
Índice de sensibilidade del suelo como indicador de una silvicultura urbana climáticamente inteligente

Índice de Sensibilidade do Solo como Indicador para Silvicultura Urbana Climaticamente Inteligente

Soil Sensitivity Index as an Indicator for Climate-Smart Urban Forestry

Milica Kašanin-Grubin ¹ <https://orcid.org/0000-0002-7764-2509>

Nevena Antić² <https://orcid.org/0000-0002-4071-0790>

Sanja Stojadinović ³ <https://orcid.org/0000-0002-7848-0580>

Nikola Živanović ⁴ <https://orcid.org/0000-0003-0340-5516>

Vukašin Rončević ⁵ <https://orcid.org/0000-0001-6792-1144>

Snežana Štrbac ⁶ <https://orcid.org/0000-0002-6638-6490>

¹ University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia, milica.kasanin@ihtm.bg.ac.rs

² University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia, nevena.antic@ihtm.bg.ac.rs

³ University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia, sanja.stojadinovic@ihtm.bg.ac.rs

⁴ University of Belgrade, Faculty of Forestry, Belgrade, Serbia, nikola.zivanovic@sfb.bg.ac.rs

⁵ University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia, vukasin.roncevic@ihtm.bg.ac.rs

⁶ University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia, snezana.strbac@ihtm.bg.ac.rs

Recebido em: 27/08/2024

Aceito para publicação em: 30/10/2024

Resumo

O conceito de silvicultura climaticamente inteligente, projetado para florestas de montanha, foi modificado e aplicado a áreas de florestas urbanas que estão sob altas pressões antropogênicas e de mudanças climáticas. Conseqüentemente, o objetivo principal do projeto UrbanFoS é definir indicadores de degradação do solo em florestas urbanas sob o guarda-chuva do conceito de silvicultura climaticamente inteligente. Isso será feito por meio de três etapas: 1. determinação das principais propriedades sensíveis do solo aos processos de degradação; 2. simulações climáticas de campo e laboratório; 3. definição de serviços ecossistêmicos de florestas urbanas. Como os indicadores que definem a suscetibilidade do solo aos processos de degradação são de fundamental importância para a sustentabilidade da floresta urbana, o conhecimento adquirido será usado para desenvolver o índice de degradação do solo aplicável aos solos de florestas urbanas sob condições de mudanças climáticas.

Palabras clave: florestas urbanas, degradação do solo, mudanças climáticas, experimentos de simulação climática, serviços ecossistêmicos

Abstract

Concept of climate-smart forestry, designed for mountain forests, was modified and applied to urban forest areas which are under high anthropogenic and climate change pressures. Accordingly, main objective of the UrbanFoS project is to define soil degradation indicators in urban forests under the umbrella of climate-smart forestry concept. It will be done through three steps: 1. determination of key sensitive properties of soil to degradation processes; 2. field and laboratory climate simulations; 3. definition of ecosystem services of urban forests. As the indicators that define the susceptibility of soil to degradation processes are of key importance for urban forest sustainability, the knowledge gained will be used to develop soil degradation index applicable to urban forest soils under climate change conditions.

Keywords: urban forests, soil degradation, climate change, climate simulation experiments, ecosystem services

Resumen

El concepto de silvicultura climáticamente inteligente diseñado para los bosques de montaña se ha modificado y aplicado a áreas forestales urbanas que están sometidas a altas presiones antropogénicas y del cambio climático. En consecuencia, el principal objetivo del proyecto UrbanFoS es definir indicadores de degradación del suelo en bosques urbanos basados en el concepto de silvicultura climáticamente inteligente. Este proceso tiene tres etapas: 1- determinación de las principales propiedades del suelo sensibles a procesos de degradación; 2- simulaciones climáticas de campo y laboratorio; 3. definición de servicios ecosistémicos forestales urbanos. Como los indicadores que definen la susceptibilidad del suelo a los procesos de degradación son esenciales para la sostenibilidad de los bosques urbanos, los conocimientos adquiridos se utilizarán para desarrollar el índice de degradación del suelo aplicable a los suelos forestales urbanos en condiciones de cambio climático.

Palabras clave: bosques urbanos, degradación del suelo, cambio climático, experimentos de simulación climática, servicios ecossistêmicos

Introdução

O solo, como um recurso natural básico, é expresso na silvicultura por meio da produtividade, ou seja, a capacidade de fornecer às plantas os nutrientes

necessários. Considerando as mudanças climáticas previstas, o Climate Smartness foi introduzido como um novo conceito que dá suporte ao manejo florestal sustentável. Essa difusão resultou no Climate-Smart Forestry, que é definido como "manejo adaptativo sustentável de florestas para proteger e melhorar o potencial das florestas para se adaptarem e mitigarem as mudanças climáticas".

O conceito de silvicultura climaticamente inteligente, projetado para florestas de montanha, pode ser aplicado, mas não completamente replicado para áreas de florestas urbanas, precisamente por causa da alta intensidade de pressões antropogênicas às quais estão sujeitas. Por esse motivo, há necessidade de desenvolver um novo conceito de climaticamente inteligente, mas desta vez para a silvicultura urbana.

Consequentemente, o principal objetivo do projeto UrbanFoS é definir indicadores de degradação do solo em florestas urbanas, sob o guarda-chuva do conceito de silvicultura climaticamente inteligente. A definição de indicadores será feita por meio de três etapas:

1. Por meio da determinação das principais propriedades sensíveis do solo aos processos de degradação em florestas urbanas;
2. Curso de simulações climáticas de campo e laboratório;
3. Por meio da definição de serviços ecossistêmicos de florestas urbanas.

Como os indicadores que definem a suscetibilidade do solo aos processos de degradação são de fundamental importância para a compreensão dos mecanismos desses processos, o conhecimento obtido por meio do UrbanFoS será usado para desenvolver um índice de degradação do solo aplicável a solos de florestas urbanas sob condições de mudanças climáticas.

Tendo em vista das mudanças climáticas previstas (CC), o Climate Smartness foi introduzido como um novo conceito para o manejo florestal sustentável (SFM). O Climate-Smart Forestry (CSF) é definido como "manejo florestal adaptável sustentável e governança para proteger e aumentar o potencial das florestas para se

adaptar e mitigar o CC". O objetivo do CFS é sustentar a integridade e as funções do ecossistema e garantir a entrega contínua de bens e serviços ecossistêmicos, minimizando o impacto das mudanças induzidas pelo clima nas florestas, no bem-estar e na contribuição da natureza para as pessoas. A condição do solo foi reconhecida como um dos indicadores importantes para avaliar o gerenciamento do CSF. O solo, como um recurso essencial, é a base para atender às necessidades humanas, sociais e ecológicas. A silvicultura urbana representa uma abordagem estratégica para planejar e gerenciar recursos arbóreos para seus benefícios econômicos, ambientais e socioculturais. Nas cidades, as florestas urbanas (UF) contribuem para a infraestrutura verde, ou seja, sistemas ecológicos naturais ou projetados que conservam os valores e funções do ecossistema. No entanto, a UF enfrenta pressão significativa, incluindo condições difíceis de crescimento, recursos insuficientes para cuidados adequados, poluição, invasão do desenvolvimento e compreensão pública, geralmente incompletos dos benefícios fornecidos pela UF. O impacto negativo direto entre CC e pressão antropogênica na UF é particularmente refletido na degradação do solo, e esse problema requer atenção especial.

O principal objetivo do projeto "Indicadores de solo de floresta urbana como uma ferramenta para silvicultura climática inteligente" (UrbanFoS) financiado pelo Fundo Científico da República da Sérvia #7043 é definir indicadores de degradação do solo na UF sob o conceito CSF para se adaptar e mitigar CC e pressão antropogênica em áreas urbanas. Em pesquisas publicadas recentemente, o conhecimento das propriedades do solo está ganhando um papel cada vez maior na compreensão do mecanismo de criação e evolução de áreas com processos intensos de degradação (Kašanin-Grubin et al., 2018). A definição de indicadores será feita por meio de três etapas: 1. Determinação das principais propriedades de sensibilidade do solo para processos de degradação em UF; 2. Experimentos de simulação climática baseados em campo e laboratório; 3. Definição de serviços ecossistêmicos (ES) de UF. Indicadores definidos serão usados para testar índices de

degradação do solo existentes, aplicáveis a solos florestais e um índice de degradação do solo adequado para UF sob condições de CC será proposto. Finalmente, com base nas etapas anteriores, o UrbanFoS definirá medidas de restauração baseadas no princípio da engenharia ecológica e Nature-Based Solutions (NBS).

Materiais e métodos

Dentro do UrbanFoS, propriedades físico-químicas e mecânicas do solo de 5 UF que são diferenciadas em tamanho, idade, tipo de leito rochoso, proximidade de fontes de poluição, incluindo infraestrutura, idade e tipo de povoamentos e tipo de instalações recreativas (trilhas, equipamentos de exercícios, áreas de piquenique designadas, etc.) serão analisadas. As seguintes análises serão conduzidas: pH e condutividade elétrica (CE); conteúdo de CaCO₃, matéria orgânica (MO), carbono orgânico, N prontamente disponível, N total, P e K prontamente disponíveis; e concentrações de macro e microelementos; distribuição do tamanho do grão, peso do volume (massa) do solo, porosidade, umidade atual do solo, limites de consistência de Atterberg, resistência ao cisalhamento do solo. Foi comprovado que a degradação do solo, dependendo de sua intensidade, impede o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Amaranthus et al., 1996). O Plant Canopy Imager será usado para capturar imagens da copa das plantas de grande angular, enquanto estima instantaneamente o Índice de Área Foliar (LAI) e mede os níveis de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) (Norman e Campbell, 1989). A câmera digital autonivelante, a tela sensível ao toque atualizada e os filtros incluídos trabalham juntos para coletar, calcular e salvar dados em qualquer condição de luz do dia. Uma nova unidade com captura de liberação de gatilho de atraso e antena amplificada conectada a quatro constelações de satélites fornece dados de localização precisos e instantâneos ao longo das medições do LAI.

A novidade na pesquisa será uma simulação de laboratório e campo de cenários climáticos potenciais (painel 1) que ajudarão a entender a possibilidade de

UF se adaptar a processos de degradação e perdas de nutrientes do solo devido a CC. A simulação de diferentes cenários climáticos é baseada na análise de dados existentes. As informações sobre a frequência e intensidade da precipitação serão a base para simulações experimentais de precipitação e intensidade de temperatura no laboratório e no campo. A simulação de campo de diferentes cenários climáticos será conduzida com um simulador de chuva de campo portátil modificado apresentado no artigo de Živanović et al. (2022). As modificações se referirão à obtenção da intensidade de chuva dos cenários selecionados. As simulações serão realizadas de acordo com o procedimento estabelecido para cada área com um número suficiente de repetições. Durante a simulação, as mudanças na resistência ao cisalhamento do solo serão monitoradas com dispositivos portáteis. A erosão do solo e o escoamento superficial também serão medidos. No laboratório, serão conduzidas simulações de diferentes cenários climáticos. Durante essas simulações, as propriedades do solo lixiviado serão monitoradas.

Painel 1- Construção dos simuladores climáticos: baseados em campo (esquerda) e baseados em laboratório (direita).



Fonte: Milica (2024)

Definir ES como útil para monitorar e avaliar CSUF contribuirá para o planejamento da adaptação de UF às condições de CC e para a melhoria do sistema de planejamento de gestão de UF existente. A avaliação de ES em UF será feita usando a Ferramenta de Avaliação de Benefícios de Áreas Protegidas (PA-BAT+). O objetivo de usar o PA-BAT+ é: gerar conhecimento, encorajar mudanças, usar e desenvolver serviços ecológicos, culturais, sociais e econômicos que áreas de UF selecionadas forneçam, informando tomadores de decisão nacionais e regionais que apoiam UF a fim de encorajar o desenvolvimento sustentável e o uso inteligente dos recursos naturais.

A proposta de medidas de restauração para planejar a adaptação de UF às condições de CC e para mitigar os efeitos dos processos de degradação do solo será feita com base no princípio da engenharia ecológica e NBS. Os princípios da engenharia ecológica são baseados no plantio de espécies apropriadas e no desenvolvimento de soluções e medidas técnicas ambientalmente desejáveis para prevenir a degradação do solo. NBS são atividades voltadas para a proteção, gestão sustentável e restauração de ecossistemas naturais e alterados que abordam desafios sociais de forma eficaz e adaptável, garantindo ao mesmo tempo benefícios humanos e de biodiversidade. Eles oferecem uma oportunidade real para abordar significativamente uma série de crises de sustentabilidade, incluindo CC, água potável e segurança alimentar, degradação do solo e perda de biodiversidade. Dentro do UrbanFoS, o biochar será explorado como um NBS para melhorar a produtividade do solo. O uso do biochar pode melhorar a estrutura do solo, a estabilidade e a porosidade dos agregados do solo, a capacidade de retenção de água e a ciclagem de nutrientes, a resistência à tração e à penetração e a infiltração do solo, além de reduzir o escoamento e diminuir a erosão. As medidas propostas determinadas reduzirão significativamente ou neutralizarão completamente os efeitos negativos na qualidade do solo e, portanto, em todo o ecossistema florestal.

O NBS proposto estará de acordo com o Padrão Global para Soluções Baseadas na Natureza.

Conceituação teórica

O CSF é um conceito em evolução e sua definição marca o estágio atual no desenvolvimento do conceito, não um ponto final. Portanto, o conceito CSF só é significativo se os critérios e indicadores adequados para monitorar se os princípios descritos na definição estão sendo adotados ao longo do tempo. Um dos indicadores mais bem classificados na lista do CSF está conectado à degradação do solo. O UrbanFoS aborda lacunas no conhecimento sobre as condições do solo, pressões e processos de degradação da UF e visa definir informações-chave para apoiar a tomada de decisões em direção a metas climáticas e de sustentabilidade. O UrbanFoS também testa o comportamento do solo em vários climas com o objetivo de mitigar a degradação da UF e sustentar o fornecimento de vários ES essenciais para sustentar a biodiversidade e os meios de subsistência e bem-estar humanos.

Resultados e discussão

O UrbanFoS abordará questões de importância temática por meio de uma abordagem de baixo para cima, que será desenvolvida em direção a solicitações de cima para baixo para que parceiros da rede ofereçam expertise para tópicos do CSUF considerados estrategicamente relevantes pelas partes interessadas.

Espera-se que o UrbanFoS tenha um impacto na comunidade científica, sociedade, economia, indústria, saúde, educação e meio ambiente por meio de vários aspectos:

- Os resultados obtidos com este projeto expandirão significativamente o banco de dados existente sobre UF e, assim, permitirão que a comunidade científica, bem como as partes interessadas, informem o público com mais detalhes sobre o estado atual do UF.
- A apresentação de informações técnicas e publicações mostrará que o

gerenciamento do UF deve ser baseado nos resultados de pesquisas científicas em vários aspectos do ecossistema florestal.

- O projeto introduz uma nova estrutura para a valorização do estado atual e futuro do solo e da vegetação no UF.
- Os resultados do UrbanFoS fornecerão uma base realista para a redução da degradação do solo, que é inevitavelmente causada pela implementação de atividades de cultivo ou gerenciamento sanitário.
- Com a implementação de propostas de medidas preventivas e corretivas antierosão e obras baseadas no princípio da engenharia ecológica e SBN, as condições do solo serão melhoradas.

Considerações Finais

O UrbanFoS aborda lacunas no conhecimento sobre as condições do solo, pressões e processos de degradação de UF e visa definir informações-chave para dar suporte à tomada de decisões em direção a metas climáticas e de sustentabilidade. O UrbanFoS também testa o comportamento do solo em vários climas com o objetivo de mitigar a degradação de UF e sustentar o fornecimento de vários ES essenciais para sustentar a biodiversidade e os meios de subsistência e bem-estar humanos. Além disso, determinar as propriedades da sensibilidade do solo ao CC, juntamente com o ES, abrirá um caminho para criar um índice de degradação do solo que se concentrará na dinâmica das propriedades do solo identificadas como indicadores valiosos.

O UrbanFoS incorpora novas metodologias e conhecimento especializado de técnicas analíticas, propriedades do solo, experimentos de simulação climática, ES, engenharia ecológica e NBS. Ele desenvolve ferramentas para monitoramento do solo e previsões do comportamento do solo sob CC e melhora a previsão de mitigação, adaptação e ES com base no solo. O projeto usará uma abordagem transdisciplinar integrada para sua pesquisa, o que lhe permite obter uma

compreensão completa dos impulsionadores socioeconômicos e do ambiente propício, dos públicos e dos processos de adoção que influenciarão a aceitação de soluções. A inclusão de stakeholders garante que mensagens relevantes, personalizadas e oportunas sejam produzidas. Isso aumenta as chances de que os resultados do projeto realmente encontrem seu caminho para a prática diária dos stakeholders. Os usuários finais previstos serão alvos da crescente base de evidências sobre os resultados tecnológicos do projeto e o valor do NBS como uma solução de mitigação e adaptação de CC, e seu impacto na redução da degradação do solo na UF. A estratégia identificará objetivos claros de troca de conhecimento e impacto e resultados pretendidos por meio de discussão com os principais stakeholders.

Referencias

AMARANTHUS, M. P., PAGE-DUMROESE, D., HARVEY, AL., CAZARES, E.,BEDNAR, L F. **Soil compaction and organic matter affect conifer seedling nonmycorrhizal and ectomycorrhizal root tip abundance and diversity.** Res. Pap. PNW-RP-494. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 12 p, 1996.

KAŠANIN-GRUBIN, M., VERGARI, F., TROIANI, F., DELA SETA, M. **The Role of Lithology: Parent Material Controls on Badland Development.** In *Badland Dynamics in the Context of Global Change*; Edited by Nadal-Romero, E., Martínez-Murillo, J.F., Kuhn, N.J.; P. 61-109, Elsevier Inc; ISBN: 978-0-12-813054-4, 2018.

NORMAN, J.M., CAMPBELL, G.S. **Canopy structure.** In: Pearcy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Rundel, P.W. (eds) *Plant Physiological Ecology*. Springer, Dordrecht. 1989.

ŽIVANOVIĆ N., RONČEVIĆ V., SPASIĆ M., ČORLUKA S., POLOVINA S. **Construction and calibration of a portable rain simulator designed for the in situ research of soil resistance to erosion.** *Soil & Water Res.*, V17, P. 158–169. 2022.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi apoiada pelo Fundo Científico da República da Sérvia, nº 7043, Indicadores de Solo Florestal Urbano como uma ferramenta para Silvicultura Climaticamente Inteligente - UrbanFoS.

Contribuição dos autores:

Autor 1 ; Supervisão, discussão dos resultados, pesquisa bibliográfica, revisão do texto

Autor 2: Elaboração, produção textual e discussão dos resultados

Autor 3: Elaboração, produção textual e discussão dos resultados

Autor 4: Elaboração, produção textual e discussão dos resultados

Autor 5: Elaboração, produção textual e discussão dos resultados

Autor 6: Elaboração, produção textual e discussão dos resultados