



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
Rod. Admar Gonzaga 1346; Itacorubi
Florianópolis - SC - CEP 88034-001 - BRASIL
Fone: +55 48 3721 5330; Fax: +55 48 3721 5335



Projeto de Pesquisa:

Mecanismos ecológicos de complementariedade entre cultivos consorciados para prover múltiplas funções agroecossistêmicas

[Área Didática Agroecológica (ADA), Faz. Ressacada/UFSC]

- Professor responsável: Ilyas Siddique (FIT/CCA/UFSC); ilyas.s@ufsc.br
Tel: (48) 3721 5475 (CCA sala FIT213); 9640 3140 (cel);
- Colaboradores permanentes: Prof. Fernando Souza Rocha (FIT/CCA),
Prof. Jucinei Comin (ENR/CCA),
Marcelo Venturi (Fazenda Ressacada/CCA)
- Estudantes atuais: Nicolas Zaslavsky de Lima, Marlon Dutra, Daniel Ramos de Araújo

Resumo

A industrialização da agricultura atual tem trazido aumentos significativos na produção de alimentos. Porém, evidências inequívocas indicam que esta forma de agricultura dependente de agroquímicos e outros insumos externos é energeticamente ineficiente e compromete diversos serviços ecossistêmicos importantes para a sociedade, incluindo a qualidade da água, mitigação de mudança climática, conservação da biodiversidade e do potencial produtivo dos solos, produção contínua de uma variedade de produtos saudáveis para atender a demanda regional etc. Estimativas globais sugerem que, na ausência de insumos externos, plantas invasoras representariam a principal causa de perdas econômicas na agricultura.

Por consequência, uma agricultura sustentável menos dependente de agroquímicos precisa urgentemente desenvolver sistemas de cultivo produtivos e ecologicamente resistentes à invasão por plantas espontâneas que simultaneamente proveem múltiplas funções ecossistêmicas. O grande número de espécies de cultivos e espontâneas inviabilizaria a solução desse problema apenas através de experimentos agrônômicos. A abordagem da ecologia de atributos funcionais vegetais tem o potencial de avançar o entendimento dos mecanismos ecofisiológicos da complementariedade entre cultivos

consorciados multifuncionais, e da invasão de plantas espontâneas, adaptáveis a qualquer agroecossistema.

Dessa maneira, a presente proposta visa investigar os mecanismos ecológicos da complementariedade entre cultivos consorciados em relação à sua capacidade produtiva e de provisão de múltiplas funções agroecossistêmicas. Vários experimentos multifatoriais de longa duração de cultivos anuais e perenes, de cobertura, de hortaliças e de sistemas agroflorestais serão conduzidos na Área Didática Agroecológica (ADA) na Fazenda Experimental da Ressacada da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis/SC. Serão avaliados os efeitos da identidade, composição, diversidade de espécies e diversidade funcional de cultivos sobre o seu desempenho, sobre a complementariedade entre nichos ecológicos de tipos funcionais de cultivos e de plantas espontâneas, e sobre múltiplas funções ecossistêmicas. Atributos funcionais vegetativos e reprodutivos serão utilizados para predizer quais tipos funcionais de cultivos precisariam ser integrados nos consórcios para torná-los mais produtivos, mais resistentes à invasão por espontâneas e mais capazes de cumprir simultaneamente múltiplas funções ecossistêmicas e socioeconômicas.

Desta maneira, o projeto visa integrar a geração e sistematização de conhecimento ecológico fundamental e aplicado. Espera-se contribuir para o desenvolvimento de consórcios agrícolas multifuncionais que ocupem os nichos ecológicos vagos, tornando-os mais eficientes no uso de recursos e mais resistentes à invasão por plantas espontâneas. Tais resultados poderão trazer diversos benefícios à atividade agrícola, especialmente no Estado de Santa Catarina e outras regiões do mundo que se baseiam na pequena propriedade com emprego de mão-de-obra familiar, por serem modos de produção particularmente compatíveis com policultivos multifuncionais.

Introdução

Problemática da agricultura atual

No século passado a agricultura global experimentou aumentos na produtividade em taxas extremamente elevadas, baseados principalmente na utilização de energia barata, agroquímicos e na mecanização da agricultura (Tilman et al. 2002; Smil 2004). Apesar disto, o número de pessoas sujeitas à fome no mundo continua aumentando e, de acordo com as últimas estimativas, supera um bilhão de pessoas (FAO 2011). Acredita-se que, para suprir a demanda de alimentos projetada em 2050, será necessário um aumento de 70 a 100% na produção agropecuária atual (FAO 2011). Ao mesmo tempo, grande parte da terra disponível para a agricultura no mundo já está atualmente utilizada (Ramankutty et al. 2008) e a utilização massiva de agroquímicos, além de ser energeticamente custosa, apresenta diversas ameaças à biodiversidade e à saúde humana (Lipsitch et al. 2002; Vitousek et al. 2009), além de ser uma das principais causas de contaminação dos recursos hídricos (Moss 2008).

A despeito desta utilização massiva de agroquímicos, estima-se que, globalmente, as perdas agrícolas superem 40% da produção em função de espécies pragas (plantas espontâneas, herbívoros e patógenos) (Pimentel 2011). Evidência recente indica que a

agricultura baseada na ampla utilização de agroquímicos é, além de prejudicial ao meio-ambiente e à saúde humana (Mortensen et al. 2012), ineficiente do ponto de vista prático e econômico (Pimentel et al. 1992; Bommarco et al. 2011; Ekstrom e Ekbom 2011). O grande desafio para a agricultura do século XXI será, portanto, compatibilizar o aumento da produtividade necessário à garantia da segurança alimentar da população global crescente e, ao mesmo tempo, garantir que este aumento se dará em bases sustentáveis (Foley et al. 2011). Perdas econômicas na agricultura devidas apenas às plantas invasoras foram estimadas em 9% da produção global atual (Oerke 2006).

Porém, na ausência de insumos externos industriais, as perdas econômicas devidas às plantas invasoras têm o potencial de alcançar até 34% da produção total, ou seja, claramente ultrapassar as perdas devidas aos herbívoros ou patógenos (Oerke 2006). Neste sentido, na construção de uma agricultura sustentável, torna-se indispensável que sejamos capazes de redesenhar nossos agroecossistemas de forma a torná-los mais resistentes à invasão de plantas espontâneas (Ekstrom e Ekbom 2011), mas também de forma a incorporar características desejáveis destas aos agroecossistemas (Navas 2012).

Policultivos – Limitações atuais

Com o fim de generalizar os mecanismos a partir de relativamente poucas combinações de cultivos, faz-se necessário pesquisar sistematicamente os mecanismos de complementariedade entre tipos funcionais de plantas. A combinação de grupos funcionais mais pesquisados envolve consórcios de leguminosas fixadoras de nitrogênio com cultivos que não têm essa capacidade (Sileshi et al. 2008; Snapp et al. 2010). Combinações experimentais de diferentes formas de vida têm gerado entendimento dos mecanismos de complementariedade (Ewel e Mazzarino 2008). Porém, a falta de replicação dentro de cada forma de vida ainda limita o potencial para generalização. Ao mesmo tempo, a complexidade inerente aos policultivos e a sua dependência do contexto agrícola são barreiras importantes para a adoção de práticas culturais que favoreçam o cultivo na competição com espontâneas (Bastiaans et al. 2008).

Uma abordagem baseada em atributos funcionais tem o potencial de simplificar esta realidade agroecológica complexa e fornecer informações concretas que possam ser utilizadas diretamente na agricultura de policultivos. Ou seja, policultivos multifuncionais terão maior chance de ampla adoção, se: (a) existir uma teoria preditiva robusta do seu desempenho; (b) estiverem adaptados ao contexto prático dos processos produtivos em campo, em propriedades de agricultores; (c) forem traduzidos para uma linguagem e contextualização relevante para os agricultores.

O presente projeto propõe contribuir para o entendimento ecológico preditivo com o fim de gerar recomendações concretas e aplicadas para as condições (b) e (c). Desta maneira, a proposta busca gerar uma ponte entre as pesquisas ecológicas fundamentais do campo da biodiversidade e funcionamento de ecossistemas, e os gradientes e critérios manejáveis por agricultores em agroecossistemas. Com este projeto pretende-se dar início a uma nova linha de pesquisa no estado de Santa Catarina, em *Ecologia Aplicada ao Funcionamento de Agroecossistemas*, buscando forte inserção regional, nacional e internacional.

Complementariedade entre nichos ecológicos

Evidências experimentais recentes apontam que a riqueza de espécies cultivadas em policultivos em Iowa/EUA resultou numa exclusão competitiva de plantas espontâneas (Picasso et al. 2008). Uma explicação possível é a ocupação prévia pelos cultivos de uma maior proporção dos nichos ecológicos disponíveis e, por consequência, uma exclusão competitiva de plantas espontâneas. Esse mesmo princípio já tem sido estudado no campo emergente de pesquisa de biodiversidade e funcionamento de ecossistemas. Ele prediz que uma das causas de maior produtividade em policultivos (comparado com monocultivos das mesmas espécies) é uma complementariedade no uso de recursos na coexistência entre nichos ecológicos, e por consequência, um uso mais completo dos recursos disponíveis. Uma meta-análise de 44 experimentos independentes que testaram os efeitos da riqueza de espécies vegetais sobre a produtividade demonstrou efeitos significativos atribuídos ao princípio de complementariedade (Cardinale et al. 2007). Porém, até agora não sabemos como esse princípio pode ser aplicado no desenho de policultivos que maximizem a absorção de recursos como nutrientes, água, luz, e que resistam à invasão por plantas espontâneas.

Além do seu potencial de aumentar a produtividade e resistir à invasão de plantas espontâneas, policultivos podem, em alguns casos, fornecer múltiplos benefícios simultâneos para a sociedade e facilitar a adaptação do agroecossistema às mudanças climáticas (Isbell et al. 2011; Lin 2011; Cardinale et al. 2012). Por exemplo, a riqueza de espécies vegetais em experimentos controlados diversificou habitats para conservação *in situ* da biodiversidade (Hole et al. 2005; Tscharrntke et al. 2011), aumentou a retenção de nutrientes (conservando recursos e mitigando contaminação de água e atmosfera (Cardinale et al. 2011), fomentou a auto-regulação de pragas e doenças (Letourneau et al. 2011), e aumentou o sequestro de carbono da atmosfera (Fornara e Tilman 2008). Apesar desses múltiplos benefícios potenciais reconhecidos, policultivos ainda estão em declínio na agricultura moderna.

Além da sua baixa compatibilidade com a mecanização, o sucesso de policultivos depende muito das combinações usadas e do contexto do seu cultivo. Policultivos apenas representarão uma opção viável a uma maior proporção de agricultores quando tivermos um conhecimento preditivo dos mecanismos que geram as sinergias entre cultivos (Lithourgidis et al. 2011). Ou seja, falta um entendimento preditivo dos mecanismos ecofisiológicos que determinam se um consórcio tem ou não o potencial para complementariedade ou facilitação e, assim, render mais que o monocultivo. Existem estudos que demonstraram os mecanismos ecofisiológicos de alguns consórcios exemplares (p. ex.: Ae et al. 1990; Li et al. 2007). Porém, apenas uma fração pequena do grande número de consórcios potenciais poderá realisticamente ser pesquisada em busca dos mecanismos ecofisiológicos responsáveis por complementariedade ou facilitação.

Atributos funcionais – a ponte entre a biodiversidade e os ecossistemas

Abordagens baseadas em atributos funcionais dos organismos têm grande potencial para generalizar o nosso entendimento como os organismos afetam e são afetados pelo ecossistema (Diaz et al. 2004; Diaz et al. 2007; Castro-Diez 2012; Garnier e Navas 2012). Embora o termo atributo seja, por vezes, empregado com diferentes sentidos (Pugnaire e Valadares 2007), aqui ele é utilizado como qualquer característica morfológica, fisiológica ou fenológica, mensurável ao nível individual, da célula ao organismo inteiro, sem referência ao ambiente ou a qualquer outro nível de organização (Violle et al. 2007).

Com o fim de entender as interações bidirecionais entre a biodiversidade e o funcionamento de ecossistemas, os atributos funcionais são divididos em duas grandes categorias conceituais: atributos de resposta (associados às respostas dos organismos aos fatores ambientais) e atributos de efeito (associados aos efeitos que os organismos podem exercer sobre funções ecossistêmicas) (ver Lavorel e Garnier 2002). Os valores de atributo, embora obtidos ao nível do indivíduo, são expressos em nível populacional, como médias dos valores individuais (Cornelissen et al. 2003). No entanto, nem todos os atributos terão o mesmo impacto nos processos ecossistêmicos. A hipótese da razão de biomassa (Grime 1998) preconiza que os atributos das espécies localmente mais abundantes são aqueles que determinam os processos ecossistêmicos instantâneos, como produtividade primária, decomposição de serapilheira, etc. Podemos, então, abordar questões relativas tanto à variabilidade intra quanto interespecífica de um dado atributo como resposta a fatores bióticos (competição, predação, etc) e abióticos (condições, recursos, etc) (Albert et al. 2010; Courbaud et al. 2012; Siefert 2012). A resposta dos indivíduos a estes filtros ambientais irá determinar o espectro de valores apresentados pelos atributos localmente (Keddy 1992; Suding et al. 2008; Cornwell e Ackerly 2009).

A partir do momento em que possuímos dados de atributos funcionais de espécies cultivadas e espontâneas, podemos combinar estas características e analisar o impacto da diversidade funcional sobre as propriedades do agroecossistema (Garnier e Navas 2012). Assim, podemos ser capazes de redesenhar nossos agroecossistemas de forma a ocupar mais plenamente os nichos vagos nos policultivos e, baseados na limitação de similaridade (Tilman 1994; Oster e Eriksson 2012) e no princípio da exclusão competitiva (Hardin 1960; Grime 1973; Violle et al. 2011; Andersen et al. 2012) diminuir a abundância e o impacto econômico de plantas espontâneas em áreas agrícolas. Outrossim, o redesenho dos agroecossistemas poderá ser otimizado para cumprir múltiplas funções sócio-ecológicas simultâneas, além de produzir alimentos. Sistemas agroflorestais oferecem oportunidades particulares para simultaneamente reforçar sinergias entre múltiplos objetivos agroecológicos (Jose & Gordon 2008). Porem, para chegar a essa aplicação prática, é urgente avançar o nosso entendimento da ecologia funcional de policultivos complementares.

Abordagem didático-investigativa multiplicadora na região

Apesar de ocupar menos de 1,5% do território nacional, Santa Catarina encontra-se entre os principais produtores nacionais de alimentos, apresentando destacada produtividade em alguns cultivos. A atividade agrícola, no Estado, caracteriza-se por ser realizada na pequena propriedade e pelo emprego de mão-de-obra familiar (Instituto CEPA/SC 1976-). Com a crescente demanda global por alimentos (FAO 2011), ainda há muito espaço para a ampliação deste negócio. Por outro lado, as práticas agrícolas atuais representam sérios riscos, não só ao meio e à biodiversidade, mas também à saúde dos agricultores. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas que contribuam para maximizar a produção de alimentos e simultaneamente mitigar os impactos negativos da agricultura.

Além do entendimento fundamental e aplicado dos mecanismos de funcionamento agroecológico, uma implementação de uma transição exitosa para uma produção agroecológica requer a formação de profissionais adaptada a essas demandas com capacidades analíticas e elaboração independente de soluções inovadoras viáveis. Os profissionais precisam ter a capacidade de integrar estreitamente a teoria e prática. No contexto da formação de agrônomos, essa demanda implica que o curso de agronomia precisa oferecer amplas oportunidades de aplicação de novos conceitos teóricos na prática e de gerar novas perguntas e novos conceitos teóricos a partir da prática vivenciada. Essa retroalimentação cíclica entre teoria e prática já oferecida como parte de disciplinas do CCA-UFSC pode ser ampliada e aprofundada através de estágios focalizados de geração e comprovação de hipóteses teórico-práticas.

Objetivos

Metas de longo prazo

Estabelecer uma infraestrutura permanente para experimentação contínua agroecológica que facilite:

1. Um processo cíclico de gerar e testar hipóteses de pesquisa;
2. A integração interdisciplinar de pesquisas entre professores de várias áreas de conhecimento;
3. A formação de uma equipe interdisciplinar de pesquisa-ensino-extensão;
4. A capacitação e o aperfeiçoamento discente em todas as fases da pesquisa agroecológica (planejamento, execução, monitoramento, interpretação, e comunicação em eventos e periódicos científicos e de ampla circulação);
5. A interação de estudantes e pesquisadores de diferentes níveis de formação e experiência (estudantes de aulas práticas de graduação, iniciação científica, TCC, mestrado, doutorado, pós-doutorado, pesquisadores);
6. Respostas a perguntas ecológicas fundamentais e aplicadas para viabilizar a produção agrícola e florestal ao longo prazo, com um mínimo de insumos

externos, sem uso de agroquímicos, mantendo ou aumentando a fertilidade do solo e fornecendo uma diversidade de outras funções agroecossistêmicas;

7. Uma produção contínua, diversificada, voltada para atender a demandas locais.

Objetivos específicos de pesquisa no curto prazo

Analisar em equipe interdisciplinar os efeitos de diferentes componentes da biodiversidade de cultivos sobre:

- a) O desempenho dos cultivos (safras, saúde, sincronização com demandas locais por produtos colhidos);
- b) A dinâmica e nichos ecológicos de plantas espontâneas,
- c) Funções ecossistêmicas do solo,

...diferenciando os efeitos:

- i. da riqueza vs. composição de espécies de cultivos,
- ii. da diversidade funcional de atributos (*functional trait diversity*), e
- iii. da aplicação de composto de resíduo orgânico proveniente de coleta seletiva sobre comunidade de plantas espontâneas.

Metodologia

Localização do projeto

Os campos da Fazenda Experimental da Ressacada são caracterizados por limitantes biofísicos e vulnerabilidades ambientais comuns em situações agrícolas e florestais reais no Brasil e no mundo (terreno plano e baixo, condições anóxicas, acidez, solo arenoso, baixa retenção físico-química de nutrientes e água, etc). Dado esse contexto, a Fazenda Experimental da Ressacada oferece excelentes oportunidades de desenvolver processos reais de análise e solução de problemas agroecológicos.

A Fazenda Experimental da Ressacada da UFSC oferece oportunidades importantes e únicas para realização dos desafios didático-investigativos apresentados. A relativa proximidade geográfica e a disponibilidade de infraestrutura acadêmica e logística permite desenvolver campos experimentais e didáticos permanentes, permitindo a incorporação na pesquisa e ensino e a sua interligação. Os planos de expansão do Campus Sul da Ilha da UFSC, adjacente à Fazenda da Ressacada, representam uma oportunidade concreta de desenvolver pesquisa-ensino-extensão interdisciplinar na Fazenda. Além disso, os campos experimentais e didáticos que a Fazenda Experimental da Ressacada representa, são caracterizados por limitantes biofísicos e vulnerabilidades

ambientais exemplares para o mundo real. Esses limitantes e vulnerabilidades são comuns em situações agrícolas e florestais reais no Brasil e no mundo, por exemplo:

- 1) O terreno é plano e baixo com um regime hídrico que potencialmente implica condições anóxicas estressantes para os cultivos;
- 2) O solo é arenoso (CIDASC 2010) e altamente permeável, o que implica em uma baixa retenção físico-química de nutrientes e água, levando a um baixo potencial de retenção de nitrato e outros contaminantes da agropecuária;
- 3) A instalação recente de canais de drenagem implica uma alta vulnerabilidade da matéria orgânica do solo, que ainda é alta (CIDASC 2010) por causa da história dominante de condições anóxicas;
- 4) Essa transição dinâmica no regime hídrico e conseqüentemente nas propriedades e processos biogeoquímicos e biofísicos implica a ausência de equilíbrio, que representa um desafio analítico-quantitativo comum nas pesquisas de campo, que pode ser melhor tratado no contexto de parcelas permanentes para permitir análises de medições repetidas, explicando a autocorrelação temporal por modelos mistos;
- 5) O contexto regional de turismo de alta importância econômica e pesqueira representa uma demanda concreta e direta para conservar a qualidade de água subterrânea e marinha.

Dado esse contexto realista, a Fazenda Experimental da Ressacada oferece excelentes oportunidades de desenvolver processos reais de análise e solução de problemas agroecológicos.

Áreas funcionais na fazenda

Com o fim de implementar e manter um processo cíclico de gerar e testar hipóteses de pesquisa de longa duração foram implantadas duas áreas adjacentes dentro da Fazenda, em conjunto chamadas “Área Didática Agroecológica (ADA)” (cf. Fig. 1):

- 1) **Área Didática Agroecológica Geradora de Hipóteses (ADAGH)**: Os objetivos principais da ADAGH são de:
 - a) Testar e adaptar material vegetal a campo e a construção gradual de um banco de germoplasma vivo adaptado às condições edafoclimáticas da Fazenda,
 - b) Gerar hipóteses específicas para serem testadas em experimentos com delineamentos experimentais robustos na ADAE.

A ADAGH foi implantada conforme projeto aprovado pelo colegiado do Depto. de Fitotecnia, **dentro do arboreto de árvores nativas** em fase inicial de estabelecimento **sob a responsabilidade do Prof. Fantini (FIT/CCA)**. A área mede aprox. 5000 m², contando com 20 linhas de árvores de 19 espécies arbóreas nativas do bioma Mata Atlântica. As mudas foram transplantadas no local em 2009, espaçadas entre si em 3m, e entre linhas em 3m. Na primeira fase será implantada uma sub-área de 700 m² na zona nornoroeste (NNO) do

arboreto. Entre as linhas e dentro das linhas de árvores foram implantados culturas anuais e perenes (Lima et al. 2012).

- 2) **Área Didática Agroecológica Experimental (ADAE)**: De forma funcionalmente integrada com a ADAGH, a ADAE tem o objetivo de prover áreas experimentais replicadas, com delineamento experimental robusto para permitir interpretações generalizáveis. Por essas oportunidades científicas os objetivos de pesquisa do presente projeto serão direcionados à ADAE. A área da ADAE mede aprox. 7500 m².

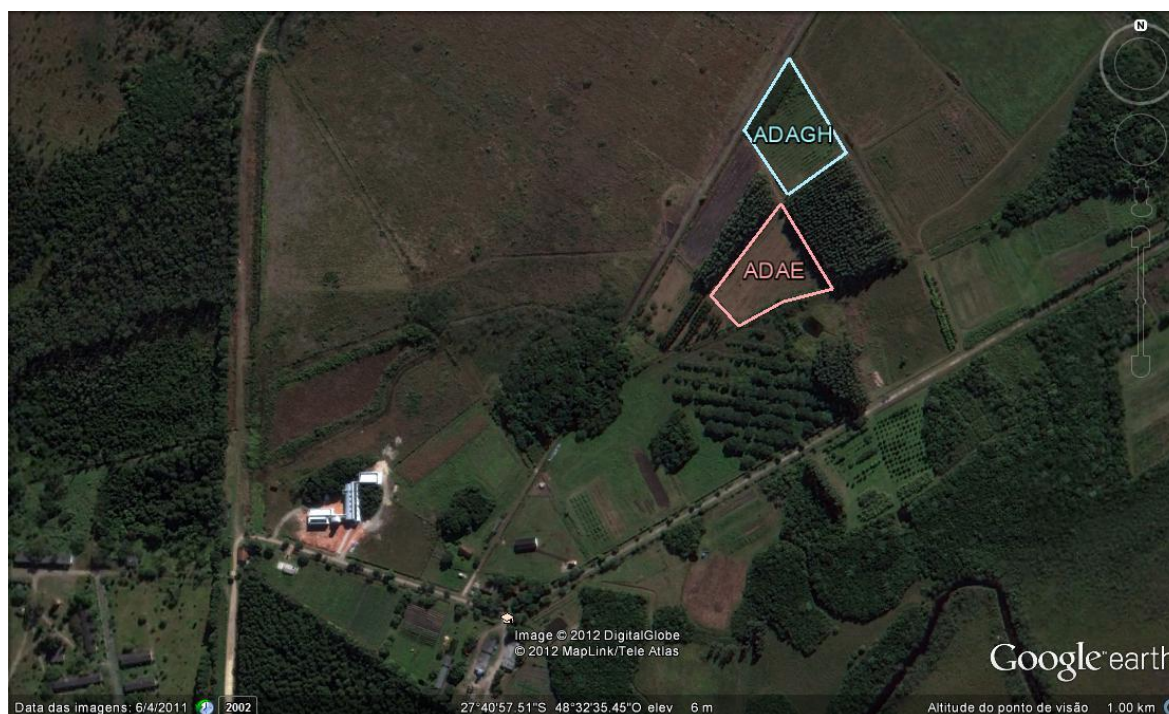


Fig. 1: Localização da **Área Didática Agroecológica Geradora de Hipóteses (ADAGH)** e da **Área Didática Agroecológica Experimental (ADAE)** na Fazenda Experimental da Ressacada (CCA/UFSC) no bairro Tapera, Florianópolis, SC (data da imagem anterior ao início do projeto: 2011; fonte: www.google.com/earth, MapLink, TeleAtlas, DigitalGlobe).

Componentes conceituais didáticos

Ao longo prazo a meta no projeto é transmitir conceitos e práticas de planejamento, implantação, monitoramento e adaptação dos sistemas anuais e agroflorestais. Com o progresso do projeto será diversificado o conteúdo de práticas de manejo e processos ecossistêmicos manejados. Dadas as condições ambientais atuais e inerentes do local, as atividades iniciais se concentrarão em questões ilustradas na Tabela 1.

Tabela 1: Exemplos de conceitos, desenhos e práticas de manejo a serem estudados no longo prazo.

Questão	Assuntos a ser estudados
Adaptação às condições locais	Efeitos de respostas a condições anóxicas, de acidez, infertilidade e limitações físicas do solo
Melhoramento de fertilidade biológica do solo	Adbos verdes, rotações, consórcios complementares e sucessão agroflorestal
Manejo de competição aérea e subterrânea	Desenhos e manejo de consórcios complementares e sucessão agroflorestal
Manejo integral da saúde do cultivo	Desenhos e manejo de consórcios complementares e sucessão agroflorestal
Viabilidade de implantação e manutenção	Contabilização da produção por mão-de-obra, por insumos, por unidade espacial implantada (análises de emergia)

Experimentos de pesquisa

Experimento 1: Cultivos anuais de inverno e verão (ADAE-Anuais) (em andamento)

Abordagem experimental:

Analisar os efeitos intra-ciclo e inter-ciclo de 2 ciclos por ano, alternando entre:

- a) Cultivos de cobertura de inverno em monocultivos, bicultivos e tricultivos (todas as combinações possíveis de 3 espécies; variando as espécies entre anos), comparando-os com testemunhas sem plantio de inverno;
- b) Após roçado e aplicação superficial da biomassa de cultivos de cobertura de inverno, plantio de hortaliças de verão (policultivos idênticos em todas as parcelas; variando as espécies entre anos)

Primeira etapa: Delineamento amostral e implementação do estudo

O estudo foi delineado em blocos completos casualizados, visando manter os principais gradientes ambientais o mais homogêneos possível dentro dos blocos, particionando a heterogeneidade inevitável entre os blocos. Foram implementados três blocos (repetições), tendo como tratamentos as diferentes combinações possíveis de três espécies de coberturas de inverno com adaptação às características ambientais da ADAE e estratégias ecofisiológicas contrastantes e hipoteticamente complementárias (nabo forrageiro, *Raphanus sativus* L., Brassicaceae; aveia preta, *Avena strigosa* Schreb., Poaceae; ervilhaca, *Vicia sativa* L., Fabaceae) e duas testemunhas. Com exceção de uma testemunha, todas as demais parcelas tiveram aplicação de composto orgânico. Têm-se, então: 3 parcelas com monoculturas, 3 parcelas com pares de espécies, 1 parcela com três espécies, 1 parcela sem plantio e 1 parcela sem plantio e sem a aplicação de composto (Quadro 1). A cada ano serão modificadas as espécies, mas não as combinações de grupos funcionais. A densidade de semeadura foi alta

(15x15 cm) objetivando evitar dinâmicas limitadas por propágulos e manteve-se constante nos sete tratamentos de plantio. Ou seja, a inclusão de mais uma (ou duas) espécie (s) nos tratamentos mistos deu-se por substituição de indivíduos. Cada bloco é então, composto por 9 parcelas contíguas de 5x5 m, com plantio em uma área de 4 x 4 m para evitar o bordamento. No centro de cada parcela, uma subparcela de 1 x 1 m está permanentemente marcada para o acompanhamento do experimento nos ciclos subsequentes. No final do primeiro ciclo foram amostrados:

- biomassa aérea nos quadrados centrais por espécie de cultivo e por forma de crescimento de espontânea;
- atributos funcionais biogeoquímicos e reprodutivos por espécie de cultivo por parcela;
- atributos funcionais biogeoquímicos e reprodutivos por espécie de espontânea (das 4 espécies espontâneas mais frequentes nas parcelas) dentro ou fora das parcelas, conforme disponibilidade do número necessário de indivíduos.

Quadro 1: Tratamentos dos cultivos de cobertura de inverno.

com composto	a	aveia	Mono-cultivos
	e	ervilhaca	
	n	nabo	
	ae	aveia+ervilhaca	Bicultivos
	an	aveia+nabo	
	en	ervilhaca+nabo	
	aen	aveia+ervilhaca+nabo	Tricultivo
	sp	sem plantio	Teste-
	sc	sem plantio/composto	munhas

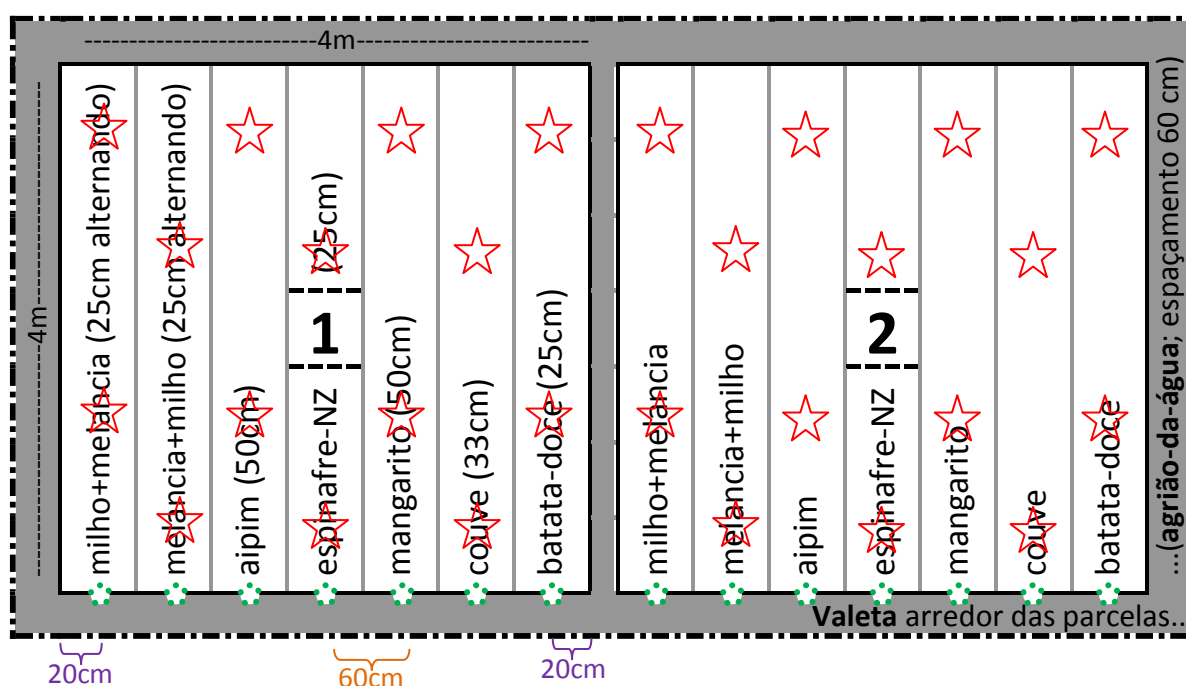
Segunda etapa: Hortaliças de verão

Objetivos do ciclo:

- Avaliar o efeito residual da composição e diversidade de cultivos de cobertura de inverno sobre produtividade de hortaliças anuais do verão seguinte, sobre abundâncias e composição funcional de espontâneas, sobre a qualidade do solo, etc.
- Produzir uma safra satisfatória em relação ao espaço ocupado para mostrar o princípio da agroecologia de adequação às condições biofísicas adversas (solos arenosos, ácidos, com lençol freático alto, com sombra parcial, sem insumos agroquímicos).

Após a coleta dos dados de, com roçado e aplicação superficial da biomassa de cultivos de cobertura de inverno, policultivos de hortaliças de verão, funcionalmente complementares (hábito de crescimento, arquitetura da copa, estratégia de absorção de nutrientes). Ou seja, haverá dois ciclos de cultivo anuais. Todas as espécies serão plantadas em todas as parcelas na mesma ordem, em linhas intercaladas (50 cm de espaço entre linhas). Ponto crítico de monitoramento: durante cada ciclo de produção. Implementação de policultivos de hortaliças de verão (05/10/2012) seguiu o delineamento na Fig. 2.

Fig. 2: Croqui do arranjo espacial de plantio de hortaliças de verão em linhas de sete espécies de hortaliças em **arranjo espacial idêntico em todas as 27 parcelas**. O plantio de cada linha é guiado pelas estacas de bambu (\odot) no início da mesma. Espécies em linhas adjacentes (ou dentro das linhas no caso de milho+mela) **alternam entre hábitos eretos e prostrados**. Espaçamentos densos para acelerar a cobertura do solo e ocupação de espaços de cultivos subdesenvolvidos por cultivos vizinhos bem sucedidos: **60cm entrelinhas**; **20cm entre a linha marginal da parcela e a borda** (espaçamento intralinha entre parênteses). Plantio de 2 indivíduos de ***Crotalaria spectabilis*** dentro de todas as linhas (\star com distribuição homogênea) para diminuir populações de nematóides patogênicos suspeitados na área. Semeadura direta de **agrião-da-água (*Nasturtium officinale*)** dentro de todas as valetas (espaçamento: 60cm). Quadrado central permanente 1x1m para **amostragem semestral não-destrutiva de espontâneas** (1, 2).



Terceira etapa: Amostragem da diversidade funcional

Coleta de dados sobre componentes da agrobiodiversidade. Sazonalmente serão coletados dados de atributos funcionais dos cultivos e das espécies espontâneas, de acordo com os métodos usuais (Cornelissen et al. 2003). Serão focados atributos sabidamente ou potencialmente adaptativos às características ambientais da ADAE (área foliar específica, comprimento específico e espessura de raízes, forma e massa do diásporo, pH da folha, etc). Os atributos serão coletados durante o máximo de desenvolvimento de cada espécie, caracterizada pelo pleno florescimento das mesmas, no mínimo em dois indivíduos por tratamento. Para podermos ponderar o peso de cada atributo pela massa das mesmas (Grime 1998), coletaremos dados de abundância de cada espécie (Mueller-Dombois e Ellenberg 1974). Adicionalmente, coletaremos dados sobre a riqueza e diversidade de plantas espontâneas em cada estação e dados de

produtividade das espécies cultivadas em cada ciclo de plantio. Ponto crítico de monitoramento: ao final dos ciclos de inverno e verão.

Quarta etapa: Análise dos dados

Análise de dados. Três abordagens complementares de análise permitirão uma interpretação da importância relativa entre (i) composição, (ii) riqueza de espécies, e (iii) diversidade funcional. Com o fim de permitir tal diferenciação quantitativa entre estes 3 componentes da agrobiodiversidade, utilizaremos os seguintes delineamentos experimentais alternativos de um só experimento com métodos estatísticos robustos:

- i) Fator 1 = espécie (3 níveis), cruzado com
Fator 2 = densidade (3 níveis) [*balanced design* ANOVA];
- ii) Um Fator = riqueza de espécies de cultivos (3 níveis) [*unbalanced design* ANOVA];
- iii) Um Fator = diversidade funcional dos atributos de cultivos (variável contínua) [regressão simples].

A delimitação de grupos funcionais de plantas espontâneas será avaliada por um algoritmo que otimiza o subconjunto de atributos funcionais a ser utilizado para a formação desses grupos de forma que a correlação matricial entre as comunidades definidas pelos tipos funcionais e as comunidades definidas pelas variáveis ambientais (neste caso os valores de atributos amostrados para as espécies cultivadas) seja máxima (Pillar e Sosinski 2003). Para testar quais grupos funcionais de plantas espontâneas estão associados a quais atributos das plantas cultivadas se utilizará o IndVal (Dufrene e Legendre 1997). Esse índice alia a especificidade e a fidelidade de um objeto por um sítio para medir a associação entre estes. Com a utilização de modelos nulos apropriados, é possível verificar se o valor do IndVal difere significativamente daquele esperado ao acaso e testar diferentes tipos de associações (De Caceres e Legendre 2009). Após a associação entre atributos funcionais das plantas espontâneas que permitem a colonização dos policultivos, serão buscadas na literatura espécies de interesse agrônomo com altas médias para tais atributos e posterior implementação a campo, visando testar a ocupação do espaço.

Experimento 2: ADAE-Sul (em andamento)

Na faixa Sul da ADAE imediatamente encostado nas valas será implantado um experimento de uma *Aleia agroflorestal densa poliestratificada de alto porte* (Fig. 3). Os objetivos de longo prazo são:

- 1) Testar hipóteses sobre a complementariedade entre grupos funcionais de cultivos arbóreos, arbustivos, trepadeiras, e herbáceos em relação a funções ecossistêmicas-chaves.
- 2) Estabelecer e manter uma produção contínua, diversificada, voltada para atender a demandas locais.
- 3) Criar um quebra-vento denso para diminuir os efeitos do vento do Sul.

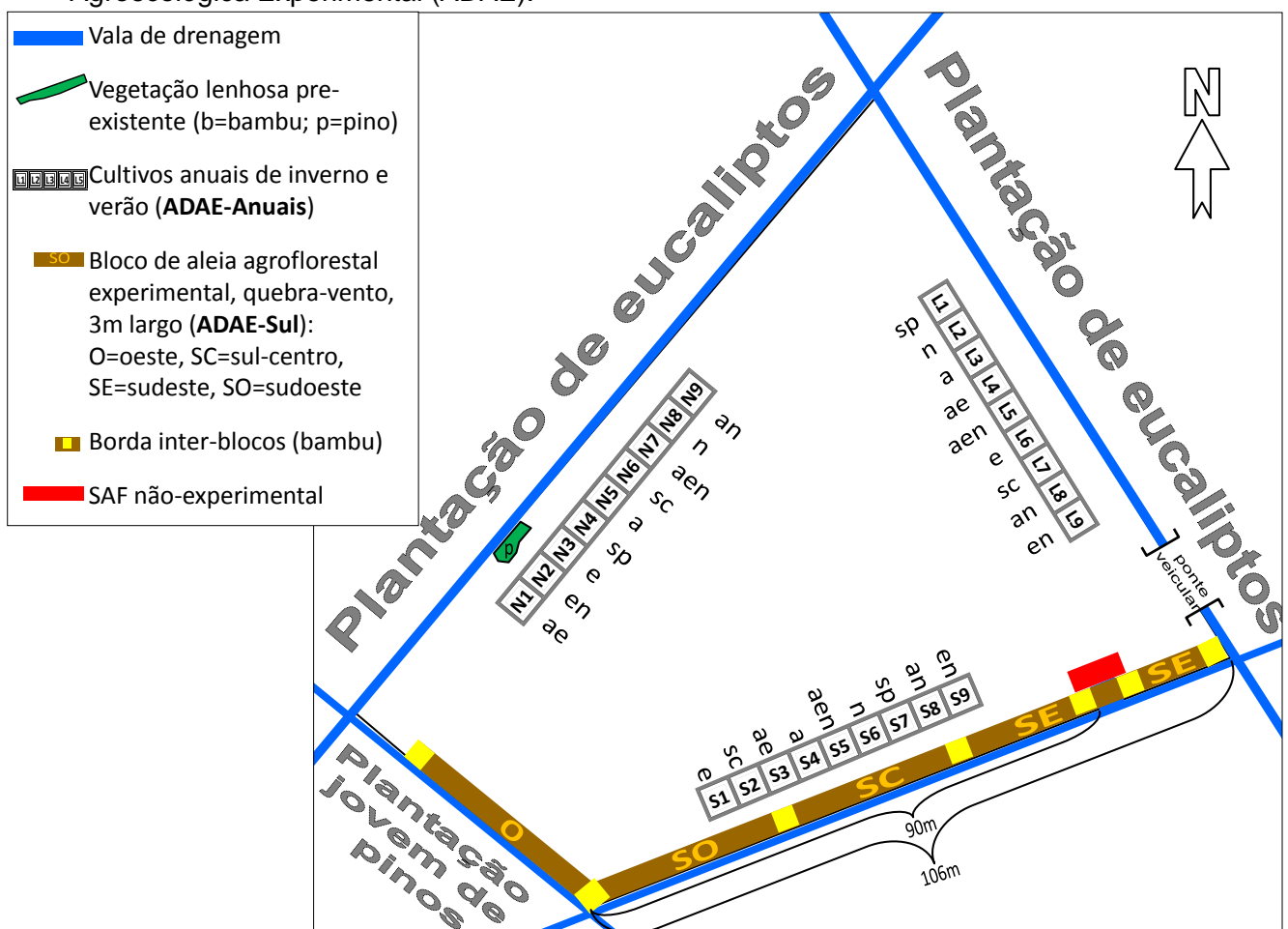
- 4) Criar um sumidouro perene para interceptar nutrientes dissolvidos na água de fluxo lateral no lençol freático, e para retê-los e reciclá-los na biomassa do SAF.
- 5) Criar hábitat e recursos alimentícios para inimigos naturais de pragas e doenças.

Experimento 3: ADAE-Norte (em planejamento)

Na borda Leste, Norte e Oeste da ADAE imediatamente encostado nas valas será implantado um experimento de um *Sistema Agroflorestal de Aleia de baixo porte* para evitar sombreamento invernal das parcelas ADAE-Anuais (Fig. 3). Os objetivos de longo prazo são:

- 1) Testar hipóteses sobre a complementariedade entre grupos funcionais de cultivos arbóreos, arbustivos, trepadeiras, e herbáceos.
- 2) Estabelecer e manter uma produção contínua, diversificada, voltada para atender a demandas locais.
- 3) Criar um sumidouro perene para interceptar nutrientes dissolvidos na água de fluxo lateral no lençol freático, e para retê-los e reciclá-los na biomassa do SAF.
- 4) Criar um quebra-vento semipermeável.
- 5) Criar hábitat e recursos alimentícios para inimigos naturais de pragas e doenças.

Fig. 3: Croqui da divisão de unidades experimentais dentro da Área Didática Agroecológica Experimental (ADAE).



Referências

- Ae N, Arihara J, Okada K, et al. (1990) Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. *Science* 248(4954): 477-480.
- Albert CH, Thuiller W, Yoccoz NG, et al. (2010) Intraspecific functional variability: extent, structure and sources of variation. *Journal of Ecology* 98(3): 604-613.
- Bastiaans L, Paolini R, Baumann DT (2008) Focus on ecological weed management: what is hindering adoption? *Weed Research* 48(6): 481-491.
- Bommarco R, Miranda F, Bylund H, et al. (2011) Insecticides Suppress Natural Enemies and Increase Pest Damage in Cabbage. *Journal of Economic Entomology* 104(3): 782-791.
- Cardinale BJ, Duffy JE, Gonzalez A, et al. (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486(7401): 59-67.
- Cardinale BJ, Matulich KL, Hooper DU, et al. (2011) The functional role of producer diversity in ecosystems. *Am. J. Bot.* 98: 572-592.
- Cardinale BJ, Wright JP, Cadotte MW, et al. (2007) Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104(46): 18123-18128.
- Castro-Diez P (2012) Functional traits analyses: Scaling-up from species to community level. *Plant and Soil* 357(1-2): 9-12.
- CIDASC (2010) Relatório de ensaio de análise de solo. Laboratório Físico Químico e Biológico, Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina, SEAGRI, Itacorubi, Florianópolis-SC.
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, et al. (2003) A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51(4): 335-380.
- Cornwell WK, Ackerly DD (2009) Community assembly and shifts in plant trait distributions across an environmental gradient in coastal California. *Ecological Monographs* 79(1): 109-126.
- Courbaud B, Vieilledent G, Kunstler G (2012) Intra-specific variability and the competition-colonisation trade-off: coexistence, abundance and stability patterns. *Theoretical Ecology* 5(1): 61-71.
- De Caceres M, Legendre P (2009) Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* 90(12): 3566-3574.
- Diaz S, Hodgson JG, Thompson K, et al. (2004) The 7 plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. *Journal of Vegetation Science* 15(3): 295-304.
- Diaz S, Lavorel S, de Bello F, et al. (2007) Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104(52): 20684-20689.
- Dufrene M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67(3): 345-366.
- Ekstrom G, Ekbom B (2011) Pest Control in Agro-ecosystems: An Ecological Approach. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30(1-2): 74-94.
- Ewel JJ, Mazzarino MJ (2008) Competition from below for light and nutrients shifts productivity among tropical species. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 105(48): 18836-18841.

- FAO (2011) The State of Food Insecurity in the world. How does international price volatility affect domestic economies and food security? In: FAO (ed). FAO, Roma.
- Foley JA, Ramankutty N, Brauman KA, et al. (2011) Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478(7369): 337-342.
- Fornara DA, Tilman D (2008) Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. *J. Ecol.* 96(2): 314-322.
- Garnier E, Navas M-L (2012) A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32(2): 365-399.
- Grime JP (1998) Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology* 86(6): 902-910.
- Hole DG, Perkins AJ, Wilson JD, et al. (2005) Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122(1): 113-130.
- Instituto CEPA/SC (1976-) Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2010-2011. In. Epagri/Cepa, Florianópolis.
- Isbell F, Calcagno V, Hector A, et al. (2011) High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature* 477(7363): 199-202.
- Jose S. & Gordon A.M. (2008) *Toward agroforestry design: an ecological approach*. 4. edn. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Keddy PA (1992) Assembly and response rules - 2 goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science* 3(2): 157-164.
- Lavorel S, Garnier E (2002) Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* 16(5): 545-556.
- Letourneau DK, Armbrrecht I, Rivera BS, et al. (2011) Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecol. Appl.* 21: 9-21.
- Li L, Li SM, Sun JH, et al. (2007) Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 104(27): 11192-11196.
- Lima, N.Z.; Camargo, N.M. & Siddique, I. (2012) Projeto de Estabelecimento e Desenvolvimento da Área Didática Agroecológica (ADA) na Fazenda Experimental da Ressacada, CCA, UFSC: Componente 1: Área Didática Agroecológica Geradora de Hipóteses (ADAGH) no Arboreto de Nativas. Relatório técnico, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. <http://fazenda.ufsc.br/descricao-fisica/areas-didaticas-experimentais/agroecologia/>
- Lin BB (2011) Resilience in agriculture through crop diversification: Adaptive management for environmental change. *Bioscience* 61(3): 183-193.
- Lipsitch M, Singer RS, Levin BR (2002) Antibiotics in agriculture: When is it time to close the barn door? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99(9): 5752-5754.
- Lithourgidis AS, Dordas CA, Damalas CA, et al. (2011) Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Aust. J. Crop Sci.* 5(4): 396-410.
- Mortensen DA, Egan JF, Maxwell BD, et al. (2012) Navigating a critical juncture for sustainable weed management. *BioScience* 62(1): 75-84.
- Moss B (2008) Water pollution by agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363(1491): 659-666.
- Mueller-Dombois D, Ellenberg H (1974) *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, New York.

- Navas M-L (2012) Trait-based approaches to unravelling the assembly of weed communities and their impact on agro-ecosystem functioning. In: *Weed Research*. Wiley. p 1-10
- Oerke EC (2006) Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science* 144:31-43.
- Oster M, Eriksson O (2012) Recruitment in species-rich grasslands: the effects of functional traits and propagule pressure. *J. Plant Ecol.* 5(3): 260-269.
- Picasso VD, Brummer EC, Liebman M, et al. (2008) Crop species diversity affects productivity and weed suppression in perennial polycultures under two management strategies. *Crop Science* 48(1): 331-342.
- Pillar VD, Sosinski EE (2003) An improved method for searching plant functional types by numerical analysis. *Journal of Vegetation Science* 14(3): 323-332.
- Pimentel D (2011) Food for Thought: A Review of the Role of Energy in Current and Evolving Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30(1-2): 35-44.
- Pimentel D, Acquay H, Biltonen M, et al. (1992) ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC COSTS OF PESTICIDE USE. *Bioscience* 42(10): 750-760.
- Pugnaire FI, Valadares F (2007) *Plant Functional Ecology*. CRC Press, Boca Raton.
- Ramankutty N, Evan AT, Monfreda C, et al. (2008) Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles* 22(1):
- Siefert A (2012) Spatial patterns of functional divergence in old-field plant communities. *Oikos* 121(6): 907-914.
- Sileshi G, Akinnifesi FK, Ajayi OC, et al. (2008) Meta-analysis of maize yield response to woody and herbaceous legumes in sub-Saharan Africa. *Plant Soil* 307(1-2): 1-19.
- Smil V (2004) *Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production*. MIT Press, Cambridge.
- Snapp SS, Blackie MJ, Gilbert RA, et al. (2010) Biodiversity can support a greener revolution in Africa. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107(48): 20840-20845.
- Suding KN, Lavorel S, Chapin FS, III, et al. (2008) Scaling environmental change through the community-level: a trait-based response-and-effect framework for plants. *Global Change Biology* 14(5): 1125-1140.
- Tilman D (1994) Competition and biodiversity in spatially structured habitats. *Ecology* 75(1): 2-16.
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, et al. (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418(6898): 671-677.
- Tscharntke T, Clough Y, Bhagwat SA, et al. (2011) Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes: a review. *Journal of Applied Ecology* 48(3): 619-629.
- Violle C, Navas M-L, Vile D, et al. (2007) Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116(5): 882-892.
- Vitousek PM, Naylor R, Crews T, et al. (2009) Nutrient Imbalances in Agricultural Development. *Science* 324(5934): 1519-1520.