

Produção de biogás de efluente da indústria de óleo de palma

Jhenifer Aline Bastos¹, Felipe Orcelli Wojcieckowski², Rafael Moreira Marques³, Rossano Gambetta⁴, Silvia Gonçalves Belém⁵

Resumo

O efluente da indústria de óleo de palma (EIOP) tem ganhado destaque no meio científico como uma fonte de energia renovável para a produção de biogás. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de um reator de regime semicontínuo, utilizando o EIOP como substrato para a produção de biogás. Para isso, foi utilizado um reator de mistura completa com volume útil de 3,5 litros que recebeu diariamente uma carga orgânica volumétrica de 0,16 g SV/L.d de EIOP, operando em temperatura mesofílica (37 °C). Como principais resultados, a produção volumétrica de biogás foi de $0,037 \pm 0,015 L_N$ biogás/L reator/dia, com teor de metano entre 63% e 68% e média de remoção de DQO de 55,4%. Observou-se que o sistema de digestão não foi estável ao longo do ensaio por causa da característica de acidez do EIOP (pH = 4,8), que reduziu a alcalinidade total no reator. Apesar disso, o EIOP ainda tem potencial para produção de biogás, desde que seja feita a correção do pH, antes de ser adicionado no reator, ou a codigestão com outros resíduos que promovam o equilíbrio do sistema.

Termos para indexação: digestão anaeróbia, regime semicontínuo, metano.

Introdução

A extração de óleo de palma (dendê) é uma atividade de grande importância no País e vem crescendo ao longo dos últimos 20 anos. No Brasil, por volta de 236 mil hectares são utilizados para a plantação da palma, sendo o Pará o estado com maior área plantada (88%) no ano de 2018 (Ahmed et al., 2015). O processo de extração do óleo inclui várias etapas, que vão desde a esterilização dos cachos do fruto (dendê) até a clarificação e a purificação do óleo, para gerar como produto final o óleo de dendê encontrado no mercado (American Public Health Association, 2005).

Contudo, a produção industrial do óleo gera grande quantidade de efluentes que, se não tratados adequadamente, representam riscos ao meio ambiente. No caso específico, a cada tonelada de cachos de frutos frescos processado, são produzidos de 0,5 m³ a 0,79 m³ de efluente (Brasil, 2018). Como característica principal, esse efluente possui uma alta demanda química de oxigênio (DQO) até 50.000 mg/L, que deve ser reduzida por processos biológicos em sistemas de tratamento de efluentes (American Public Health Association, 2005). Entre os vários métodos de tratamento do efluente, a digestão anaeróbia é relativamente mais vantajosa por ter maior eficácia no tratamento e pela recuperação energética com o aproveitamento do biogás. O biogás é uma fonte de energia renovável, composto principalmente por metano e dióxido de carbono, e pode ser utilizado para gerar energia térmica, elétrica ou como combustível veicular (Choong et al., 2018).

¹ Engenheira ambiental, doutorando em Sustentabilidade Ambiental Urbana, Universidade Tecnológica, Federal do Paraná, jhenifer.bastos@colaborador.embrapa.br

² Graduado em Química Tecnológica, Universidade de Brasília, felipe.orcelli@colaborador.embrapa.br

³ Graduado em Química Tecnológica, Universidade de Brasília, rafael.marques@colaborador.embrapa.br

⁴ Engenheiro químico, doutor em Ciências da Engenharia Química, Embrapa Agroenergia, rossano.gambetta@embrapa.br

⁵ Engenheira química, doutora em Engenharia Química, Embrapa Agroenergia, silvia.belem@embrapa.br

Logo, o desenvolvimento de projetos que visam ao uso do efluente da indústria de óleo de palma para a produção de biogás vai ao encontro das premissas do desenvolvimento sustentável, que busca mitigar os impactos ambientais atuais e promover o desenvolvimento de métodos e tecnologias sustentáveis para a geração futura. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar os parâmetros de monitoramento da monodigestão do efluente da indústria de óleo de palma, em reator anaeróbio de regime semicontínuo, para a produção de biogás.

Materiais e métodos

Caracterização do inóculo e substrato

O inóculo utilizado no presente estudo foi retirado de um reator anaeróbio próprio para ensaios de digestão anaeróbia, contendo 80% de digestato de biodigestor suíno e 20% de dejetos brutos bovinos (m/m). O reator estava em operação há 200 dias, sendo mantido em temperatura mesofílica (37 °C) e agitação intermitente. Para garantir a atividade microbiana, o inóculo recebeu uma alimentação semanal com carga orgânica volumétrica de 0,16 g sólidos voláteis/Litro de reator/dia, contendo fubá de milho (10%), proteína de soja (4%), óleo vegetal (3%) e água destilada (83%).

Já o efluente da indústria de óleo de palma (EIOP) foi coletado de uma indústria localizada na região Nordeste do Brasil. O ponto de coleta foi da lagoa de equalização que recebe a água residual do processo de clarificação do óleo, da esterilização dos cachos do fruto fresco e do processo de decapagem dos cachos e digestão do óleo. O armazenamento foi feito em bombonas de plástico, que foram mantidas em câmara fria a -20 °C para evitar a degradação do substrato por microrganismos.

O inóculo e o substrato foram caracterizados para quantificar o teor de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), pH e demanda química de oxigênio (DQO), de acordo com a metodologia descrita no American Public Health Association (2005).

Monitoramento e produção de biogás em reatores de regime semicontínuo

Para avaliar a produção de biogás utilizando o EIOP como substrato, optou-se pelo uso de um reator de mistura completa (Marca Eppendorf) com volume útil de 3,5 L, agitação constante (100 rpm) e temperatura mesofílica (37 °C). Para a alimentação do reator com EIOP, foi calculada uma carga orgânica volumétrica (COV) de 0,16 g SV/L.d, sendo adicionada água destilada para garantir o tempo de retenção hidráulica de 120 dias e uma vazão de entrada de 29 mL por dia. A escolha da COV abaixo do valor reportado pela literatura (mínimo de 0,5 g SV/L.d) (Choong et al., 2018), foi feita para evitar problemas de acidificação do reator logo nos primeiros dias de ensaio.

A quantificação do volume de biogás foi realizada por meio de um tubo eudiômetro acoplado à saída do reator, contendo uma solução barreira (pH = 2,0) que se desloca verticalmente à medida que o biogás passa pelo tubo. O volume de biogás foi quantificado diariamente e corrigido conforme as condições normais de temperatura e pressão (CNTP). A composição do biogás foi realizada pelo método de cromatografia gasosa para obter o teor de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), sendo, posteriormente, calculado o teor de metano seco. O cromatógrafo (marca Shimadzu GC-2014) possui duas linhas TCD a 180 °C com injeção manual e loop a 150 °C. A primeira linha possui uma coluna Porapak N 2 m x 3 mm com fluxo de 35 mL/min e gás hélio como gás de arraste. Já a segunda linha opera com uma coluna Carboxen 1000 4,6 m x 2,1 mm, fluxo de 45 mL/min e gás nitrogênio como gás de arraste. O monitoramento do reator foi realizado pelas análises de pH, DQO (Edwiges et al., 2018) e alcalinidade total (Holliger et al., 2016) do efluente, sendo calculada a eficiência de remoção da matéria orgânica pelo valor de DQO.

Resultados e discussão

Caracterização físico-química do inóculo e substrato

O teor de ST e SV do inóculo foi de 1,7% e 65,9% (% base seca), respectivamente, e o valor de pH foi de $7,8 \pm 0,1$, o que indica boa qualidade do inóculo para ensaios de produção de biogás (Kunz et al., 2019). Quanto à caracterização do substrato (EIOP), o teor de ST e SV foi de 10,4% e 92,6 (%bs), respectivamente, sendo o teor de ST próximo ao valor reportado por Ahmed et al. (2015) de 11,4% (American Public Health Association, 2005). O baixo valor de pH ($4,8 \pm 0,2$) foi um ponto negativo para o tratamento via digestão anaeróbia, visto que os microrganismos metanogênicos atuam em uma faixa restrita de 6,8–7,5 (Ripley et al., 1986). Contudo, alguns estudos relataram a capacidade do inóculo de manter a produção de biogás com alguns substratos ácidos por um período de tempo, visto que os microrganismos criam mecanismos para se adaptar ao meio (Wadchasing et al., 2021).

Por fim, o valor de DQO do EIOP sem a adição de água foi 175.972 ± 1.082 mg/L, indicando alta quantidade de matéria orgânica quando comparado ao inóculo (16.511 ± 1.430 mg/L). Contudo, ao adicionar água para reduzir o TRH do ensaio e manter uma COV de 0,16 g SV/L.d, o valor da DQO caiu para 31.011 ± 1.502 mg/L, enquanto o pH subiu para 4,8. Esses valores estão dentro da faixa encontrada na literatura, sendo de 15.000 mg/L–180.000 mg/L para DQO e 3,4–5,2 para o pH (Wongfaed et al., 2020).

Produção de biogás em reator anaeróbio de regime semicontínuo

O reator foi operado por 51 dias, e as curvas de produção de biogás indicam instabilidade no processo de digestão anaeróbia, com produtividade média de $0,037 \pm 0,015$ L_N biogás/L reator/dia e coeficiente de variação de 39% (Figura 1). Portanto, observou-se que o inóculo estava consumindo a matéria orgânica até o quinto dia (pico de 0,062 L_N biogás/L), mas após esse período, não suportou a quantidade de matéria orgânica adicionada, apesar de a COV estar abaixo do sugerido pela literatura (0,5 g SV/L.d) (Choong et al., 2018). As fases de aclimação e inicialização são cruciais para o sucesso de um sistema de digestão anaeróbia, visto que o inóculo deve ser pré-aclimatado ao ambiente com a temperatura de operação e tipo de substrato, para que o consórcio microbiano tenha tempo suficiente para se adaptar ao novo ambiente (Ripley et al., 1986). No entanto, a aclimação com o substrato antes do ensaio (período de sete dias) não ocorreu no presente estudo e pode ter sido um dos motivos para a instabilidade da produção de biogás.

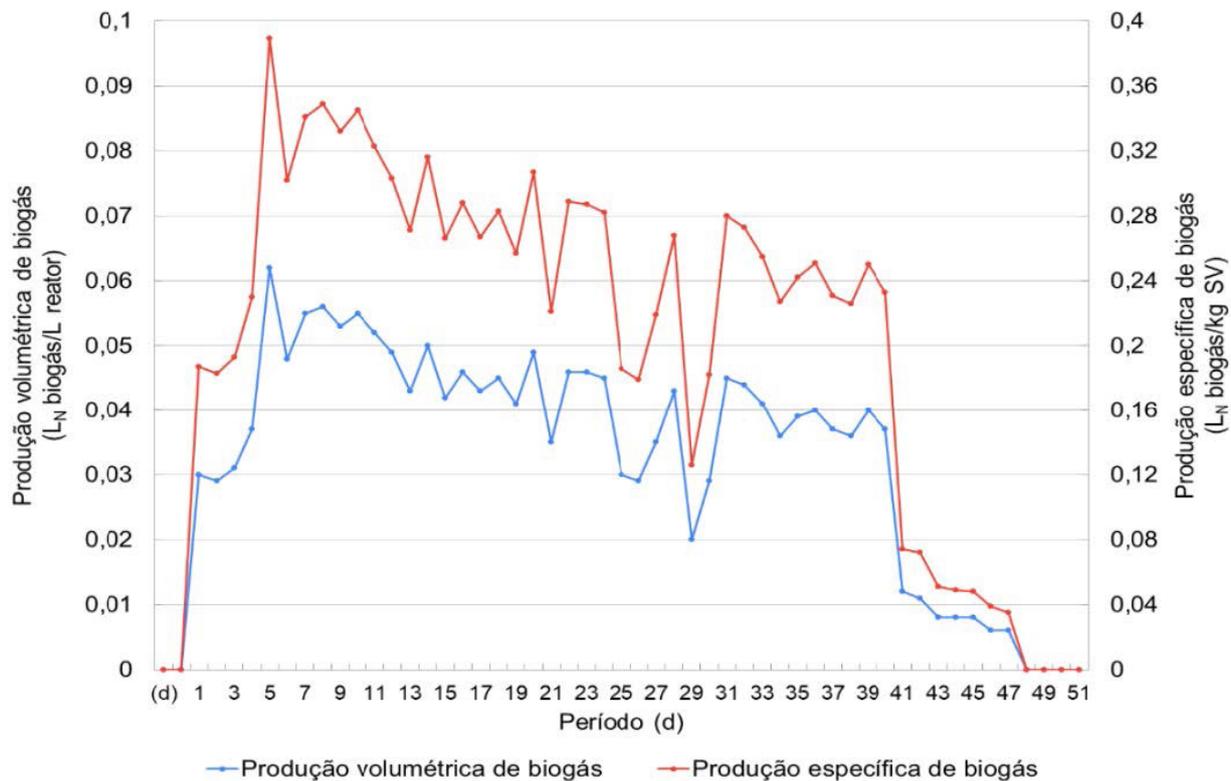


Figura 1. Produção volumétrica e específica de biogás do EIOP.

A média da produtividade específica de biogás foi de $0,23 \pm 0,09$ LN biogás/kg SV, com maior valor obtido no quinto dia de ensaio ($0,389$ LN biogás/kg SV) e teor de metano seco de $68,4 \pm 0,2\%$, o que indica a presença de microrganismos metanogênicos. Contudo, observou-se que a produtividade e o teor de metano reduziram ao longo do ensaio, chegando a $0,0350$ LN biogás/kg SV e $63,5 \pm 0,1\%$ no 47º dia. Alguns ácidos que compõem o EIOP, como ácidos palmítico, oleico e esteárico, são considerados ótimos substratos para a produção de metano, mas que, em grande quantidade, podem ser tóxicos para os microrganismos metanogênicos e acetogênicos (Wongfaed et al., 2020).

O pH variou entre 7,3 e 7,9 e, em alguns momentos, ultrapassou o limite máximo para um processo ideal de digestão anaeróbia (6,8–7,8) (Ripley et al., 1986). Quanto à alcalinidade total, houve uma diminuição ao longo do ensaio, com maior valor obtido na primeira semana (4.382 mg CaCO_3/L) e menor valor obtido na última semana (3.125 mg CaCO_3/L). Embora o valor esteja dentro da faixa relatada na literatura (2.500 mg/L– 5.000 mg/L) (Kunz et al., 2019), esse declínio indica consumo de alcalinidade no processo, principalmente na forma de carbonato e bicarbonato de cálcio, em razão da acidez do EIOP (pH = 4,8). Portanto, a característica do substrato afetou drasticamente a capacidade dos microrganismos de tamponar o sistema, visto que eles convertem os ácidos em biogás enquanto o pH se mantém próximo da neutralidade (Choong et al., 2018).

Quanto à eficiência de remoção da DQO, a média encontrada no estudo foi de $55,9 \pm 6,7\%$ com CV de 12% (Figura 2). Ao se comparar esse valor com os dados encontrados na literatura, observou-se que a eficiência de remoção está abaixo do esperado para um bom processo de digestão anaeróbia em reatores de mistura completa ($63,5\%$ – $93,6\%$) (American Public Health Association, 2005). Entretanto, foram identificados valores de remoção acima de 60%, sendo obtido o maior valor no 12º dia, com 69,8%. Apesar da instabilidade do processo, os microrganismos consumiram a matéria orgânica presente no EIOP, mantendo uma taxa de remoção acima de 60% para treze pontos durante o ensaio.

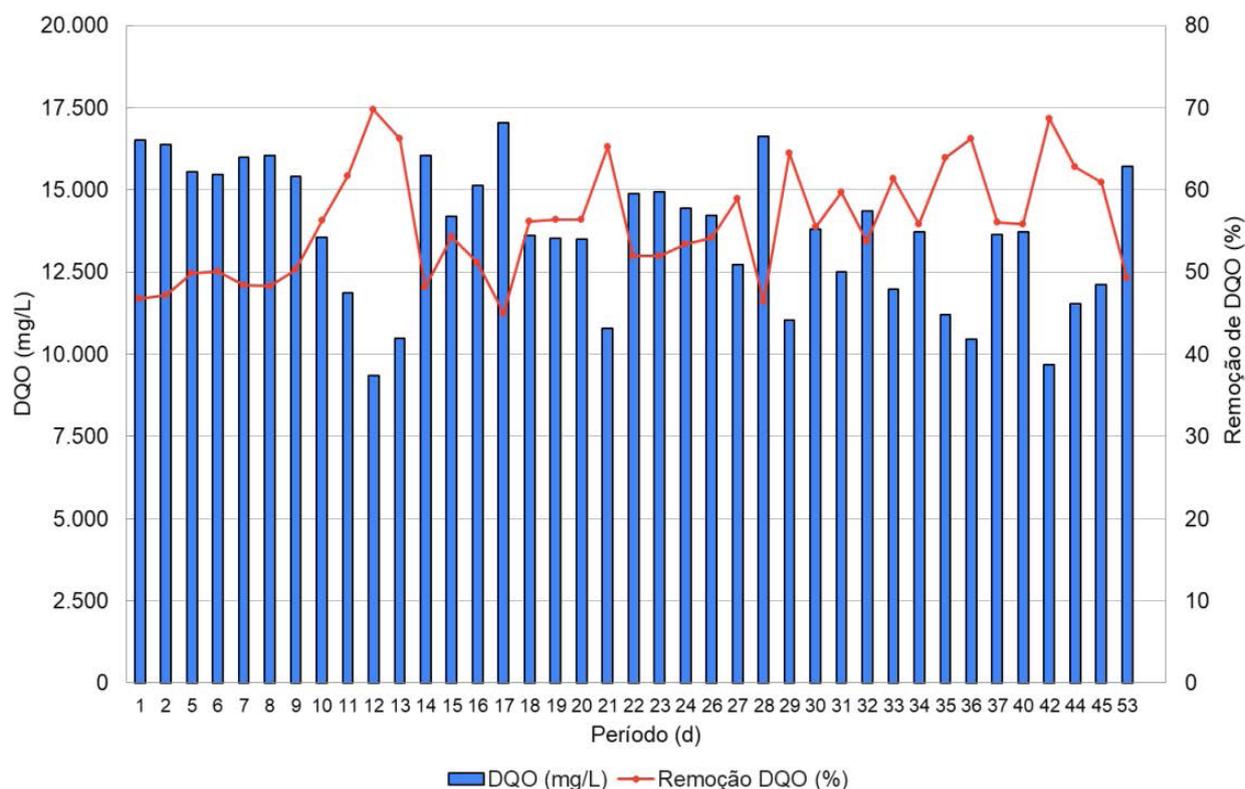


Figura 2. Eficiência de remoção da demanda química de oxigênio do processo.

Portanto, o sistema de digestão anaeróbia com EIOP requer baixa taxa de carga orgânica e tempo de retenção hidráulica longo (40 dias–60 dias) em razão da dificuldade dos microrganismos de digerir lipídios e ácidos graxos de cadeia longa (Wongfaed et al., 2020). A codigestão é uma alternativa para suprir a demanda e equilibrar o sistema, podendo incluir resíduos da própria indústria, como os cachos vazios do fruto dendê (Brasil, 2018). Além disso, a correção do pH do EIOP antes de adicioná-lo nos reatores também é uma maneira de reduzir a instabilidade do processo, garantindo o efeito tampão dentro do reator.

Conclusão

A digestão anaeróbia é uma opção atraente para tratar o EIOP. Porém, é necessário monitorar os parâmetros físico-químicos do processo. No estudo, a produção volumétrica de biogás do EIOP foi, em média, $0,037 \pm 0,015 L_N$ biogás/L reator/dia e indicou instabilidade do processo de digestão anaeróbia por causa da variação do volume produzido diariamente (CV = 39%). Um dos motivos dessa instabilidade é a presença de ácidos na composição do substrato (pH = 4,8), que impacta diretamente na alcalinidade total do processo e na remoção da matéria orgânica pelos microrganismos (média de remoção de DQO = 55,9%). Além disso, a queda do teor de metano seco de 68,4% para 63,5% indica que o pH do substrato precisa ser corrigido antes de ser adicionado ao reator, para que os microrganismos metanogênicos possam converter os ácidos em metano.

Referências bibliográficas

AHMED, Y., JACOB, Z., AKHTAR, P., SOPIAN, K. Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 42, p. 1260-1278, fev. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.073>

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **N-20: Standard Methods for the examination of water and wastewater**. Washington, 2005. Não paginado.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Diagnóstico da produção sustentável da palma de óleo no Brasil**. Brasília, DF: MAPA/ACE, 2018. 58 p. Disponível em: https://aprobio.com.br/novosite/wp-content/uploads/2018/08/Diagn%C3%B3stico-Prod-Sust-da-Palma-de-%C3%93leo_MAPA_2018.pdf. Acesso em: 28 set. 2023.
- CHOONG, Y. Y., CHOU, K. W., NORLI, I. Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion: a critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 3, p. 2993-3006, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.036>
- EDWIGES, T.; FRARE, L. M.; MAYER, B; LINS, L.;TRIOLO, J. M.; FLOTATS, X.; COSTA, M. S. S. M. Influence of chemical composition on biochemical methane potential of fruit and vegetable waste. **Waste Management**, v. 71, p. 618-625, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.030>
- HOLLIGER, C.; ALVES, M.; ANDRADE, D.; ANGELIDAKI, I.; ASTALS, S.; BAIER, U.; BOUGRIER, C.; BUFFIÈRE, P.; CARBALLA, M.; WILDE, V.; EBERTSEDER, F.; FERNÁNDEZ, B.; FICARA, E.; FOTIDIS, I.; FRIGON, J.; LACLOS, H. F.; GHASIMI, D. S. M.; HACK, G.; HARTEL, M.; HEERENKLAGE, J.; HORVATH, I. S.; JENICEK, P.; KOCH, K.; KRAUTWALD, J.; LIZASOAIN, J.; LIU, J.; MOSBERGER, L.; NISTOR, M.; OECHSNER, H.; OLIVEIRA, J. V.; PATERSON, M.; PAUSS, A.; POMMIER, S.; PORQUEDDU, I.; RAPOSO, F.; RIBEIRO, T.; PFUND, F. R.; STRÖMBERG, S.; TORRIJOS, M.; EEKERT, M.; LIER, J.; WEDWITSCHKA, H.; E WIERINCK, I. Towards a standardization of biomethane potential tests. **Water Science and Technology**, v. 74, n. 11 p. 2515–2522, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>
- KUNZ, A., STEINMETZ, R. L. R., DO AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019, 209 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197183/1/Livro-Biogas.pdf>. Acesso em: 28 set. 2023.
- RIPLEY, L. E., BOYLE, W. C., CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 58, n. 5, p. 406-411, mai. 1986. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25042933>. Acesso em: 28 set. 2023.
- WADCHASIT, P., SUKSONG, W., O-THONG, S., NUIHITIKUL, K. Development of a novel reactor for simultaneous production of biogas from oil-palm empty fruit bunches (EFB) and palm oil mill effluents (POME). **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 3, p. 105 - 209, jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105209>.
- WONGFAED, N., KONGJAN, P., PRASERTSAN, P., O-THONG, S. Effect of oil and derivative in palm oil mill effluent on the process imbalance of biogas production. **Journal of Cleaner Production**, v. 247, n. 20, p. 110-119, Feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119110>.