

Efeitos da Adubação Fosfatada e da Aplicação de Resíduo de Celulose no Crescimento de *Eucalyptus dunnii*

*Guilherme de Castro Andrade*¹

*Helton Damin da Silva*²

*Antônio Francisco Jurado Bellote*³

*Carlos Alberto Ferreira*⁴

RESUMO

No Brasil, os plantios de árvores de rápido crescimento, principalmente espécies de *Eucalyptus* e de *Pinus*, representam uma oferta de milhares de empregos e significativa contribuição ao PIB. Do ponto de vista ambiental, contribuem para reduzir a pressão sobre as florestas nativas, concorrendo assim para a sua preservação e a dos recursos naturais nelas existentes. Esses povoamentos florestais, implantados na sua maioria em solos de baixa fertilidade, apresentam altas taxas de crescimento, necessitando de quantidades significativas de água e nutrientes do solo, o que causa preocupações com a sustentabilidade desses sistemas e com a necessidade de reposição futura de nutrientes. A utilização de resíduos para esta finalidade é considerada prioritária. Neste trabalho foram avaliados os efeitos da fertilização mineral e da aplicação de resíduo da indústria de celulose no crescimento de árvores de *E. dunnii*, em ensaio com delineamento fatorial, combinando 4 doses de fósforo (0; 28; 56 e 112 g de P₂O₅/planta) com 5 doses de resíduo (0; 10; 20; 40 e 80 t/ha). O plantio foi realizado na região de Ponta Grossa – PR, utilizando-se o espaçamento de 3 X 2 m entre plantas, em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, solos de baixa fertilidade, característicos dos campos gerais do Estado do Paraná. A adubação com fósforo ocorreu no sulco, no momento do plantio, e o resíduo foi aplicado

¹ Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. andrade@cnpf.embrapa.br

² Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. helton@cnpf.embrapa.br

³ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. bellote@cnpf.embrapa.br

⁴ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. calberto@cnpf.embrapa.br

10 meses após o plantio, a lanço, em toda a parcela, e incorporado ao solo mecanicamente, com enxada rotativa. Os resultados obtidos aos seis anos de idade permitem concluir que o *E. dunnii* respondeu isoladamente à adubação fosfatada e à aplicação de resíduo de celulose, em volume cilíndrico arbóreo, com ganhos em volume com relação à testemunha, de 38% a 61%, da menor para a maior dose de fósforo aplicada, e entre 20% e 40% para os níveis de resíduo testados. Estas respostas também ocorreram nas diferentes combinações de doses de fósforo com os níveis de resíduo, sendo todas superiores à testemunha, em volume cilíndrico de madeira, de 52% a 92%.

Palavras-chave: reflorestamento, fertilização, nutrientes, fósforo, produtividade de madeira.

Growth of *Eucalyptus dunnii* Affected by Phosphorus Fertilization and Pulp and Paper Mill Wastes Application

ABSTRACT

Fast growing plantations in Brazil, especially with *Eucalyptus* and *Pinus* species, are responsible for thousands of employs, presenting significant participation in the country economy. It also contributes to the environment by lowering the pressure over natural forests helping to preserve their natural resources. The extremely high growth rate of these *forest* plantations imposes high demand on water and nutrients from the soils in addition the majority of these soils are poor in nutrients. This is motive of wariness in relation to the sustainability of the future productivities. Replenishment of nutrients is necessary and use of wastes from pulp and paper mills, for this purpose are envisaged as a priority. In this paper it was evaluated, in a factorial designed trial, the effect of five doses of pulp and paper wastes (0, 10, 20, 40, 80 t/ha), and four doses of phosphorous as P_2O_5 (0, 28, 56, 112 g/tree). The planting was performed in the region of Ponta Grossa, state of Paraná-BR in LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, a chemically poor soil, very common in the so-called region of the "Campos Gerais". Trees were implanted in 3m X 2m spacing. Phosphorous were applied in furrows between the rows at planting

time, and wastes ten months latter spread over the surface and mixed in the soil by a rotating tillage tool. The results obtained 6 years after planting allowed the following conclusions: application of phosphorous and pulp and paper wastes increased wood volume substantially to the control, about 38% and 61% from the smallest to the biggest dose rate of phosphorous and among 20% to 40% for pulp and paper wastes applied; increases of 52% to 92% of productivity above the control treatments were also obtained with different combinations of P and waste.

Keywords: reforestation, fertilization, wastes, nutrients, phosphorous, wood productivity

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a implantação de povoamentos florestais de rápido crescimento, notadamente com espécies do gênero *Eucalyptus* e de *Pinus*, ocorre nas mais variadas condições de clima e solo. Do ponto de vista social e econômico, a atividade florestal representa milhares de empregos diretos e indiretos e significativa contribuição ao PIB. Do ponto de vista ambiental, contribui para reduzir a pressão sobre as florestas nativas, concorrendo assim para a sua preservação e a dos recursos naturais nelas existentes.

Na região sul do Brasil um fator limitante ao crescimento das espécies de *Eucalyptus* é a geada. Sob este aspecto, *E. dunnii* destaca-se por ser tolerante às geadas, principalmente em sua fase inicial de crescimento. Com relação ao aspecto nutricional, as espécies do gênero *Eucalyptus*, que geralmente são plantadas em solos de baixa fertilidade, respondem positivamente às adubações em razão de seu rápido crescimento.

A manutenção da produtividade do sítio em rotações sucessivas requer a reposição dos nutrientes exportados na retirada da biomassa (Bellote et al., 2001). Considerando os altos custos destas adubações, empresas florestais estão buscando alternativas para reduzir os fertilizantes químicos aplicados nos plantios.

A utilização de resíduos oriundos de fábricas de papel e celulose em plantios florestais é uma alternativa viável, recomendada por sua influência positiva na ciclagem de nutrientes e como fator de suprimento dos nutrientes demandados

pelo eucalipto (Bellote et al., 1994; Guerrini et al., 1994; Andrade et al., 1995; Ferreira et al., 1995; Gonçalves & Moro, 1995; Souza et al., 1996).

Segundo Bellote et al. (1994), o uso de resíduos industriais (cinza de caldeira e resíduo de celulose) mais adubo mineral, em plantios florestais, possibilita ganhos expressivos em crescimento das árvores.

As aplicações de cinza em *E. grandis* promoveram maiores produções de madeira quando comparadas à adubação química, e os incrementos foram proporcionais às doses aplicadas (Guerrini & Moro, 1994).

No presente trabalho discute-se os resultados de crescimento de *E. dunnii* em volume arbóreo, obtidos pela aplicação de resíduo de celulose e adubação fosfatada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em dezembro de 1994, no município de Ponta Grossa, PR, em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A proeminente textura média relevo plano fase campo subtropical perenifólio (Embrapa, 1999). Na Tabela 1 são apresentadas algumas características químicas deste solo antes da instalação do ensaio (Embrapa, 1997).

No plantio, utilizaram-se 140 g/planta de sulfato de amônio e 52 g/planta de cloreto de potássio para todos os tratamentos.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com esquema fatorial, 4 doses de fósforo aplicadas no plantio (0, 140, 280 e 560g/planta de superfosfato simples com 20 % de P_2O_5) e 5 doses de resíduo de celulose aplicadas 10 meses após o plantio (0, 10, 20, 40 e 80 t/ha). As parcelas foram retangulares (7x5), totalizando 35 plantas por parcela (15 mensuráveis), e adotou-se o espaçamento de 3,0 m entre linhas de 2,0 m entre plantas.

O resíduo de celulose utilizado foi proveniente da Indústria de Papel e Celulose (Inpapel) e gerado através de processo termo-químico. Trata-se de um resíduo que necessita ser compostado para maturação (cura completa), antes de seu uso como fertilizante. Desta forma, os dados apresentados na Tabela 2 se referem a valores médios do resíduo de celulose após compostagem ao ar livre por cerca de 2 anos.

Tabela 1. Análise química do solo da área do experimento.

Prof. (cm)	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al
	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	mmolc ⁽⁺⁾ /dm ³				
0-20	4,0	4,8	traço	0,09	1,00	0,55	1,65	5,76
70-90	4,2	2,1	traço	0,02	0,20	0,30	1,00	4,12

Tabela 2. Características do resíduo de celulose após compostado.

Parâmetros medidos	Composição média
pH	7,9
Matéria orgânica total (combustão) (g/kg)	88,2
Umidade perdida a 60-65°C (g/kg)	407,2
Umidade total (natural) a 100-110°C (g/kg)	419,9
Carbono total, orgânico e mineral (g/kg)	48,8
Nitrogênio total (g/kg)	2,1
Fósforo total (P) (g/kg)	7,4
Potássio (K ⁺) (g/kg)	0,9
Cálcio (Ca ²⁺) (g/kg)	4,8
Magnésio (Mg ²⁺) (g/kg)	1,3
Relação C/N (C total e N total)	24/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	9/1

Assim sendo, pela análise química do resíduo de celulose (Tabela 2), a aplicação de 80 t/ha de resíduo incorporou ao solo um total de 168 kg/ha de N, 592 kg/ha de P, 72 kg/ha de K, 384 kg/ha de Ca e 104 kg/ha de Mg.

Considerando-se somente o P, as dosagens de 10, 20 40 e 80t de resíduo para 1666 plantas por hectare, correspondem a adição de 44,4; 88,8; 177,6 e 355,0 g de P/planta. Esses valores transformados em equivalente fertilizantes, corresponderam a 101,7; 203,4; 406,9 e 813,3 g de P₂O₅/planta, respectivamente. Vale ressaltar que a quase totalidade do fósforo presente no resíduo encontra-se na forma orgânica, que libera o nutriente lentamente para o solo e, conseqüentemente, para a planta.

Medições de altura e diâmetro à altura do peito (DAP) foram realizadas aos 6 anos de idade, sendo então calculados os volumes cilíndricos arbóreos e estes dados submetidos à análise de variância. Aplicou-se análise de regressão para a variável volume, com doses de resíduo na presença e ausência de P e com doses de P na presença e ausência de resíduo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados respectivamente os volumes cilíndricos para a árvore média das parcelas por tratamento aos 6 anos de idade e a análise de variância destes dados. Estes valores, utilizando um fator de forma de 0,478 (Freddo et al., 1999), correspondem a incrementos médios em volume real variando de 23 a 45 m³.ha⁻¹ ano⁻¹.

Diferenças significativas, ao nível de 1% de probabilidade, foram observadas entre os níveis de resíduo e entre as doses de fósforo. A interação resíduo x fósforo não foi significativa e, analisando-os separadamente, houve aumentos em volume com relação à testemunha (sem resíduo e sem fósforo), em razão das dosagens crescentes aplicadas (Figuras 1 e 2).

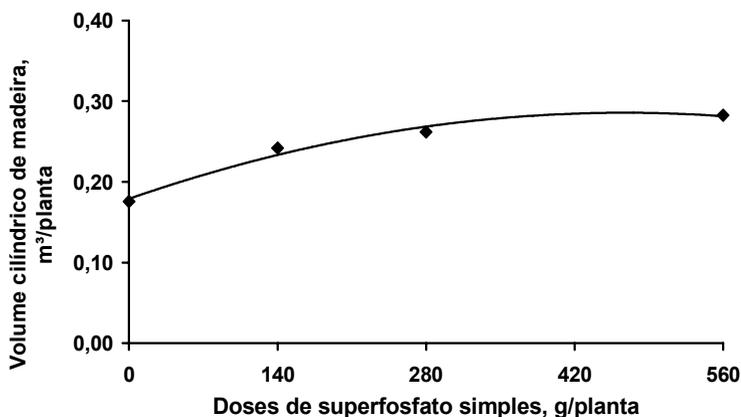


FIGURA 1. Volume cilíndrico de madeira (m³/árvore) de *E. dunnii* aos 6 anos de idade sob doses crescentes de fósforo, sem aplicação de resíduo, em comparação com a testemunha.

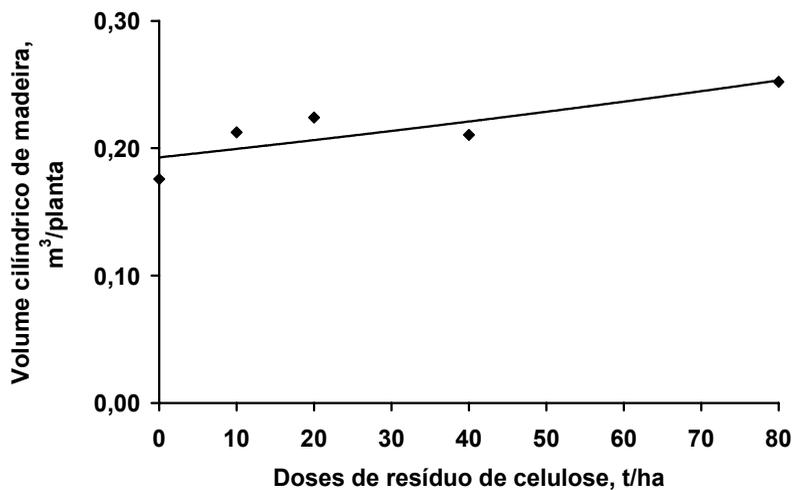


FIGURA 2. Volume cilíndrico de madeira (m³/árvore) de *E. dunnii* aos 6 anos de idade sob doses crescentes de resíduo, sem adubação com fósforo, em comparação com a testemunha.

Tabela 3. Volumes cilíndricos da árvore média das parcelas aos 6 anos de idade para as diferentes doses de fósforo e resíduo aplicadas.

Tratamento Res.(t/ha):P ₂ O ₅ (g)/planta	Volume cilíndrico arbóreo aos 6 anos (m ³)	Ganhos em % com relação à testemunha
Testemunha	0,1757	-
28 g P ₂ O ₅	0,2421	37,8
56 g P ₂ O ₅	0,2619	49,1
112 g P ₂ O ₅	0,2825	60,8
10 t RES.	0,2126	21,0
10 t RES : 28 g P ₂ O ₅	0,3023	72,1
10 t RES : 56 g P ₂ O ₅	0,2831	61,1
10 t RES : 112 g P ₂ O ₅	0,3038	72,9
20 t RES.	0,2241	27,5
20 t RES : 28 g P ₂ O ₅	0,2728	55,3
20 t RES : 56 g P ₂ O ₅	0,3261	85,6
20 t RES : 112 g P ₂ O ₅	0,2981	69,7
40 t RES.	0,2105	19,8
40 t RES : 28 g P ₂ O ₅	0,2676	52,3
40 t RES : 56 g P ₂ O ₅	0,2700	53,7
40 t RES : 112 g P ₂ O ₅	0,3006	71,1
80 t RES.	0,2522	43,5
80 t RES : 28 g P ₂ O ₅	0,3367	91,6
80 t RES : 56 g P ₂ O ₅	0,3209	82,6
80 t RES : 112 g P ₂ O ₅	0,3252	85,1

Ao comparar os volumes cilíndricos de madeira com a testemunha (Figura 1 e 2), observa-se ganhos em volume das árvores para as dosagens crescentes de fósforo que correspondem a 37,8; 49,1 e 60,8% e para o resíduo de 21,0; 27,5; 19,8 e 43,5%, respectivamente (Tabela 3). Para os demais tratamentos as diferentes combinações das doses de fósforo por adubação química com as doses de resíduo resultaram em volumes de madeira entre 52% e 92% acima do encontrado para a testemunha (Tabela 3).

Destaca-se nos resultados para a adubação mineral com fósforo e para o resíduo, quando aplicados separadamente, que somente a maior dose de resíduo (80 t) teve um volume cilíndrico equivalente ao da menor dose da adubação com fósforo mineral (28 g de P_2O_5), ou seja, apesar do resíduo ter um alto conteúdo de fósforo na forma orgânica, isto não representa uma liberação imediata de fósforo mineral para as árvores. Portanto, os outros nutrientes presentes no resíduo podem também ter contribuído para o aumento de produtividade, além de outros fatores importantes, como o aumento no volume de água disponível do solo quando da aplicação de resíduos orgânicos em plantios florestais (Andrade, 2002; Bellote et al., 1994).

Tabela 4. Análise de variância para volume da árvore média da parcela (m^3) de *E. dunnii*, aos 6 anos de idade.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Bloco	3				
Resíduo	4	0,0401	0,0100	6,5019	0,00040 **
Fósforo	3	0,0942	0,0314	20,3716	0,00001 **
Resíduo x Fósforo	12	0,0107	0,0009	0,5799	0,84946 n.s.
Erro	57	0,0878	0,0015		
Total	79	0,2747			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade n.s. = não significativo
CV = 14,4 %

Através da análise de regressão obteve-se equações para estimar ganhos de volume em *E. dunnii* quando aplicado resíduo ou fósforo isoladamente e suas combinações.

Para a aplicação de resíduo isoladamente observou-se uma resposta linear para o volume das árvores, representada pela equação: $\text{volume}(m^3)/\text{árvore} = [192,861 + 0,7386(t \text{ resíduo})]10^{-3}$; significativa a 5% de probabilidade ($r^2 = 0,72$). Já na presença de P na dosagem de 140 g de SFS, obteve-se também uma equação linear: $\text{volume}(m^3)/\text{árvore} = [258,244 + 0,8682(t \text{ resíduo})] 10^{-3}$; significativa a 1% de probabilidade ($r^2=0,57$). Para a combinação com as outras doses de P, encontrou-se resultados semelhantes (respostas lineares).

Em dosagens crescentes da adubação mineral com fósforo, os aumentos em volume, sem aplicação de resíduo, resultaram numa equação quadrática:

volume(m³)/árvore = [178,982 + 2,2828(g P₂O₅) - 0,0122(g P₂O₅)²]10⁻³. Esta equação foi significativa a 10% de probabilidade, com r²=0,98 e mostrando maior volume (0,29 m³/árvore) quando aplicado 93,4 g de P₂O₅ ou 467 g de superfosfato simples/árvore. Esta resposta quadrática, significativa pelo menos a 10% de probabilidade, também foi observada para as doses crescentes do fósforo, com 10, 20 e 80 t de resíduo/ha, verificando-se na combinação com 80 t de resíduo/ ha, um valor máximo de volume de 0,34 m³ (cerca de 89% de ganho em volume, comparando com a testemunha) com 93,9 g de P₂O₅ ou cerca de 470 g de superfosfato simples / árvore, através da seguinte equação: volume(m³)/árvore = [261,429 + 2,2369(g P₂O₅) - 0,0151(g P₂O₅)²]10⁻³; significativa a 5% de probabilidade e r² = 0,76.

Destaca-se que, apesar dos ganhos em volume relativos à adubação fosfatada isoladamente serem maiores, até o momento, que os proporcionados pela aplicação do resíduo isoladamente, este, além de constituir-se uma fonte de outros nutrientes minerais pode contribuir para a melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo e, assim, torna-se importante avaliar estes efeitos nos plantios subseqüentes.

4. CONCLUSÕES

E. dunnii respondeu positivamente à adubação fosfatada assim como à aplicação de resíduo de celulose, com ganhos em volume cilíndrico de madeira em relação à testemunha, aos 6 anos de idade, de 38% a 61%, da menor para a maior dose de fósforo aplicada, na ausência do resíduo, e entre 20% e 40% para os níveis testados de resíduo, na ausência da adubação mineral com fósforo.

Estas respostas também ocorreram nas diferentes combinações de doses de fósforo com os níveis de resíduo, sendo todas superiores à testemunha, em volume cilíndrico de madeira, de 52% a 92%.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, G. de C. **Efeitos da aplicação de composto orgânico de lixo urbano e de fertilizante mineral em povoamentos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** 2002. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ANDRADE, G. de C.; SILVA H. D. da; FERREIRA, C. A.; BELLOTE, A. F. J. **Contribucion del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para el *Eucalyptus grandis*.** *Bosque*, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 47-51, 1995.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; ANDRADE, G. de C.; MORO, L. **Implicações ecológicas do uso de cinza de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*.** In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. [Anais...]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 167-187.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da; GAVA, J. L.; MENEGOL, O. **Nutrient export by clear cutting *E. grandis* of different ages on sites im Brazil.** In: KOBAYASHI, S.; TURNBULL, J. W.; TOMA, T.; MORI, T.; MAJID, N. M. N. A. (Ed.). **Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems.** Bogor: CIFOR, 2001. p. 173-177.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; BELLOTE A. F. J.; ANDRADE, G. de C. **Efecto de la aplicacion de ceniza y resíduo de celulosa en la descomposicion y liberacion de nutrientes de la horajasca en plantaciones de *Eucalyptus grandis*.** *Bosque*, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 101-104, 1995.

FREDDO, A.; FOELKEL, C. E. B.; FRIZZO, S. M. B.; SILVA, M. C. M. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose Kraft branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 193-209, 1999.

GONÇALVES, J. L. M.; MORO, L. Uso da cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p. 28-37, 1995.

GUERRINI, I. A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. [Anais...]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 188-215.

GUERRINI, I. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; EIRA, A. F. da; PENATTI, A.; TOLEDO, C. M.; MATSUMOTO, K.; MACHADO, R. W.; MELLO, S. L. M. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em condições de vaso. **Científica**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 43-51, 1994.

SOUZA, C. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M.; GALVÃO, J. C. C. Uso do lodo primário da indústria de celulose e papel em povoamentos de eucalipto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Resumos expandidos**. Manaus: Ed. da Universidade do Amazonas, 1996. p. 537-538.