2008; Dorri, 1969). Entretanto, estes complexos montanhosos compartilham elementos centrais: dissecação intensa do relevo, presença de

encostas íngremes, diversidade em solos e ambientes naturalmente vulneráveis a processos erosivos e instabilidade das vertentes.

Nestas regiões montanhosas, as limitações advindas da condição do relevo e da altitude interferem diretamente no uso agrícola das terras, potencializando o escoamento da água e podendo acelerar processos erosivos associado à instabilidade de e declividade das encostas, especialmente em áreas com práticas de manejo inadequadas às condições do terreno, sendo fundamental a adoção de práticas conservacionistas para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas destas áreas declivosas (EMBRAPA, 2011; FAO, 2015; Troeh et al., 2004).

Dessa forma, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) emergem como alternativa relevante, pois a sua eficácia depende significativamente de uma leitura geomorfológica da paisagem. Os SAFs, ao estarem ancorados na integração de árvores com cultivos agrícolas e animais, simulando o funcionamento e a heterogeneidade de espécies de um ecossistema natural, podem reduzir a erosão, favorecer a infiltração de água, estabilizar encostas e contribuir para resiliência ambiental destas áreas, desde que implementados com base nas condições do terreno, orientação das vertentes, tipo e profundidade efetiva do solo, permitindo assim, reduzir a ocorrência de movimentos de massa (IPCC, 2021; Nair, P. K. R, 2019).

Experiências de SAFs implantados em áreas montanhosas nas regiões andinas-amazônicas do Peru oferecem informações importantes para este trabalho. Em declividades superiores a 50%, agricultores peruanos desenvolvem há séculos técnicas adaptadas às condições do terreno, incluindo terraceamento, curvas de níveis e diversificação de espécies nativas de diversos sistemas radiculares, favorecendo a qualidade física e química do solo (Jara. R, 2016; Sifuentes.V, 2015; Lopez. K, 2014). Esses arranjos, incorporados aos SAFs contemporâneos, demonstram que ambientes montanhosos podem sustentar sistemas produtivos eficientes quando o manejo encontra-se alinhado às limitações e potencialidade natural, determinado pelo relevo destes sistemas agroflorestais (Hidalgo. P, 2011; Zavala et al., 2018; Ehrenbergerová. L et al., 2015; Eckhardt. K et al., 2025; Enríquez. L, 2018).

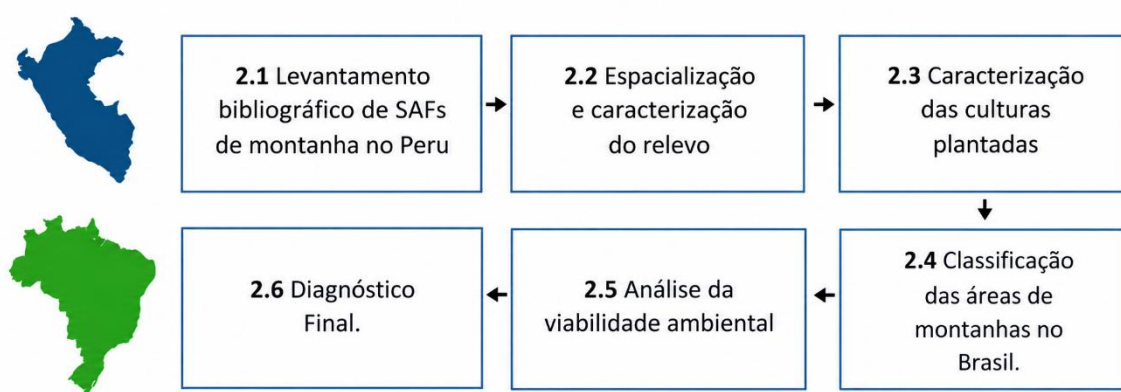
Com isso, este trabalho tem como objetivo principal resgatar o conhecimento acumulado por estas experiências nestas regiões, de modo que seja possível analisar a viabilidade dessas técnicas, para sua adaptação e aplicação em áreas montanhosas do Brasil, uma vez que, o modelo de agricultura a grande escala implantada no país, é responsável pela degradação das terras, agravados pela mecanização e o manejo inadequado do solo. Contudo, os SAFs se tornam estratégias de gestão promissora, na medida que estas áreas podem se tornar ambientalmente, socialmente e economicamente produtivas e sustentáveis,

considerando o relevo não como fator limitante, mas sim como fator potencial para a diversificação das atividades produtivas, sem comprometer a prestação de serviços ecossistêmicos destes ambientes.

2 - METODOLOGIA

A metodologia fundamentou-se em 2 blocos, divididos em 6 etapas, conforme o **Figura 1**.

Figura 1. Fluxograma da metodologia.



Fonte: Elaboração pelo autor, 2026.

2.1 - Levantamento bibliográfico dos SAFs no Peru

Foi realizado um levantamento bibliográfico sistemático acerca dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) implantados em áreas montanhosas do Peru. Para isso, utilizaram-se palavras-chave em língua inglesa e espanhola em bases e buscadores científicos como SciElo e Consensus, dentre elas: “agroforestry systems”, “sistemas agroforestales”, “mountain agriculture”, “Perú” e “declividad”. O objetivo desta etapa foi reunir estudos relacionados à agricultura em relevo montanhoso, às práticas agroflorestais e às dinâmicas ambientais associadas às áreas de declividade.

2.2 - Espacialização e caracterização do relevo

Após a identificação dos Sistemas Agroflorestais (SAFs), realizou-se a espacialização dessas áreas por meio de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Devido à ausência de coordenadas geográficas precisas dos sistemas analisados, optou-se por estabelecer pontos representativos que coincidissem com as ecorregiões correspondentes às áreas de estudo, com o objetivo de permitir a espacialização dos dados de forma mais clara

e interpretável, para analisar a sua relação na paisagem. A partir dessa abordagem, buscou-se compreender a dinâmica ambiental das áreas onde os SAFs estão implementados, considerando aspectos relacionados às características do meio físico.

2.3 - Caracterização das culturas plantadas

Com base no levantamento realizado na etapa 2.1, foram analisadas as principais culturas presentes nos SAFs, com o objetivo de compreender os diferentes incentivos que orientam a implantação desses sistemas, os quais podem estar relacionados tanto à produção agrícola quanto à recuperação e regeneração da vegetação nativa, além de outros interesses socioeconômicos e ambientais associados ao uso sustentável da terra e à dinâmica da paisagem.

2.4 - Classificação das Áreas de Montanha no Brasil

Conforme a nova classificação do relevo brasileiro elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2026), as montanhas brasileiras correspondem a formas de relevo com desnível topográfico superior a 300 metros em relação ao seu entorno, caracterizadas por topos aguçados e encostas íngremes. Nesse contexto, a partir do mapeamento geomorfológico do IBGE (2025) na escala de 1:250.000, foram selecionadas estritamente as unidades classificadas como serras, por apresentarem maior compatibilidade com os objetivos desta pesquisa e com os critérios morfoestruturais nos SAFs em montanhas.

2.5 - Análise da Viabilidade Ambiental

Após a revisão, foram analisados os dados obtidos a partir das experiências peruanas, com o objetivo de avaliar a viabilidade da adoção dessas práticas no contexto da agricultura de montanha no Brasil. Essa etapa buscou estabelecer parâmetros comparativos que permitissem compreender as condições de aplicabilidade dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) em diferentes realidades socioambientais.

2.6 - Determinação de possíveis áreas de implementação

Finalmente, analisou-se quais locais possuem potencial nas áreas de montanha do Brasil possuem aptidão para implementação das práticas adotadas nos Sistemas Agroflorestais (SAFs) do Peru, a partir da aplicação de critérios ambientais estabelecidos, como declividade, suscetibilidade à degradação. Nessa etapa, foram analisadas as

potencialidades, limitações e implicações da adoção dos SAFs, considerando o conjunto de variáveis físicas e socioambientais, de modo a subsidiar a compreensão da viabilidade dessas práticas no contexto analisado.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisados, ao todo, 21 sistemas agroflorestais (SAFs), distribuídos em uma faixa altitudinal que varia de 600 a 3.500 metros. A delimitação dessa faixa altimétrica considerou a necessidade de adequação comparativa ao contexto brasileiro, uma vez que a adoção de SAFs em altitudes superiores dificultaria a análise de sua viabilidade, em razão das diferenças entre os pisos ecológicos dos dois países.

A **Tabela 1** sintetiza as principais informações levantadas nas regiões peruanas onde esses SAFs de montanha estão inseridos (equivalentes às unidades federativas no Brasil), além de apresentar as principais culturas plantadas, arranjos agroflorestais adotados e as práticas conservacionistas identificadas.

Tabela 1. Caracterização dos SAF de montanha do Peru, com base na literatura analisada.

Região	Altitude (m)	Principais culturas	Principais arranjos e práticas conservacionistas	Autores
Huánuco	600- 1800	• Café (<i>Coffea spp.</i>) • Cacau (<i>Theobroma cacao</i>) • Guaba (<i>Inga spp.</i>) • Árvores nativas e secundárias	• Café + sombreamento • Café + Inga spp. • Café + cacau + árvores nativas + vegetação secundária	(Hidalgo .P, 2011)
		• Cacau (<i>Theobroma cacao</i>) • Café (<i>Coffea spp.</i>) • Árvores de sombra diversas	• Café + sombreamento • Cacau + árvores maiores de maior sombra	(Zavala <i>et al.</i> , 2018)
		• Banana (<i>Musa spp.</i>) • Milho (<i>Zea mays</i>) • Mandioca (<i>Manibot esculenta</i>) • Frutíferas tropicais	• Café + banana + cítricos e outras frutíferas • Café + Inga spp. + árvores nativas • Milho + mandioca + banana + árvores dispersas	(Sifuentes . V, 2015)
		• Café (<i>Coffea arabica</i>) • Banana (<i>Musa spp.</i>) • Guaba (<i>Inga spp.</i>) • Árvores florestais nativas diversas	• café + ingá + árvores dispersas • café + banana • café + banana + espécies arbóreas nativas	(Gonzale s, T., 2018)

		• Café (<i>Coffea spp.</i>) • Cacau (<i>Theobroma cacao</i>) • Banana (<i>Musa spp.</i>) • Milho (<i>Zea mays</i>) • Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>) • Frutíferas tropicais (cítricos e espécies locais) • Árvores nativas	• Café + árvores de sombra • Café + banana + cítricos + outras frutas • Café + cacau + frutíferas + árvores nativas • Milho + mandioca + banana + árvores dispersas	(Jara.R, 2016)
		• Cacau (<i>Theobroma cacao</i>) • Café (<i>Coffea arabica</i>) • Plátano (<i>Musa spp.</i>) • Milho (<i>Zea mays</i>)	• Café + espécies florestais de sombra • Café + vegetação arbustiva secundária • Café + árvores nativas dispersas • Café + cobertura orgânica/serrapilheira permanente	(Osorio, 2015)
		• Cacau (<i>Theobroma cacao L.</i>) • Banana (<i>Musa spp.</i>) • Guaba (<i>Inga spp.</i>)	• Sistema multiestratificado. • Consórcio cacau + sombra permanente	(Herrera. J, 2010)
Puno	3475	• Café (<i>Coffea arabica</i>) • Pinheiros (<i>Pinus oocarpa / Pinus tecunumanii</i>)	• Café + Pinus	(Enriquez . L, 2018)
San Martín	710 - 1250	• Café (<i>Coffea arabica</i>) • Guaba (<i>Inga spp.</i>) • Cedro (<i>Cedrela odorata</i>) • Bolaina (<i>Guaesuma crinita</i>)	• Café + Inga spp. • Café + espécies florestais nativas • Café + banana	(Ismينو. M, 2006; LÓPEZ. K, 2014)
Pasco	1540-1660	• Café (<i>Coffea arabica</i>) • Banana (<i>Musa</i>) • Guaba (<i>Inga spp.</i>) • Mulungu (<i>Erythrina spp.</i>)	• Café + Inga spp. • Café + Erythrina spp.	(Ehrenberger et al., 2015)
Cusco	1300 - 1950	• Café (<i>Coffea arabica</i>) • Nogueira andin (<i>Juglans neotropica</i>) • Abacate (<i>Persea americana</i>) • Laranja (<i>Citrus sinensis</i>) • Manga (<i>Mangifera indica</i>)	• Café + espécies arbóreas nativas • Café + mistura de árvores nativas e introduzidas	(Márquez et al., 2020)
Junín	600- 2500	• Café (<i>Coffea arabica</i>) • Ingá (<i>Inga spp.</i>) • Banana (<i>Musa</i>) • Abacate (<i>Persea americana</i>)	• Café + banana + árvores de sombra • Cacau + frutíferas + leguminosas • Café + espécies madeiras.	(ECKHARDT . K et al., 2026)

		• Cedro (<i>Cedrela angustifolia</i>) • Eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>)	• Intercalação com fragmentos florestais • SAFs disperso entre linhas de árvores	
Amazonas	1700	• Café (<i>Coffea spp.</i>) • Banana (<i>Musa</i>) • Cítricos (<i>Citrus spp.</i>) • Abacate (<i>Persea americana</i>) • Angico-branco (<i>Schizolobium spp.</i>)	• Café + banana (<i>Musa spp.</i>) • Café + árvores nativas de sombra • Café + frutíferas tropicais • Café + vegetação secundária	(ODAR, 2018)

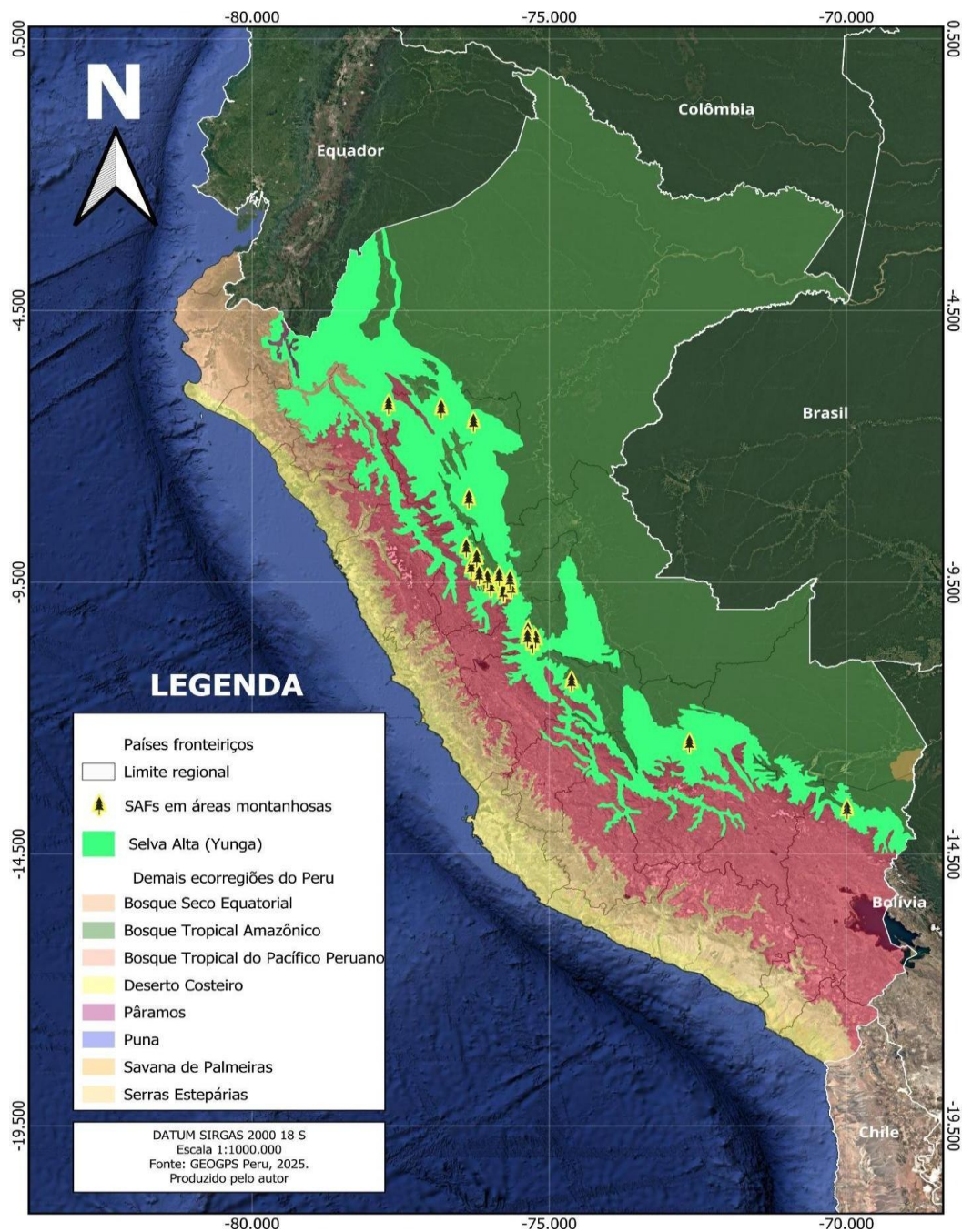
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados indicaram que a maior parte dos sistemas agroflorestais (SAFs) identificados nas áreas de montanha do Peru está localizada nas regiões naturais de Yunga Fluvial e Selva Alta (Rupa Rupa), conforme a classificação de Javier Pulgar Vidal (1941). Essa classificação considera aspectos como altitude, clima, relevo, flora, fauna e características culturais, permitindo compreender a diversidade dos ambientes naturais do território peruano.

A Yunga Fluvial e a Selva Alta estão associadas principalmente às vertentes orientais dos Andes, caracterizadas por relevo acidentado, elevada umidade, temperaturas relativamente altas e presença de vales e cursos d'água. Essas condições favorecem uma agricultura diversificada, na qual os SAFs podem integrar espécies agrícolas e arbóreas adaptadas aos diferentes ambientes. Essas condições na paisagem influenciam diretamente a temperatura, a disponibilidade de água e a distribuição das espécies, contribuindo para a diversidade dos sistemas de produção encontrados nessas áreas.

A localização dos SAFs também está relacionada à posição dos Andes como um importante divisor de águas. A vertente oriental direciona suas águas para a Bacia Amazônica, estabelecendo uma forte conexão entre os ambientes andinos e amazônicos (**Mapa 1**).

Mapa 1. Localização da Ecorregião Selva Alta, com maior concentração de SAFs de montanha.



Fonte: Elaboração pelo autor, 2026.

Nesse contexto, os SAFs de montanha representam uma estratégia de uso da terra adaptada às características ambientais locais. A combinação de árvores e cultivos agrícolas configura-se uma alternativa sustentável para a diversificação da produção, a proteção do solo e a conservação da umidade, aspectos particularmente importantes em terrenos com elevada declividade e sujeitos à erosão. Além disso, esses sistemas estão associados aos conhecimentos e práticas desenvolvidos pelas comunidades rurais ao longo do tempo, que selecionam espécies e formas de manejo de acordo com as condições climáticas,

disponibilidade hídrica e estratégias locais de manejo da terra. A análise dessas regiões permite compreender melhor a distribuição dos sistemas agroflorestais e sua importância nos territórios de montanha do Peru.

Estas ecorregiões caracterizam-se por atuarem como uma faixa de variações altitudinais entre os Andes e a planície amazônica (**Figura 2**), entre 600 e 3.500 metros, apresentando elevada umidade devido à atuação de massas de ar provenientes da Amazônia e ao efeito orográfico imposto pelos sistemas de montanhas característico da região andino, favorecendo a formação de florestas pluviais entre montanhas altamente biodiversas.

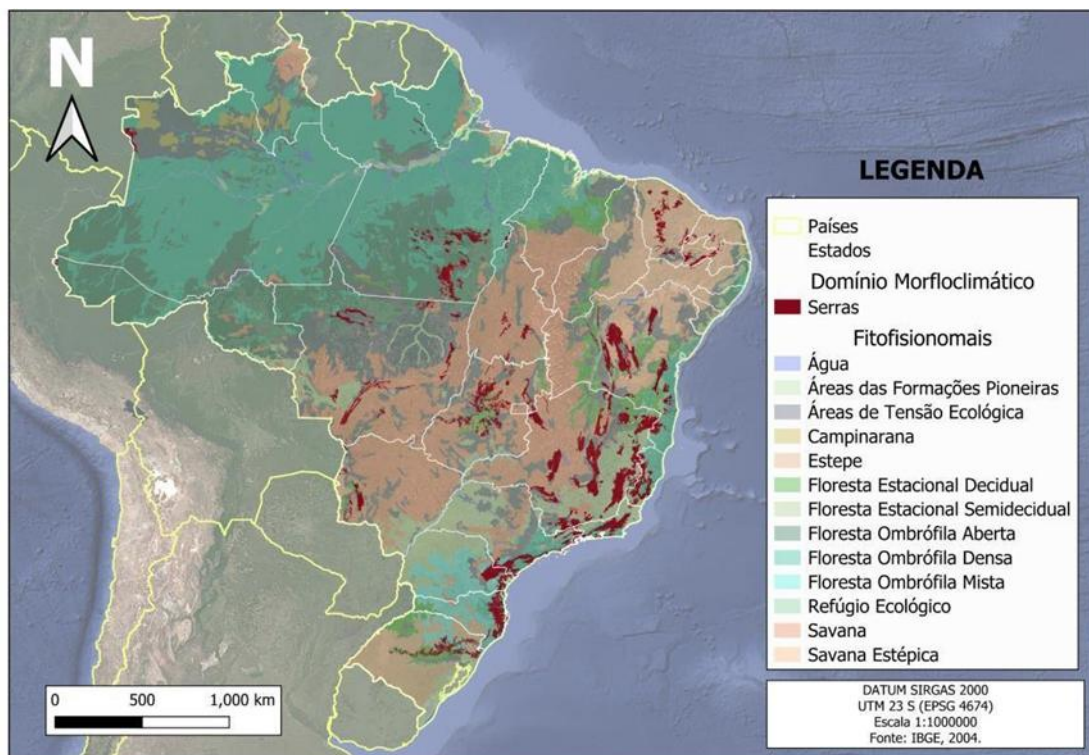
Figura 2. Caracterização das paisagens associadas às áreas de Yunga fluvial e Selva Alta.



Fonte: A) Parque Nacional Cerro Azul (IUCN,2022. B) SAF entre linhas em Cajamarca- Peru (Agraria.pe, 2021) C) SAF de produção cafeeira (Científica del Sur, 2019; D) SAF de produção de cacau (Agraria.pe, 2025).

Considerando que, no cenário brasileiro as montanhas são definidas como formas de relevo que apresentam desnível topográfico superior a 300 metros em relação ao seu entorno, em áreas de topos mais aguçados e encostas íngremes, observou-se que, as principais sistemas serranos do país, concentram-se predominantemente nas regiões Sul e Sudeste (**Mapa 2**), onde se destacam importantes sistemas serranos, como a Serra do Mar, a Serra da Mantiqueira, Serra Geral, Serra Gaúcha, enquanto no nordeste destaca-se a Serra da Borborema (IBGE, 2026).

Mapa 2. Localização das áreas serranas do Brasil em relação às formações fitofisionômicas.



Fonte: Elaboração pelo autor, 2026.

Esses ambientes apresentam forte heterogeneidade ambiental, marcada por variações altitudinais expressivas, declividades acentuadas e elevada diversidade de solos e microclimas. Essa complexidade topográfica influencia diretamente a distribuição das fitofisionomias, que variam desde formações florestais densas da Mata Atlântica em altitudes mais baixas até campos de altitude, matas nebulares e formações rupestres em áreas mais elevadas.

Os resultados da pesquisa demonstram que, diferente do cenário peruano, áreas de agricultura de montanha no Brasil com potencial de implantação de SAF, tendem a apresentar maior vulnerabilidade à erosão devido à intensa ação do intemperismo, tornando estas áreas mais propícias à degradação. Outro fator relevante é que esses sistemas serranos possuem potencial de influência em escala regional, configurando condições ambientais favoráveis à implantação de SAFs em recortes territoriais mais restritos. Diferentemente de grandes cadeias montanhosas, como os Andes, cuja atuação interfere diretamente na dinâmica climática zonal do subcontinente sul-americano (Jardim, 2018), as serras brasileiras exercem influência predominantemente regional, condicionando microclimas, regimes hídricos e variações fitofisionômicas que favorecem podem limitar a expansão de áreas com potencial para implantação de sistemas agroflorestais.

Outra diferença relevante refere-se ao uso e à cobertura da terra. Nos SAFs de montanha do Peru, observa-se predominância de áreas com baixo adensamento populacional, forte presença de comunidades locais e proximidade com áreas de conservação, fatores que favorecem a manutenção de práticas produtivas mais integradas à dinâmica ecológica da paisagem. Em contraste, no Brasil, a expansão da agricultura convencional, baseada principalmente em sistemas monoculturais, constitui um dos principais vetores de alteração ambiental em escala local e regional. A substituição da vegetação nativa por monocultivos reduz significativamente o potencial de evapotranspiração, a retenção de umidade e a regulação hídrica dos sistemas naturais, além de comprometer a biodiversidade e intensificar processos de degradação ambiental.

Em regiões montanhosas, esses impactos tornam-se ainda mais críticos, pois a combinação entre relevo acidentado e práticas agrícolas inadequadas potencializa processos erosivos, perda de nutrientes e instabilidade das encostas, uma vez que esse modelo produtivo, frequentemente associado ao uso intensivo do solo, contribui para a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Nesse contexto, os SAFs emergem não apenas como alternativa produtiva, mas como estratégia de restauração funcional da paisagem, capaz de reconciliar produção agrícola, conservação ambiental e resiliência climática, principalmente em regiões do país que possui ampla extensão de áreas com relevo ondulado e montanhoso, como a Zona da Mata mineira, o Espírito Santo, Cordilheira do Espinhaço (Minas Gerais e Bahia), região serrana do Rio de Janeiro e regiões de transição entre Amazônia e Cerrado, além de áreas circundantes do Matopiba, cercada por chapadões do planalto brasileiro, que podem apresentar condições ambientais favoráveis aos SAFs.

Entre as principais contribuições, já evidenciadas em SAFs em relevos planos e suavemente ondulados do Brasil, está relacionada ao armazenamento e estoque de carbono no solo, fator importante de mitigação contra as mudanças climática, pois promovem a prestação de serviços ecossistêmicos, podendo concentrar entre 57% e 99% do carbono total do sistema, dependendo do nível de sombreamento e diversidade de espécies arbóreas (Ehrenbergerová. L et al., 2015). Esse aspecto é fundamental para o contexto brasileiro, especialmente em áreas de relevo ondulado e escarpado, uma vez que os SAFs reduzem a erosão hídrica e a perda de matéria orgânica, mantendo a função ecológica das terras.

Paralelamente, a experiência andina e amazônica demonstra que sistemas multiestratificados, compostos por culturas agrícolas perenes como café (*Coffea arabica*) e cacau (*Theobroma cacao*), associados a espécies arbóreas nativas e exóticas de sombra, como

Inga spp., *Erythrina spp.*, *Eucalyptus spp.* e outras espécies florestais secundárias, promovem um microclima mais estável, pois reduzem significativamente a exposição do solo à radiação direta.

A manutenção de cobertura vegetal permanente, aliada à presença de serrapilheira e sistemas radiculares diversificados, contribui diretamente para a estabilidade estrutural do solo e para a redução de perdas por escoamento superficial. Esses arranjos, por sua vez, promovem a conservação da umidade, a ciclagem de nutrientes e o aumento da matéria orgânica no solo, já que a cooperação de espécies reduz a competição de nutrientes, fortalecendo o sistema edafológico destas áreas de encostas (Ehrenbergerová. L et al., 2015; Herrera. J, 2010; Zavala et al., 2018).

Do ponto de vista ecológico e de restauração de paisagens, os SAFs em áreas de montanhas do Brasil, possuem potencial de redesenhar as paisagens fragmentadas, unindo remanescentes florestais, especialmente em regiões altamente fragmentadas como a Mata Atlântica (Comerford et al., 2018; Eckhardt. K et al., 2025, 2025).

A integração entre espécies agrícolas, frutíferas e florestais, conforme observado nos sistemas peruanos analisados, reforça a importância da diversificação funcional como estratégia de estabilidade ecológica e econômica. Consórcios como café + banana + espécies de sombra ou cacau + frutíferas + árvores nativas demonstram que a eficácia do sistema está diretamente relacionada ao manejo das comunidades, ao aumento da resiliência frente a variações climáticas e ao incremento do estoque de carbono (Herrera. J 2010; Odar. B, 2018; López. K, 2014).

Portanto, conclui-se que a aplicação dos SAFs no contexto brasileiro, especialmente em áreas de relevo acidentado e regiões de altitude, embora desafiadora, é altamente promissora tanto do ponto de vista ambiental quanto produtivo. Esses sistemas oferecem uma alternativa sustentável à agricultura convencional, promovendo conservação do solo, mitigação de emissões de carbono, estabilidade microclimática e diversificação da produção agrícola. A adaptação das experiências andinas e amazônicas ao Brasil deve considerar as especificidades ecológicas locais, mas os princípios estruturais dos SAFs de diversidade, estratificação vertical, sombreamento e integração entre espécies, são aplicáveis para o desenvolvimento rural sustentável em áreas de montanha no Brasil.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos sistemas agroflorestais de montanha do Peru, especialmente em gradientes andino amazônicos com forte variação altitudinal, oferece um conjunto relevante

de aprendizados que podem ser diretamente incorporados aos SAFs de montanha no Brasil. Esses sistemas demonstram que a elevada diversidade de espécies, a estratificação vertical e a presença de sombreamento arbóreo permanente são elementos centrais para a estabilidade ecológica e para o aumento do estoque de carbono em paisagens de relevo ondulado e montanhoso. A experiência peruana evidencia ainda que a integração de culturas perenes como café e cacau com espécies florestais nativas e leguminosas favorece a ciclagem de nutrientes, a manutenção da fertilidade do solo e a redução da erosão em áreas de relevo íngreme.

Ressalta-se a importância de se pensar os SAFs não como sistemas estáticos, mas como paisagens produtivas em sucessão ecológica, onde a regeneração natural e a baixa dependência de insumos externos são elementos estratégicos. Técnicas como uso de espécies sombreadoras multifuncionais como *Inga spp.*, manutenção de serrapilheira e consórcios diversificados são particularmente relevantes e aplicáveis ao contexto brasileiro.

Do ponto de vista da governança ambiental, essas práticas estão alinhadas ao Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), à Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009), ao Plano ABC+ e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles relacionados à ação climática, uso sustentável da terra e conservação da biodiversidade. Nesse sentido, a adoção de SAFs pode representar uma alternativa concreta para a reconversão produtiva de áreas degradadas ou marginalizadas pela agricultura convencional, demonstrando que a resiliência das paisagens pode ser novamente restaurada, posicionando os SAFs como uma tecnologia chave para a agricultura sustentável em regiões montanhosas em países como o Peru e o Brasil para as próximas gerações.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro ao projeto APQ-05719-24. Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) através do Programa Pronasolos (Convênio para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, Código n.º 01.22.0081.00), do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) Montanhas (Processo: 408704/2024-1) e ao INCT Solos do Brasil (Processo: 408724/2024-2). O suporte institucional foi provido pelos Programas de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO-UFMG) e em Modelagem e Análise de Sistemas Ambientais da Universidade

Federal de Minas Gerais, e pelo Núcleo de Estudos e Pesquisa em Zoneamento Ambiental e Produtivo (NEPZAP-UFMG).

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BISHOP, M. P. et al. Global mountain geomorphology: patterns, processes and controls. *Progress in Physical Geography*, v. 36, n. 3, p. 437–464, 2012.

COMERFORD, N. B. et al. Agroforestry systems for ecological restoration in the Brazilian Atlantic Forest. *Agroforestry Systems*, v. 92, n. 1, p. 1–12, 2018.

DORR, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Washington: U.S. Geological Survey, 1969. ECKHARDT, Karen I. et al. Agroforestry and montane forest management as strategies to mitigate carbon loss and sustain ecosystem functions in the Central Andes of Peru. *Scientia Agropecuaria*, v. 17, n. 1, p. 77–89, 2025.

EHRENBERGEROVÁ, L.; CIENCIALA, E.; KUČERA, A.; GUY, L.; HABROVÁ, H. Carbon stock in agroforestry coffee plantations with different shade trees in Villa Rica, Peru. *Agroforestry Systems*, v. 90, n. 3, p. 433–445, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9865-z>. Acesso em: 07 maio 2026.

2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9865-z>. Acesso em: 07 maio 2026.

EMBRAPA. Conservação do solo e da água no Brasil. Brasília, 2011.

EMBRAPA. Sistemas agroflorestais são viáveis em relevos montanhosos. Jaguariúna, 2021.

ENRÍQUEZ, L. M. Determinación de captura de carbono en suelos de un sistema agroforestal con café (*Coffea arabica*) en el valle Esquilaya, región Puno, 2018. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia) – Universidad Peruana Unión, Lima, Perú, 2018. Disponível em: Repositorio UPEU. Acesso em: 13 maio 2026.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Soil erosion: the greatest challenge for sustainable land management. Rome: FAO, 2015.

GONZÁLES, J. F. Carbono almacenado en sistemas agroforestales de *Coffea arabica* L. Huánuco. 2018. Huánuco, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2018. Disponível em: ResearchGate. Acesso em: 12 maio 2026.

HERRERA, J. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en dos sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de diferentes edades en la Provincia de Leoncio Prado. 2010. Tese (Engenharia Agrônômica) – Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú, 2010. Disponível em: Repositorio UNAS. Acesso em: 11 maio 2026.

HIDALGO, J. L. Determinación de las reservas totales de carbono en un sistema agroforestal de la Selva Alta de Tingo María. 2011. Disponível em: ResearchGate. Acesso em: 13 maio 2026.

IPCC. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

ISMÍNIO, M. A. Estimación del carbono en la biomasa aérea del café (*Coffea arabica* var. catimor) bajo sombra de guaba (*Inga edulis*) en la provincia de Lamas, Perú. 2006. Tarapoto, Perú: Universidad Nacional de San Martín, 2006. Disponível em: Alicia Concytec. Acesso em: 15 maio 2026.

JARA, R. Sistemas agroforestales caracterizados en la cuenca media del margen derecho del río Huallaga. Tingo María, 2009. Disponível em: Repositorio UNAS. Acesso em: 15 maio 2026.

LÓPEZ, Karen. Determinación de la disponibilidad de carbono según la tipificación de los sistemas agroforestales de café en las subcuencas del Río Yuracyacu y Yanayacu. 2014. Tera (Graduação) – Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, 2014. MÁRQUEZ, F. R. et al. Relación entre las características del suelo y altitud con la calidad sensorial de café cultivado bajo sistemas agroforestales en Cusco, Perú. *Scientia Agropecuaria*, v. 11, n. 4, p. 529–536, 2020.

NAIR, P. K. R. Agroforestry systems and environments: sustainability and climate mitigation. Dordrecht: Springer, 2019.

ODAR, B. A. Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea* spp.) en el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, provincia de Luya, Amazonas.. 2018. 58 p. Tese (Engenharia) – Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Chachapoyas, Perú, 2018.

ONCKEN, O. (ed.). The Andes: active subduction orogeny. Berlin: Springer, 2006. ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Geomorfologia: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 2008.

SANTOS, Milton. A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção. 4. ed. São Paulo: Editora da USP, 2006.

SIFUENTES, Z. Valorización económica de los sistemas agroforestales caracterizados en la cuenca media del margen derecho del río Huallaga. 2009. Tese – Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, 2009.

TROEH, F. R.; HOBBS, J. A.; DONAHUE, R. L. Soil and water conservation for productivity and environmental protection. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2004.

ZAVALA, W.; MERINO, E.; PELÁEZ, P. P. Influence of three agroforestry systems of cocoa cultivation on carbon capture and storage. *Scientia Agropecuaria*, v. 9, n. 4, p. 493–501, 2018.